

ISSN 2587-1943

#12

VOLUME 6, 2
DECEMBER 2022

Editor-in-Chief
Niyazi Özdemir
Hikmet Esen

Deputy Editor-in-Chief
Abdullah Kapıcıoğlu

Managing Editor
Cihangir Kale

A

E

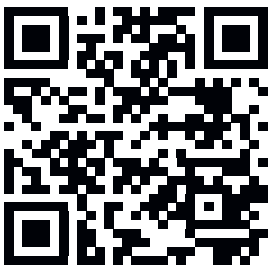
I

J

R

JOURNAL

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE ENGINEERING APPLICATIONS



Editor-in-Chief

Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR

Prof. Dr. Hikmet ESEN

Deputy Editor-in-Chief

Asst. Prof. Dr. Abdullah KAPICIOĞLU

Executive Editors

Prof. Dr. Messaoud SAIDANI

Prof. Dr. Niyazi BULUT

Prof. Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU

Asst. Prof. Dr. Salwa BOUADILA

Managing Editor

Res. Asst. Cihangir KALE

Subject Editors

Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

Prof. Dr. Asaf VAROL

Prof. Dr. Asım BALBAY

Prof. Dr. Elhoussine AZROUL

Prof. Dr. Engin AVCI

Prof. Dr. Fatih POYRAZ

Prof. Dr. Hacı Mehmet BAŞKONUŞ

Prof. Dr. Hasan TOĞRUL

Prof. Dr. İbrahim CAN

Prof. Dr. İnanç ÖZGEN

Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

Prof. Dr. Murat KÖKSAL

Prof. Dr. Ömer YILDIRIM

Prof. Dr. Resul ÇÖTELİ

Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

Prof. Dr. Tahir KHAN

Assoc. Prof. Dr. Reza BAKHTIARI

Assoc. Prof. Dr. Erkan BAHÇE

Assoc. Prof. Dr. Faruk KARACA

Assoc. Prof. Dr. Fethi DAĞDELEN

Assoc. Prof. Dr. Filiz ÖZGEN

Assoc. Prof. Dr. Özen ÖZER

Assoc. Prof. Dr. Serdar MERCAN

Asst. Prof. Dr. Alper POLAT

Asst. Prof. Dr. Berivan YILMAZER POLAT

Asst. Prof. Dr. Fehmi ASLAN

Asst. Prof. Dr. Nagihan KARAASLAN AYHAN

Asst. Prof. Dr. Üyesi Ferit AK

Asst. Prof. Dr. Üyesi Yusuf DOĞAN

Asst. Prof. Dr. Vembu ANANTHASWAMY

Layout / Language Editor

Res. Asst. Buğra ŞEN

Instructor Habip ŞAHİN

International Journal of Innovative Engineering Applications is published June and December.

Adress for the manuscripts and correspondence:

Uluslararası Yenilikçi Mühendislik Uygulamaları Dergisi
Firat Üniversitesi Kampüsü, Teknoloji Fakültesi, Merkez–Elazığ

Tel: +90 424 237 0000/ Ext.7655

e-mail: ijieatr@gmail.com

ISSN: 2587-1943

Elazığ-2022

#12

IJIEA

IJIEA

volume 6 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
Soliton and Other Function Solutions of The Potential KdV Equation with Jacobi Elliptic Function Method <i>Jacobi Eliptic Fonksiyon Metot ile Potansiyel KdV Denkleminin Soliton ve Diğer Fonksiyon Çözümleri</i> Ebru CAVLAK ASLAN, Leyla GÜRGÖZE <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	183-188
Electrical Stimulation Applications on Diabetic Wounds <i>Diyabetik Yaralara Elektriksel Stimülasyon Uygulamaları</i> Batuhan AKILLI, Ahmet KOLUMAN, Gülçin ABBAN METE <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	189-198
Anomaly Detection for Gear Manufacturing Downtime in the Automotive Sector Using Rare Itemset Mining Devrim Naz AKDAS, Derya BİRANT, Pelin YILDIRIM TASER <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	199-204
An Evaluation of Pumped Hydroelectric Storage Systems Ayşenur OYMAK, Mehmet Rıda TÜR <i>Review Article [en] Derleme [tr]</i>	205-214
The Effect of Using TiO₂/Water Nanofluid in Plate Heat Exchangers on Thermal Performance <i>Plakalı Isı Değiştiricilerinde TiO₂/Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisi</i> Muhammet KAHVECİ, Tarkan KOCA <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	215-221

IJIEA

volume 6 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık	Page(s) / Sayfa(lar)
Effect of Increased Doses of Three Mustard Oil and Two Tea Tree Oil Formulations on <i>Cimbex Quadrimaculata</i> <i>Üç Hardal Yağı ve İki Çay Ağacı Yağı Formülasyonlarının Arttırılmış Dozlarının Cimbex Quadrimaculata'ya Etkisi</i> Yunus GÜRAL, İnanç ÖZGEN, Errol HASSAN, Mehmet GÜRCAN <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	222-224
Investigation of Application Time of Some Insecticides Used Against the Common Pistachio Psylla <i>Agonoscena Pistaciae</i> Burckhardt & Lauterer, 1989 (Hemiptera: Psyllidae) <i>Antepfıstığı Psillıdı Agonoscena Pistaciae Burckhardt & Lauterer, 1989 (Hemiptera: Psyllidae)'Ne Karşı Kullanılan Bazı İsektisitlerin Uygulama Zamanının Araştırılması</i> Hakan USANMAZ, M. Murat ASLAN, İnanç ÖZGEN <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	225-229
Optimization of Process Parameters Using Taguchi Method in Production of Ti6Al4V Alloy by SLM Method <i>Ti6Al4V Alaşımının SLM Yöntemiyle Üretilmesinde Taguchi Metodu Kullanılarak Proses Parametrelerinin Optimizasyonu</i> Dilara Selma AYDIN, Arif Lütfi ÖZSOY, Çağrı Vakkas YILDIRIM <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	230-236
Investigation of the Effect of Glass Sand Used in SCC on the Behavior of the SCC Stress- Strain Relationship <i>KYB'de Kullanılan Cam Kumun KYB Yük-Deplasman İlişkisinin Davranışı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması</i> Serkan ETLİ <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	237-244

IJIEA

volume 6 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık	Page(s) / Sayfa(lar)
A Hybrid Android Frontend Development Approach with Traditional Nesting Layouts and Constraint Layout <i>Geleneksel İç İçe Yerleşimler ve Kısıt Yerleşimi İçeren Melez Android Ön Yüz Geliştirme Yaklaşımı</i> Yusuf ÖZÇEVİK <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	245-254
Investigation of the Structural and Mechanical Properties of TiN, NbN, and VN Coating Deposition on the Co-Cr-Mo Alloy by Magnetron Sputtering <i>Manyetik Alanda Sıçratma Tekniğiyle Co-Cr-Mo Alaşımı Yüzeyinde Büyütülen TiN, NbN ve VN Kaplamasının, Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması</i> Taha Çağrı ŞENOCAK, Oktay YİĞİT <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	255-262
Numerical Investigation of the Use of Converging and Diverging Fins in Solar Air Collectors <i>Havalı Güneş Kolektörlerinde Daralan ve Genişleyen Kanatçık Kullanımının Sayısal Olarak İncelenmesi</i> Kamil Neyfel ÇERÇİ, Mehmet Tahir ERDİNÇ <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	263-271
Notes on Surfaces with Constant Gauss Curvature Along a Curve in the Lie Group <i>Lie Grubunda Bir Eğri Boyunca Sabit Gauss Eğrilikli Yüzeyler Üzerine Notlar</i> Zühal KÜÇÜKARSLAN YÜZBAŞI, Gamze KÖSE ŞAHİN <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	272-275
Investigation of Press Brake Punches and Dies Produced by Casting Method and From Manganese Steel Material in Terms of Machinability <i>Döküm Yöntemi ile Manganlı Çelik Malzemeden Üretilen Abkant Pres Zimba ve Dişi Kalıpların İşlenebilirlik Yönünden İncelenmesi</i> Oktay ADIYAMAN <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	276-285

IJIEA

volume 6 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
Experimental Data and Modeling for the Adsorption/Desorption of Tetracycline and Diclofenac on the Agricultural Soils <i>Tarım Topraklarında Tetrasiklin ve Diklofenak Adsorpsiyonu/Desorpsiyonu için Deneysel Veriler ve Modelleme</i> Ülker Aslı GÜLER, Eliza TUNCEL <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	286-292
Investigation of Poly(lactic Acid) (PLA)/Titanium Carbide (TiC) Nanocomposite Films Gamma Ray Shielding Properties <i>Polilaktik Asit (PLA)/Titanyum Karbür (TiC) Nanokompozit Filmin Gama Işını Zırhlama Özelliklerinin İncelenmesi</i> Mücahit YILMAZ <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	293-296
Corner Reflector (CR) Installation and Controlling of Permanent Scatterer (PS) in Mine Sites <i>Maden Sahalarında Köşe Reflektör (CR) Tesisi ve Sabit Saçıcı (PS) Kontrolü</i> Bekir POYRAZ, Yavuz GÜL <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	297-302
Forensic Analysis of Crimes Committed on Live Broadcast Platforms Accessed Via Web Browsers <i>Web Tarayıcılar Aracılığı ile Erişim Sağlanan Canlı Yayın Platformlarında İşlenen Suçların Adli Analizi</i> Nursena ATALAY, Aytuğ BOYACI <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	303-310

IJIEA

volume 6 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
Investigation of Mechanical Properties of Montmorillonite Nanoclay Added Low Density Polyethylene/Polystyrene/Styrene Butadiene Styrene Polymer Composite <i>Montmorillonit Nanokil İlave Edilmiş Düşük Yoğunluklu Polietilen/Polistiren/Stiren Bütadien Stiren Polimer Kompozitinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi</i> Çağla Ceren AYDIN, Gizem KARADİREK, Münir TAŞDEMİR <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	311-317
Detection of Concrete Surface Cracks with Deep Learning Architectures <i>Beton Yüzey Çatlaklarının Tespitinde Derin Öğrenme Mimarilerin Kullanılması</i> Arzu SEVİNÇ, Fatih ÖZYURT <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	318-325
Usage of Waste Asphalt Treated with Metal Contained Acid Solution as a Catalyst in Hydrogen Production <i>Metal İçerikli Asit Çözeltisi ile Muamele Edilmiş Atık Asfaltın Hidrojen Üretiminde Katalizör Olarak Kullanımı</i> Saliha ÖZARSLAN, Mustafa DURGUN, Mustafa KAYA <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	326-333
Modelling of the Effects of Angle Deep Drawing Process Parameters of Square Profile Cup with Fuzzy Logic <i>Kare Profilli Kapların Açılı Derin Çekme İşlem Parametrelerinin Etkilerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi</i> Engin ÜNAL, Betül AKIN, Faruk KARACA <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	334-339
The Effect of Die Geometry on Cup Damages in Cold Deep Drawing of Rectangular Cups <i>Dikdörtgen Geometriye Sahip Kapların Soğuk Derin Çekilmesinde Kalıp Geometrisinin Kap Hasarları Üzerindeki Etkisi</i> Cebeli ÖZEK <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	340-350



SOLITON AND OTHER FUNCTION SOLUTIONS OF THE POTENTIAL KdV EQUATION WITH JACOBI ELLIPTIC FUNCTION METHOD

Ebru Cavlak Aslan^{*1} , Leyla Gürgöze² 

¹Department of Mathematics, Science Faculty, Firat University, 23119, Elazığ, Turkey

²Department of Mathematics, Science Faculty, Firat University, 23119, Elazığ, Turkey

Abstract

Original scientific paper

The current study is concerned with analytical solutions of the nonlinear potential KdV equation to the modelling of tsunami waves. Here, we implemented the Jacobi elliptic function method, which is widely used in equations in the fields of science and engineering. As a result, many new soliton, hyperbolic, and periodic wave solutions are obtained through Mathematica. These results will be extremely useful and applicable in scientific and engineering. In addition, the obtained wave solutions are shown with graphs

Keywords: Jacobi elliptic function method, soliton, the nonlinear partial differential equations, the potential KdV equation.

JACOBI ELİPTİK FONKSİYON METOT İLE POTANSİYEL KdV DENKLEMİNİN SOLİTON VE DİĞER FONKSİYON ÇÖZÜMLERİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Mevcut çalışma, tsunami dalgalarının modellenmesiyle oluşan lineer olmayan potansiyel KdV denkleminin analitik çözümleri ile ilgilidir. Burada, fen ve mühendislik alanlarındaki denklemlerde yaygın olarak kullanılan Jacobi eliptik fonksiyon metodunu uyguladık. Sonuç olarak Mathematica ile birçok yeni soliton, hiperbolik ve periyodik dalga çözümleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, fen ve mühendislikte son derece faydalı ve uygulanabilir olacaktır. Ayrıca, elde edilen dalga çözümleri grafiklerle gösterildi

Anahtar Kelimeler: Jacobi eliptic fonksiyon metod, soliton, lineer olmayan kısmi diferensiyel denklemler, potansiyel KdV denklemi.

1 Introduction

The concept of Soliton was first discovered by John Scott Rusell in 1834 [1]. The solitons are nonlinear waves that propagate by preserving their shape and speed and continue to maintain these properties after any interaction moment. The fact that it preserves its shape and speed has led many scientists from all fields to work on solitons. Although this theory is related to many areas of mathematics, it has many applications in the engineering, physical, chemical, and biological sciences. Especially in shallow water waves are a growing area of research in mechanical engineering. The well-known nonlinear KdV equation [2] is used to model solitons. Another model, the potential KdV equation, is the nonlinear equation encountered in modeling tsunami waves [3]. The main topic of many research papers is related to the potential KdV equation and its soliton solutions [4-6].

Many methods that yield soliton solutions are used to solve nonlinear partial equations, such as the extended tanh method [7], the first integral method [8], sine-Gordon expansion method [9], generalized tanh method [10], G'/G method [11], Riccati method [12], Kudryashov method [13,14], the F-expansion method [15] etc.

In this paper, the exact solutions of the potential KdV equation are constructed by the Jacobi elliptic function method. This method has been used in many equations formed by modeling structures in the fields of science and engineering [16,17].

1.1 An Overview of Method

Suppose that we have the following nonlinear evolution equation

$$N(u, u_x, u_t, u_{xx}, u_{xt}, u_{tt}, \dots) = 0 \quad (1)$$

* Corresponding author.

E-mail address: ebrucavlak@hotmail.com (E. Cavlak Aslan)

Received 28 July 2022; Received in revised form 03 October 2022; Accepted 03 November 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1141361>

where N is a polynomial in $u(x, t)$. We use the travelling wave transformation

$$u(x, y) = U(\xi), \quad \xi = x - vt. \tag{2}$$

Then Eq.(1) reduce to an ordinary differential equation

$$\tilde{N}(U, U', U'', U''', \dots) = 0 \tag{3}$$

We can express the solution of Eq.(3) as below

$$U(\xi) = \sum_{i=0}^n \alpha_i \psi^i(\xi) \tag{4}$$

where n is the balance number. We determine the positive integer n in Eq. (4) by balancing the highest order derivatives and the nonlinear terms in Eq.(3). $\psi(\xi)$ is a known function as the following Jacobi elliptic function

$$\psi'(\xi) = \sqrt{\Im\psi^4(\xi) + \Re\psi^2(\xi) + \aleph}. \tag{5}$$

Substituting Eq.(4) along with Eq.(5) into Eq.(3), we get a polynomial to of $\psi(\xi)$. Equating each coefficient of polynomial to zero. We derived a system of algebraic equations which can be solved by the aid of Mathematica program [17,18].

2 Wave Solutions of The Potential KdV Equation

2.1 Potansiyel KdV Denkleminin Dalga Çözümleri

$$u_t + au_x^2 + bu_{xxx} = 0 \tag{6}$$

where a and b are real constants, x and t are independent variables that represent the spatial and temporal variables, respectively [4,5]. $u(x, t)$ is the dependent variable that represents the wave profile. The nonlinear u_x^2 term is the transmission term and u_{xxx} term is dispersion term. Solitons are formed the interaction of these two terms.

If Eq.(2) transformation is used, to Eq.(6) becomes as the following ordinary differential equation

$$-vu' + a(u')^2 + bu''' = 0. \tag{7}$$

In Eq.(7), $u'(\xi) = q(\xi)$ conversion is used, Eq.(7) becomes as

$$-vq + aq^2 + bq'' = 0. \tag{8}$$

After that, for $n = 2$, the solution of Eq.(8) is considered as follows

$$q(\xi) = \alpha_0 + \alpha_1\psi(\xi) + \alpha_2\psi^2(\xi) \tag{9}$$

which α_0 , α_1 and α_2 are parameters to be determined. By replacing the nontrivial solution Eq.(9) and Eq.(5), we find

$$\begin{aligned} -v\alpha_0 + a\alpha_0^2 + 2\aleph b\alpha_0 &= 0 \\ -v\alpha_1 + \Re b\alpha_1 + 2a\alpha_0\alpha_1 &= 0 \\ a\alpha_1^2 - v\alpha_2 + 4\Re b\alpha_2 + 2a\alpha_0\alpha_2 &= 0 \\ 2\Im b\alpha_1 + 2a\alpha_1\alpha_2 &= 0. \end{aligned}$$

Solving above algebraic equation system, we obtain

$$\begin{aligned} a \neq 0, \aleph b \neq 0, \alpha_0 &= \frac{v - 4\Re b}{2a}, \alpha_1 = 0, \\ \alpha_2 &= \frac{v\alpha_0 + 4\Re b\alpha_0}{4\aleph b}. \end{aligned} \tag{10}$$

Case1:

$$\Im = m^2, \quad \Re = -(1 + m^2), \quad \aleph = 1 \quad \text{and} \quad \psi(\xi) = sn\xi,$$

we acquire

$$q(\xi) = \frac{1}{8ab} ((v + 4(m^2 + 1)\beta)(4\beta + (v - 4(1 + m^2)\beta)sn^2(\xi))). \tag{11}$$

When $m \rightarrow 1$, then

$$q(\xi) = \frac{1}{8ab} ((v + 8b)(4b + (v - 8b)\tanh^2(\xi))). \tag{12}$$

So, we obtain the kink soliton solution

$$u(x, t) = \frac{1}{8ab} ((v + 8b)((x - vt)(v - 4b) - (v - 8b)\tanh(x - vt))). \tag{13}$$

Case2:

$$\Im = -m^2, \quad \Re = 2m^2 - 1, \quad \aleph = 1 - m^2 \quad \text{and} \quad \psi(\xi) = cn\xi,$$

we acquire

$$q(\xi) = \frac{1}{8(-1 + m^2)ab} (-v + (4 - 8m^2)b)(-4(-1 + m^2)b + (v - 4b + 8m^2b)cn^2(\xi)). \tag{14}$$

When $m \rightarrow 0$, then

$$q(\xi) = \frac{1}{8ab} ((v + 4b)(4b + (v - 4b)\cos^2(\xi))). \tag{15}$$

We can obtain a new periodic solution of Eq.(6), as follows

$$u(x, t) = \frac{1}{32ab} ((v + 4\beta)(2(x - vt)(v + 4b) + (v - \beta)\sin(2(x - vt)))). \tag{16}$$

Case3:

$$\Im = 1, \quad \Re = m^2 - 1, \quad \aleph = m^2 \quad \text{and} \quad \psi(\xi) = ns\xi,$$

so

$$q(\xi) = \frac{1}{8m^2ab} ((v + 4\beta)(1 + m^2)(4m^2\beta + (v - 4\beta(1 + m^2)ns^2(\xi)))) \tag{17}$$

When $m \rightarrow 1$, then

$$q(\xi) = \frac{1}{8ab} ((v + 8b)(4b + (v - 8b)\coth^2(\xi))) \tag{18}$$

So, singular solution of Eq.(6), as follows

$$u(x, t) = \frac{1}{8ab} ((v - 4b)(x - vt) - (v - 8b)\coth(x - vt)) \tag{19}$$

Case4:

$$\Im = 1 - m^2, \Re = 2m^2 - 1, \aleph = -m^2 \text{ and } \psi(\xi) = nc\xi,$$

from here,

$$q(\xi) = -\frac{1}{8m^2ab} ((v + (4 - 8m^2)b)(-4m^2b + (v - 4b + 8m^2b)nc^2(\xi))) \tag{20}$$

When $m \rightarrow 1$, then

$$q(\xi) = -\frac{1}{8ab} (v - 4b)(-4b + (v + 4b)\cosh^2\xi) \tag{21}$$

Hence, the hyperbolic function solution for the governing Eq. (6) is:

$$u(x, t) = -\frac{1}{32ab} (v - 4b)(2(x - vt)(v - 4b) + (v + 4b)\sinh(2(x - vt))) \tag{22}$$

Case5:

$$\Im = 1, \Re = 2 - m^2, \aleph = 1 - m^2 \text{ and } \psi(\xi) = cs\xi,$$

for

$$q(\xi) = -\frac{1}{8ab(m^2 - 1)} (v + 4b(m^2 - 2))(-4b(m^2 - 1) + (v - 4b(m^2 - 2))cs^2(\xi)) \tag{23}$$

$m \rightarrow 0$, then

$$q(\xi) = \frac{v-8b}{2a} + \frac{1}{4b} \left(\frac{v(v-8b)}{2a} + \frac{4(v-8b)b}{a} \right) \cot^2(\xi) \tag{24}$$

Hence, the solution for the governing Eq. (6) is:

$$u(x, t) = -\frac{1}{8ab} (v - 8b)((x - vt)(v + 4b) + (v + 8b)\cot(x - vt)) \tag{25}$$

Case6:

$$\Im = -m^2(1 - m^2), \Re = 2m^2 - 1, \aleph = 1 \text{ and } \psi(\xi) = sd\xi$$

in this

$$q(\xi) = -\frac{1}{8ab} ((v + (4 - 8m^2)b)4b + (v - 4b + 8m^2b)sd^2(\xi)) \tag{26}$$

When $m \rightarrow 1$, then

$$q(\xi) = \frac{1}{8ab} (v - 4b)(4b + (v + 4b)\sinh^2(\xi)) \tag{27}$$

So, the hyperbolic function solution for the governing Eq. (6) is:

$$u(x, t) = \frac{1}{32ab} ((v - 4b)(-2(x - vt))(v - 4b) + (v + 4b)\sinh(2(x - vt))) \tag{28}$$

and for $m \rightarrow 0$,

$$q(\xi) = \frac{1}{8ab} (v + 4b)(4b + (v - 4b)\sin(\xi)) \tag{29}$$

from here, the periodic solution of Eq.(6) is obtained as

$$u(x, t) = \frac{1}{32ab} (v + 4b)(2(x - vt)(v + 4b) - (v - 4b)\sin(2(x - vt))) \tag{30}$$

Case7:

$$\Im = \frac{1-m^2}{4}, \Re = \frac{1+m^2}{2}, \aleph = \frac{1-m^2}{4} \text{ and } \psi(\xi) = nc\xi \pm sc\xi$$

for

$$q(\xi) = \frac{1}{2ab(m^2 - 1)} ((-v + (2m^2 + 2)b)(b - m^2b + b(v + 2(m^2 + 1)))^n) \tag{31}$$

While $m \rightarrow 0$,

$$q(\xi) = -\frac{1}{2ab} (v + 2b)(b + (v + 2b)(\sec(\xi) + \tan(\xi))^2) \tag{32}$$

After all, the new periodic solution is obtained as

$$u(x, t) = -\frac{1}{2ab} (-v + 2b)(-(x - vt)(v + b) + \frac{4(v + 2b)\sin\left(\frac{x - vt}{2}\right)}{\cos\left(\frac{x - vt}{2}\right) - \sin\left(\frac{x - vt}{2}\right)}) \tag{33}$$

Case8:

$$\Im = \frac{1-m^2}{4}, \Re = \frac{1+m^2}{2}, \aleph = \frac{1-m^2}{4} \text{ and } \psi(\xi) = \frac{cn\xi}{1 \pm sn\xi}$$

so

$$q(\xi) = \frac{1}{2ab(m^2 - 1)} ((-v + (2m^2 + 2)b)(b - m^2b + b(v + 2(m^2 + 1))) \left(\frac{cn\xi}{1 \pm sn\xi} \right)^2) \tag{34}$$

While $m \rightarrow 0$,

$$q(\xi) = -\frac{1}{2ab} ((-v + 2b)(b + (v + 2b)) \frac{\cos^2 \xi}{1 \pm \sin^2 \xi}). \quad (35)$$

So, the new periodic solution is obtained as

$$u(x,t) = \frac{-1}{2ab \left(\cos\left(\frac{x-vt}{2}\right) + \sin\left(\frac{x-vt}{2}\right) \right)} \quad (36)$$

$$(v-2b)((x-vt)(v+b)\cos\left(\frac{x-vt}{2}\right) +$$

$$(v((x-vt)-4)+b((x-vt)-8))\sin\left(\frac{x-vt}{2}\right)).$$

Case9:

$$\Im = \frac{1}{4}, \quad \Re = \frac{1-2m^2}{2}, \quad \aleph = \frac{1}{4} \text{ and } \psi(\xi) = \frac{sn\xi}{1 \pm cn\xi},$$

for

$$q(\xi) = \frac{1}{2ab} \left((v + 2b) \left(b + (v - 2b) \left(\frac{sn\xi}{1 \pm cn\xi} \right)^2 \right) \right). \quad (37)$$

When $m \rightarrow 1$,

$$q(\xi) = \frac{1}{2ab} ((v + 2b)(b + (v - 2b)) \left(\frac{\tanh\xi}{1 \pm \operatorname{sech}\xi} \right)^2) \quad (38)$$

and the kink soliton is obtained as

$$u(x,t) = \frac{1}{2ab} (v + 2b)((x - vt)(v - b) - 2(v - 2b)\tanh\left(\frac{x-vt}{2}\right)). \quad (39)$$

Case10:

$$\Im = \frac{(1-m^2)^2}{4}, \quad \Re = \frac{1+m^2}{2}, \quad \aleph = \frac{1}{4} \text{ and } \psi(\xi) = \frac{sn\xi}{cn\xi \pm dn\xi}$$

and

$$q(\xi) = \frac{1}{2ab} (v - 2b(m^2 + 1))(b + (v + 2(1 + m^2)b) \left(\frac{sn\xi}{cn\xi \pm dn\xi} \right)^2). \quad (40)$$

When $m \rightarrow 1$,

$$q(\xi) = \frac{1}{2ab} (v - 4b) \left(b + (v + 4b) \left(\frac{\tanh\xi}{2\operatorname{sech}\xi} \right)^2 \right). \quad (41)$$

and the hyperbolic function solution is obtained as

$$u(x,t) = \frac{1}{32ab} (v - 4b)(-2(x - vt)(v - 4b) + (v + 4b)\sinh(2(x - vt))). \quad (42)$$

Case11:

$$\Im > 0, \quad \Re < 0, \quad \aleph = \frac{m^2 \Re^2}{(1+m^2)^2 \Im}, \quad \psi(\xi) =$$

$$\sqrt{\frac{-m^2 \Re}{(1+m^2) \Im}} \operatorname{sn} \left(\sqrt{\frac{-\Re}{(1+m^2)}} \xi \right),$$

so

$$q(\xi) = -\frac{1}{8m^2 ab} (1(v + 4b) \left(-\frac{4m^2 b}{(1+m^2)^2} \right. \quad (43)$$

$$\left. + (v - 4b) \sqrt{\frac{m^2}{(1+m^2)}} \operatorname{sn} \left(\sqrt{\frac{1}{(1+m^2)}} \xi \right) \right).$$

When $m \rightarrow 1$,

$$q(\xi) = -\frac{1}{2ab} (v + 4b) \left(-b + \frac{1}{2} (v - 4b) \tanh^2 \left(\frac{\xi}{\sqrt{2}} \right) \right). \quad (44)$$

and the kink soliton solution is obtained as

$$u(x,t) = \frac{1}{4ab} (v + 4b)(-(x - vt)(v - 6b) + \sqrt{2}(v - 4b)\tanh\left(\frac{x-vt}{\sqrt{2}}\right)). \quad (45)$$

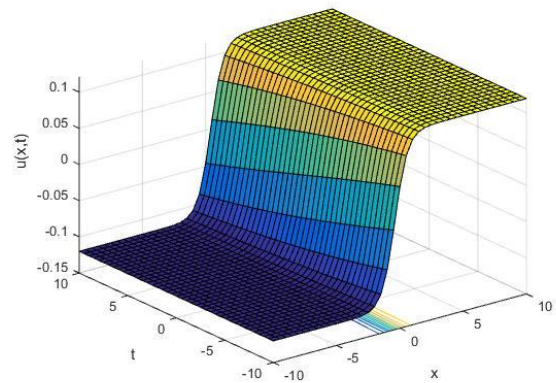


Figure 1. 3D representation of solution Eq. (13) with $a = 0.5, b = 0.01$.

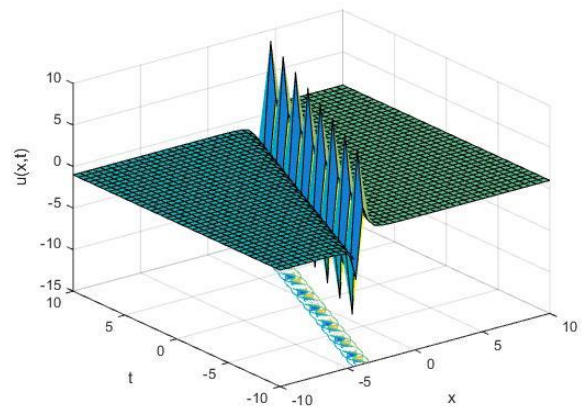


Figure 2. 3D representation of solution Eq. (19) with $a = 0.5, b = 0.1$.

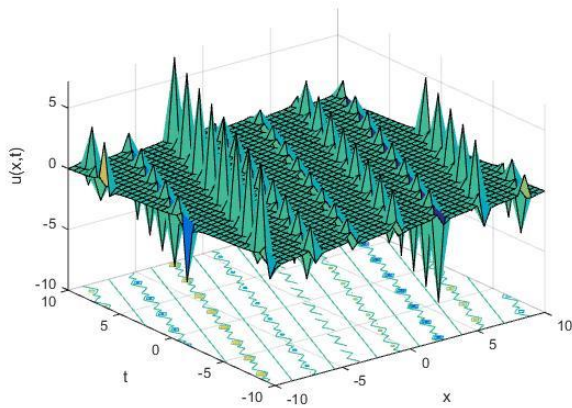


Figure 3. 3D representation of solution Eq. (25) with $a = 1, b = -0.1$.

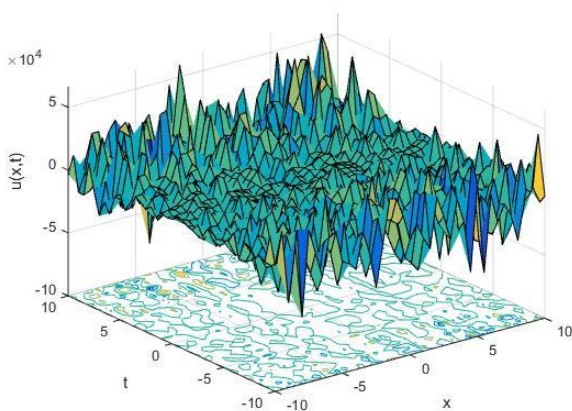


Figure 4. 3D representation of solution Eq. (36) with $a = 0.1, b = -5$.

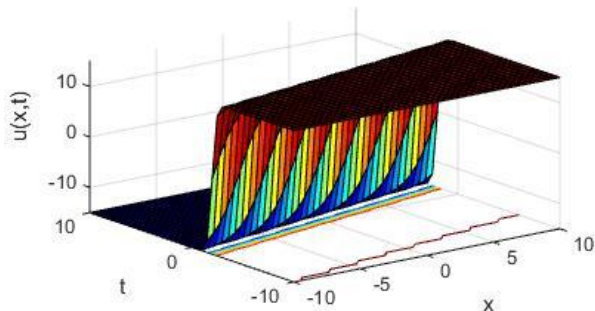


Figure 5. 3D representation of solution Eq (39) with $a = 1, b = 5$.

3 Results and Discussions

In this section, we have exemplified graphical representation of nonlinear the potential KdV equation. Figs. 1-5 as it illustrate 3D plot of some of our obtained solutions. Fig. 1 represent the profile of kink soliton solution of Eq.(13) for $a=0.5, b=0.01$. Fig. 2 shows the shape of singular soliton solution of Eq.(19) for $a=0.5, b=0.1$. Fig. 3 depicts the periodic solution of Eq. (25) for $a=1, b=-0.1$. Similarly, Fig. 4 shows the periodic solution of Eq. (36) for $a=0.1, b=-5$. And finally, Fig. 5 demonstrated the kink soliton solution of Eq. (39) for $a=1, b=5$.

4 Conclusion

In this work, we presented solitons, hyperbolic, and periodic function wave solutions for the potential KdV, which govern the dynamics of water waves along ocean shores. The Jacobi elliptic function method was developed from new wave solutions to the potential KdV equation researched in science and engineering. In addition, we illustrated solutions in Figures 1-5. After all, obtaining solutions shows that the JEF method is powerful and yields important results. Based on the analysis, it is concluded that the method used is simple and direct.

Acknowledgement

This study is related to the MSc thesis of the second author.

Declaration

Ethics committee approval is not required.

References

- [1] Boussinesq, J. (1871). Théorie de l'intumescence liquide appelée onde solitaire ou de translation se propageant dans un canal rectangulaire. *Comptes Rendus*, 72, 755-759.
- [2] Korteweg, D. J., & De Vries, G. (1895). XLI. On the change of form of long waves advancing in a rectangular canal, and on a new type of long stationary waves. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 39(240), 422-443.
- [3] Lakshmanan, M. (2011). Solitons, Tsunamis and Oceanographical Applications of. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, 8506-8521.
- [4] Wang, G. W., Xu, T. Z., Ebadi, G., Johnson, S., Strong, A. J., & Biswas, A. (2014). Singular solitons, shock waves, and other solutions to potential KdV equation. *Nonlinear Dynamics*, 76(2), 1059-1068.
- [5] Inc, M., Ic, Ü., Inan, İ. E., & Gómez-Aguilar, J. F. (2022). Generalized-expansion method for some soliton wave solutions of Burgers-like and potential KdV equations. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 38(3), 422-433.
- [6] Hirota, R., Hu, X. B., & Tang, X. Y. (2003). A vector potential KdV equation and vector Ito equation: soliton solutions, bilinear Bäcklund transformations and Lax pairs. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 288(1), 326-348.
- [7] Pandir, Y., & Yildirim, A. (2018). Analytical approach for the fractional differential equations by using the extended tanh method. *Waves in Random and Complex Media*, 28(3), 399-410.
- [8] Ghosh, A., & Maitra, S. (2021). The first integral method and some nonlinear models. *Computational and Applied Mathematics*, 40(3), 1-16.
- [9] Baskonus, H. M., Bulut, H., & Sulaiman, T. A. (2019). New complex hyperbolic structures to the lonngren-wave equation by using sine-gordon expansion method. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 4(1), 129-138.
- [10] Sedeeg, A. K. H., Nuruddeen, R. I., & Gomez-Aguilar, J. F. (2019). Generalized optical soliton solutions to the (3+ 1)-dimensional resonant nonlinear Schrödinger equation with Kerr and parabolic law nonlinearities. *Optical and Quantum Electronics*, 51(6), 1-15.

- [11] Ulutas, E. (2021). Travelling wave and optical soliton solutions of the Wick-type stochastic NLSE with conformable derivatives. *Chaos, Solitons & Fractals*, 148, 111052.
- [12] Liu, Q., Zhu, J. M., & Hong, B. H. (2008). A modified variable-coefficient projective Riccati equation method and its application to (2+ 1)-dimensional simplified generalized Broer–Kaup system. *Chaos, Solitons & Fractals*, 37(5), 1383-1390.
- [13] Kudryashov N.A. (2020). Method for finding highly dispersive optical solitons of nonlinear differential equation, *Optik*, 206, 163550.
- [14] Kudryashov N. A. (2020). Highly dispersive solitary wave solutions of perturbed nonlinear Schrödinger equations. *Appl. Math. Comput.*, 371, 124972.
- [15] Silambarasan, R., Baskonus, H. M., Anand, R. V., Dinakaran, M., Balusamy, B., & Gao, W. (2021). Longitudinal strain waves propagating in an infinitely long cylindrical rod composed of generally incompressible materials and its Jacobi elliptic function solutions. *Mathematics and Computers in Simulation*, 182, 566-602.
- [16] Tarla, S., Ali, K. K., Yilmazer, R., & Osman, M. S. (2022). New optical solitons based on the perturbed Chen-Lee-Liu model through Jacobi elliptic function method. *Optical and Quantum Electronics*, 54(2), 1-12.
- [17] Ebaid, A., & Aly, E. H. (2012). Exact solutions for the transformed reduced Ostrovsky equation via the F-expansion method in terms of Weierstrass-elliptic and Jacobian-elliptic functions. *Wave Motion*, 49(2), 296-308.
- [18] Elboree, M. K. (2011). The Jacobi elliptic function method and its application for two component BKP hierarchy equations. *Computers & Mathematics with Applications*, 62(12), 4402-4414.



ELECTRICAL STIMULATION APPLICATIONS ON DIABETIC WOUNDS

Batuhan Akıllı^{*1} , Ahmet Koluman¹ , Gülçin Abban Mete² 

¹Pamukkale University, Faculty of Technology, Biomedical Engineering, 20160, Denizli, Turkey

²Pamukkale University, Faculty of Medicine, Department of Histology and Embryology, 20160, Denizli, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Among global health problems, diabetes shows a growing trend. Due to an increase in diabetes cases, the frequency of diabetes wounds also increases. Diabetes is a type of wound in which the duration of treatment is long, risky, and the patient and their relatives are psychologically affected. Reducing the duration of treatment for diabetes wounds allows the patient to accelerate achieving living standards. It has been reported that electrical stimulation method can be applied to shorten the duration of diabetic wound treatment. Studies with electrical stimulation method have been reported to give positive results. In the concept of telemedicine and within the framework of home health services, it is predictable to use the method and get treatment at home without going to the patient's health care facility. In this context, an electrical stimulation can be applied in addition to keeping the area clean with hygienic measures, may provide an additional benefit in wound healing by stimulating the cells and with its positive impact on blood circulation.

Keywords: Diabetes, diabetic wound, electrical stimulation, wound healing.

DIYABETİK YARALARA ELEKTRİKSEL STİMÜLASYON UYGULAMALARI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Küresel sağlık sorunları arasında diyabet artan bir eğilim göstermektedir. Diyabet vakalarında artışa bağlı olarak, diyabet yaralarının oluşma sıklığının da arttığı gözlemlenmektedir. Diyabet yaraları tedavi süresi uzun, riskli, hasta ve hasta yakınlarının psikolojik olarak da etkilendiği yara çeşididir. Diyabet yaralarının tedavi süresinin kısaltılması hastanın yaşam standartlarına kavuşmasında hızlanmaya olanak tanımaktadır. Diyabetik yara tedavi süresini kısaltmak için elektriksel stimülasyon yöntemi uygulanabileceği ve olumlu sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Teletıp konsepti içerisinde ve evde sağlık hizmetleri kapsamında, yöntemin kullanılması ve hastanın sağlık kuruluşuna gitmeden evde tedavi alması öngörülebilir. Bu kapsamda, sadece bölgenin temiz tutulmasına ek olarak uygulanacak bir elektriksel stimülasyon kan dolaşımı üzerine olumlu etkisi ve hücrelerin uyarılmasıyla yaranın kapanmasında ek bir fayda sağlayabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Diyabet, diyabetik yara, elektriksel stimülasyon, yara iyileşmesi.

1 Giriş

1.1 Diyabet

Diyabet hastalığı tüm dünyada genel bir sağlık sorunudur. Diyabet hastalığı veya diabetes mellitus, pankreasın yeterince insülin üretmediği veya vücudun, üretilmiş insülini etkili şekilde kullanmadığı durumlarda oluşan kronik bir hastalıktır. Bu durum, başta kan damarları ve sinirler olmak üzere çoğu vücut sistemlerini ciddi biçimde hasara uğratan kan şekeri düzeyinin artmasına (hiperglisemiye) neden olur [1]. Vücudun kan şekeri düzeyi normal değerlerden yüksek seyrettiği için diyabet hastalarının immun sistem dirençleri düşüktür ve sinir harabiyeti meydana geldiği için yaraların çoğunun varlığını ve acısını hissetmezler [2]. IDF (Uluslararası

Diyabet Federasyonu) 2019 verilerine göre; dünya çapında 20-79 yaşları arasında tahmin edilen 463 milyon yetişkin (bu yaş grubundaki tüm yetişkinlerin %9,3'ü) diyabet hastasıdır. %79,4'ünün düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşadığı tahmin edilmektedir. 2019 tahminlerine göre, 2030'a kadar 578,4 milyon ve 2045'e kadar 20-79 yaşlarındaki 700,2 milyon yetişkin diyabetle yaşayacak. Ülkemizde diyabetli yetişkin hasta sayısı yaklaşık 6,6 milyondur [3]. IDF 2019 verilerine göre tahmini toplam diyabetli yetişkin kişilerin sayısı aşağıda Şekil 1'de verilmiştir. IDF 2019 verilerine göre 2019, 2030 ve 2045'te yetişkinlerde (20-79 yaş) yaş grubuna göre tahmini diyabet prevalansı aşağıda Şekil 2'de verilmiştir.

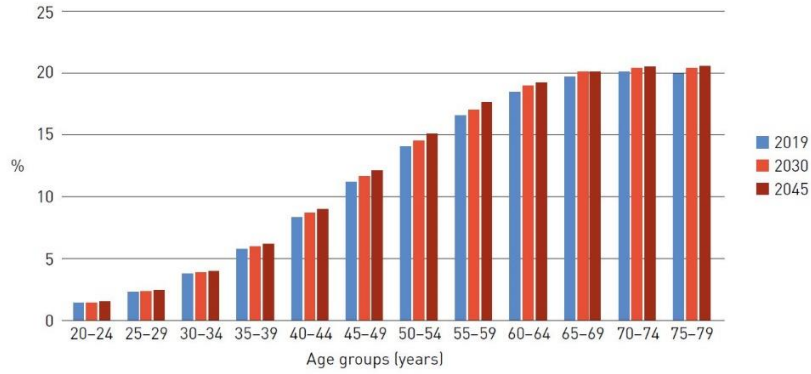
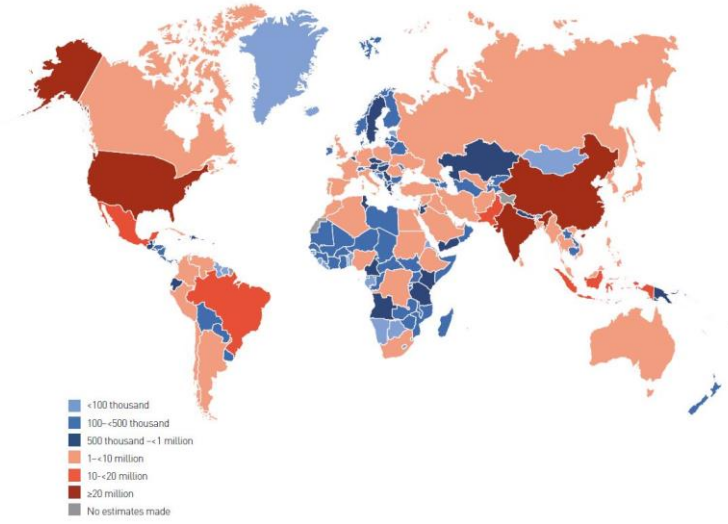
* Corresponding author.

E-mail address: bakilli15@posta.pau.edu.tr (B. Akıllı)

Received 27 January 2022; Received in revised form 11 May 2022; Accepted 01 September 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1063953>



1.2 Diyabet Yaraları

Diyabet hastalığı dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaygın olarak görülmektedir. Diyabet hasta sayısının yüksek olması sebebiyle diyabet yaraları da yaygın olarak görülmektedir ve büyük risk taşıyan yaralardır [4]. Diyabet hastalığı insan vücudunu yavaş yavaş etkiler ve vücudun direncini kaybetmesine neden olur. Diyabet hastalarında sinir ve damar yapılarının bozulmasına bağlı olarak travma ve yaralanmalar sonucunda oluşan yaralar diyabet yaraları olarak adlandırılır. Diyabet yaraları diyabet hastalığının verdiği sinir ve damar harabiyeti nedeniyle hasta tarafından hissedilmez ve çok geç fark edilir. Hasta yarayı fark edip sağlık kuruluşuna başvurduğunda genellikle yara büyümekte ve enfeksiyon oluşmaktadır. Diyabet yaralarının normal yaralara göre en büyük farkı kolay enfekte olmalarıdır. Kolay enfekte olan yaralar oldukları için tedavi süreleri uzun, uğraştırıcı, maliyeti yüksek ve yorucu bir süreçtir [5]. Diyabet yaralarının tedavi süresi uzun olduğu için hasta ve hasta yakınları psikolojik olarak yıpranabilmektedir. Hasta ve hasta yakınları psikolojik açıdan desteklenme ihtiyacı duymaktadır.

Diyabetik yaralar, çözümünü güç tıbbi sorunların yanında toplumsal, ekonomik, sosyal ve insani boyutu olan bir konudur. Alt ekstremitte amputasyonlarının %40-70'i diyabete bağlıdır. Alt ekstremitte amputasyonlarının %85'inde ayak ülser vakası görülmektedir [6].

Diyabetik yaralar yaygın görüldüğünden standart yara bakım ve tedavi protokollerinin yanında alternatif yara tedavi yöntemleri de kullanılmaktadır [5,6]. Bu tedavi protokollerinin bazıları:

- Dermal kollojen tedavisi
- Büyüme faktörü tedavisi
- Maggot tedavisi
- Hiperbarik oksijen tedavisi
- Elektriksel stimülasyon tedavisi

Diyabetik yara iyileşmesinde elektriksel stimülasyon tedavisinin hali hazırda araştırmaları ve testleri yapılmakta olup olumlu sonuçlar alındığı rapor edilmiştir.

1.3 Diyabetik Yaralarda Biyomedikal Yaklaşımlar

1.3.1 Elektriksel Stimülasyon

Diyabetik yaraların tedavisi söz konusu olduğunda en riskli konu enfeksiyondur öncelikli olarak yarının enfeksiyonu ortadan kaldırılmalıdır. Yara uygun temizlik protokollerinden sonra hijyenik işlemler uygulanmasıyla veya antibiyotik tedavisi uygulanarak mikroorganizmalardan arındırılmaktadır. Bu işlemden sonra elektriksel uyarım tedavisi ya da diğer adıyla elektriksel stimülasyon yöntemiyle yara elektrik akımı verilerek hücreler uyarılmaktadır. Hücreler elektrik akımı ile uyarılarak diyabetik yarının tedavisi süresinin

kısalması amaçlanmaktadır [7]. Böylelikle tedavi maliyetinin azaltılması ve kişinin daha çabuk yaşam standartlarına kavuşması beklenmektedir.

Elektriksel stimülasyon yöntemi üzerine düşünülmesinin nedeni yaralanma akımı tanımıdır. Yaralanma akımı, 1843'te Dubois-Reymond, insan derisi yaralarından çıkan 1 mA şiddetinde bir akım bildirdi. Daha sonra yaraların 1 mA'dan daha düşük bir yoğunlukta olduğu ve yarayı çevreleyen bir elektrik alanını, "yaralanma akımı" oluşturduğu doğrulandı. Yaralanma akımı yaranın etrafında 2-3mm'lik bir yarıçapa kadar uzanır ve gradyan yavaş yavaş 140mV/mm'den 0mV/mm'ye düşer.

Ayrıca, Na(+)'nın hücre zarından hücreye taşınmasının, hücrenin dışında negatif kutup olan 20-40mV'lik bir potansiyel farkın deriyi koruduğu anlaşılmaktadır.

Nemli bir pansuman uygulanırsa yaralanma akımının muhafaza edilebileceği, ancak yaranın açık bırakılması ve korunmasız kalması durumunda kademeli olarak azalacağı desteklenmiştir. Yara iyileştikçe, yaralanma akımı da azalmaktadır [8].

Literatürde geçen yaralanma akımı referans alınarak elektriksel stimülasyon tekniğinde hücreler elektrik akımı ile uyarılarak yara tedavisi amaçlanmaktadır. İdeal elektriksel stimülasyon cihazının invaziv olmayan,

taşınabilir, uygun maliyetli olması gerekir ve hastaların günlük yaşamlarına minimum düzeyde müdahale etmesi beklenmektedir [9]. Elektriksel stimülasyon yönteminin çeşitleri vardır. Bu yöntemin çeşitleri yaranın durumuna göre belirlenmektedir.

Klinik çalışmalarda incelenen elektriksel stimülasyon cihazlarının çeşitliliği, dört temel tipten birine ait olarak kategorize edilebilir: Düşük yoğunluklu akım (DYA), Yüksek gerilim darbeli akım (YGDA), Alternatif akım (AA) ve Transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu (TESS). Düşük yoğunluklu akımlar uygulanırken doğru akım ya da darbeli doğru akım şeklinde uygulanmaktadır. Düşük yoğunluklu akımların (DYA) yara iyileşmesi üzerindeki etkinliğinin araştırması önem arz etmektedir, çünkü DYA insan vücudunun yaralanma üzerine ürettiği akımlara benzemektedir [8-10].

DYA, düşük voltajda 20-1000µA akım kullanan sürekli ya da darbeli bir dalga olarak uygulanmaktadır.

Düşük yoğunluklu akımlar (DYA) arasında araştırmalarda yaygın olarak düşük yoğunluklu doğru akım (DYDA) kullanılmaktadır. Düşük yoğunluklu doğru akım (DYDA) kolay uygulanabilir olduğundan tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmaktadır. Aşağıda Tablo 1'de düşük yoğunluklu doğru akım (DYDA) kullanılarak gerçekleştirilen iki çalışmanın ayrıntıları verilmiştir [11,12].

Tablo 1. Düşük yoğunluklu doğru akım kullanılan çalışmaların karşılaştırılması [11,12].

DYDA RCT	Wolcot ve ark. [11]	Carley ve Wainapel. [12]
Yara tipi	İskemik yaralar	Sakrum veya alt ekstremitte ülserleri
Tedavi süreci	200-800µA akım. 2 saatlik seanslar ile günde 3 seans.	200-800µA akım. 2 saatlik seanslar ile günde 2 seans.
Sonuçlar	Tedavi uygulanan 8 kişinin 6'sı tamamen iyileşmiştir, 2'si %70'e kadar iyileşmiştir	Yara iyileşmesi, konvansiyonel tedavi grubuna kıyasla LIC grubunda 1.5-2.5 kat artmıştır.

Tablo 1'de verilen ayrıntılara göre düşük yoğunluklu doğru akım (DYDA) ile yapılan çalışmalarda iyileşme oranları umut vadetmektedir. Yara tipleri olarak incelendiğinde diyabetik yaralar ile benzer özellikler gösteren yaralar araştırılmaktadır.

Düşük yoğunluklu akım (DYA) türlerinin bir diğeri ise düşük yoğunluklu darbeli doğru akımdır (DYDDA). Düşük yoğunluklu doğru akımdan (DYDA) tek farkı akımı sürekli değil saniyede belirli bir darbe ile hücrelere elektrik akımı

uygulanmasıdır. Darbeler genelde saniyede 64 veya saniyede 128 kere uygulanır. Düşük yoğunluklu doğru akım (DYDA) çalışmaları olumlu sonuç verdiği için düşük yoğunluklu darbeli doğru akım (DYDDA) uygulamalarının daha iyi bir sonuç verebileceği düşünülmektedir.

Aşağıda Tablo 2'de düşük yoğunluklu darbeli doğru akım (DYDDA) kullanılarak gerçekleştirilen iki çalışmanın ayrıntıları verilmiştir [13,14].

Tablo 2. Düşük yoğunluklu darbeli doğru akım kullanılan çalışmaların karşılaştırılması [13,14].

DYDDA RCT	Wood ve ark. [13]	Junger ve ark. [14]
Yara tipi	Aşama II ve III, kronik dekübit ülserleri	Venöz bacak ülserleri
Tedavi süreci	300-600µA akım. Günde 1 seans.	315-630µA akım. 30 dakikalık günde 1 seans.
Sonuçlar	Ülser grubu tedavisinde ortalama %58 oranında iyileşmiştir.	15 kişilik tedavi grubunda 2 kişinin ülseri tamamen iyileşmiştir. 13 kişinin ülser alanı ortalama %63 azalmıştır.

Tablo 2'de verilen ayrıntılara göre düşük yoğunluklu darbeli doğru akım (DYDDA) ile yapılan çalışmalarda iyileşme oranları olumludur fakat düşük yoğunluklu doğru akım (DYDA) çalışmalarıyla karşılaştırıldığında aralarında yara iyileşmesi açısından fark istatistiksel olarak önemsiz olarak belirlenmiştir.

Tablo 1 ve Tablo 2 yara tipleri olarak incelendiğinde iki tabloda yapılan toplam dört araştırmada da diyabetik yaralar ile benzer özellikler gösteren yaralar araştırılmaktadır.

Yapılan araştırmaların her birinde yara tedavisi olumlu sonuçlandığı için düşük yoğunluklu doğru akım (DYDA) veya düşük yoğunluklu darbeli doğru akımın (DYDDA) diyabetik yara tedavisi için olumlu sonuç göstermesi beklenmektedir.

Günden güne artan diyabet vakaları ve git gide yaygınlaşan diyabet yaralarının tedavisi için kullanılacak farklı bir tedavi yöntemi olan elektriksel stimülasyon tedavisi için Tablo 1 ve Tablo 2 verilen araştırmalar düşük yoğunluklu

akımın (DYA) yara iyileşme sürecini hızlandırdığını göstermektedir. Yoğunluk genelde 20-1000 μ A arasında belirtiliyor olsa da genelde çalışmalarda 200-800 μ A arasında bir yoğunluk kullanılmakta ve olumlu sonuçlar göstermektedir. Düşük yoğunluklu akımların (DYA) diyabetik yaralar üzerinde etkisini anlamak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

1.4 Elektriksel Stimülasyon için Kullanılabilecek Devrelere Genel Bakış

Elektriksel stimülasyon cihazının tasarımında temel olarak güç kaynağı, elektrotlar, direnç, röle ve mikroişlemci kullanılmaktadır. Düşük akımlı bir elektriksel stimülasyon cihazı tasarımı yapılırken mikroişlemci kontrolünde güç kaynağından düşük akım verilererek direnç yardımıyla akım değeri istenilen aralığa getirilerek DYDA çeşidi bir elektriksel stimülasyon cihazı tasarımı yapılmıştır. Bu tasarıma ek olarak istenildiği takdirde röle kullanılarak mikroişlemci yazılımının tekrar ayarlanması ile tasarıma darbe (pulse) yaptırılabilir bu tasarım DYDDA çeşidi bir elektriksel stimülasyon cihazı tasarımıdır. LDYDA ve DYDDA tasarımında kullanılan materyaller değiştirilerek yüksek voltajlı elektriksel stimülasyon cihazı tasarlanabilmektedir. Elektriksel stimülasyon tasarımı tamamlandıktan sonra yara üzerine elektrotlar yerleştirilerek yaraya elektriksel akım uygulaması yapılabilmektedir.

1.5 Evde Sağlık Hizmetleri ve Elektriksel Stimülasyonun Diyabetik Yaralarda Kullanımı

Evde sağlık hizmetleri, bireyin sağlık kuruluşuna gitmesine gerek kalmadan ve sağlık kuruluşlarındaki hasta yoğunluğunu azaltmak için; muayene, tedavi, tahlil, tetkik, tıbbi bakım ve rehabilitasyon gibi hizmetlerin bireyin yaşadığı ortamda sunulmasıdır. Bireylerin kendi evlerinde bu sağlık hizmetlerin verilmesi hasta ve hasta yakınlarına sosyal ve psikolojik destek sağlamaktadır.

Evde sağlık hizmetlerine ihtiyaç duyan bireylerin başında nörolojik hastalığı olan bireyler, engelli bireyler, uzun süre tedavi alması gereken bireyler, yüksek enfeksiyon riski olan bireyler, diyabet hastalığı olan bireyler, kanser tedavisi alan bireyler gelmektedir. Evde sağlık hizmetlerinin avantajları [15-17]:

- Bireylere özgü bir sağlık protokolü izlenmektedir
- Bireylere ve yakınlarına eğitim verilerek tedavi sürecine katılmaları sağlanmaktadır
- Sağlık kuruluşlarındaki hasta yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır
- Erken tanı ve tedaviye imkân sağlamaktadır
- Bireylerin yaşam kaliteleri ve konforları aksamamaktadır
- Bireye sağlık protokolü düzgün uygulandığı takdirde bireyin enfeksiyon olma ihtimali azalmaktadır.
- Tedavi süresi bir miktar kısalmaktadır.
- Yaşamın son evresindeki bireyler için tercih edilen bir hizmettir

Evde sağlık hizmetleri diyabet hastalığı olan bireylere uygulanmaktadır. Diyabet hastalığı olan bireylere diyabetik yaralar oluşmasını diye evde sağlık hizmeti kapsamında diyabet hastalığı ile ilgili bilgiler verilmektedir. Diyabetik yaralar uzun süreli tedavi isteyen ve kolay enfekte olabilen yaralardır. Diyabetik yara tedavisinin evde sağlık hizmetleri

kapsamında yapılması öncelikle hastanın konforunu ve moralini yüksek tutmasını sağlamaktadır. Diyabetik yaraların tedavileri yaranın durumuna göre en az 3 ay sürmektedir. Tablo 1 ve Tablo 2 incelendiğinde diyabetik yaraların tedavi süresini elektriksel stimülasyon cihazıyla azaltmanın mümkün olduğunu görülmektedir.

Elektriksel stimülasyon cihazları küçük ve taşınabilen cihazlardır. Yaklaşık olarak bir cep telefonu boyutundadırlar. Diyabetik yaraya uygulama aşamasında öncelikle elektriksel stimülasyon cihazının elektrot bağlantıları yapılır sonrasında elektrotlar diyabetik yaranın etrafına yerleştirilir ve cihazda uygun olan tedavi modu seçilerek yaraya elektrik stimülasyonu uygulanmaktadır. Cihaz küçük boyutları sayesinde taşınabilmekte ve uygun olan her yerde bu uygulama yapılabilmektedir. Kullanım kolaylığı sayesinde sağlık ekiplerine ihtiyaç duymadan hasta kendi kendine de uygulayabilmektedir. Elektriksel stimülasyon cihazının dezavantajı uygulama sürelerinin uzun olmasıdır. Diyabetik yaranın durumuna ve tedavi protokolüne göre seanslar halinde en az 30 dakika en fazla 2 saat uygulanması gerekebilmektedir.

2 Malzeme ve Yöntem

Bu çalışma elektriksel stimülasyon cihazının laboratuvar ortamında hücre kültürü üzerindeki etkilerini araştırmak için yapılmıştır. Diyabet hastalığı genel olarak keratinosit ve fibroblast hücreleri etkileyerek diyabetik yara oluşumunu meydana getirmektedir. Bu yüzden bu çalışmada keratinosit (HaCaT) ve fibroblast (CCD18Co) hücre hatları kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak hücre hatları Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı'ndan temin edilmiş olup elektriksel stimülasyon uygulaması aynı birimin laboratuvarında yapılmıştır.

2.1 Malzemeler

2.1.1 Fetal Bovine Serum (FBS) (HyClone)

Fetal Bovine Serum (FBS), hücrelerin tutunabilmelerini ve çoğalmalarını sağlayan hormanlar, enzimler, büyüme faktörleri ve hücreler arası matriks proteinlerinin bulunduğu bir çözeltilidir. Bu çözelti biyolojik güvenlik kabininde 10 ml'lik steril falcon tüplere bölünerek kullanılacağı zamana kadar -20 °C'de saklanmaktadır.

2.1.2 Penicilin Streptomisin (Pen Strep) (Gibco)

Penicilin ve Streptomisin hücrenin üremesi için gerekli olan besiyeri içine katılan antibiyotiklerdir. Hücrelerin üreme aşamasında meydana gelecek bakteri, mantar vb. organizmalar tarafından oluşabilecek kontaminasyonların önüne geçmek için kullanılmaktadır.

2.1.3 Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) (HyClone)

Dulbecco's Modified Eagle's Medium, hücrenin üremesi için gerekli olan glikoza, canlılıklarını sürdürmek için gerekli ozmolarite ve pH değerine, hücrelerin hücresel fonksiyonlarını sürdürebilmeleri için gerekli aminoasitlere ve vitaminlere sahiptir. Laboratuvar ortamında hücre kültüründe besiyeri olarak kullanılmaktadır.

2.1.4. Tripsin – EDTA (%0.25) (With Phenol Red)

Tripsin, serin proteaz tipi bir enzim olup hücre pasajlamalarında temel olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan madde %0.25 EDTA içermektedir. Tripsin yüksek sıcaklıklarda aktivitesini kaybetmeye başlar bu yüzden alıgötlenerek -20 °C'de saklanması gerekmektedir.

2.1.5 Phosphate Buffer Saline (PBS)

Phosphate Buffer Saline (PBS), hücrenin içindeki ve dışındaki ozmatik basıncı dengede tutan bir tuz çözeltisidir. İçeriğinde inorganik tuzlar ve su bulunmaktadır. Hücre kültürü uygulamalarında ölü hücreleri ve hücre atıklarını uzaklaştırmak için kullanılmaktadır.

2.2 Yöntem

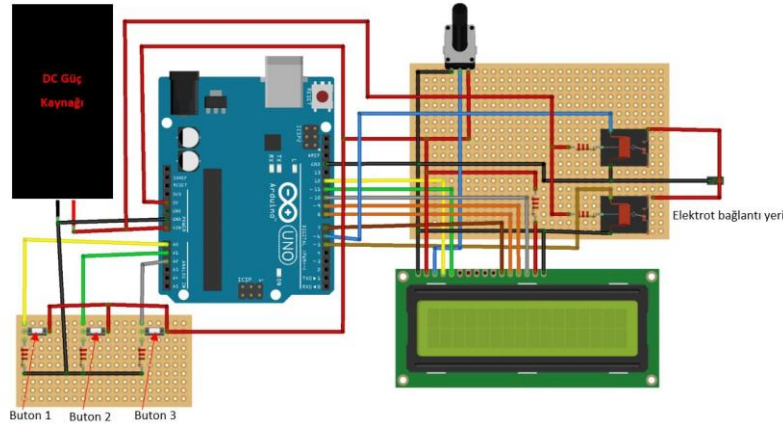
2.2.1 Hücrelerin Ekilmesi

Kriyo tüplerde dondurulmuş halde bulunan keratinosit (HaCaT) ve fibroblast (CCD18Co) hücre hatları önceden 37°C'ye ayarlanmış ve ısıtılmış su banyosunda çözdürülmektedir. Çözdürülme işlemi uygulanan kriyo

tüplerdeki hücrelere oda sıcaklığında %10 fütal sığır serum (FBS), %1 L-glutamin, 100IU/ml penisilin ve 10 mg/ml streptomisin içeren besi yeri eklenmektedir. Kriyo tüplerde bulunan hücreler 15 ml'lik falcon tüplere aktarılmaktadır. Falcon tüpte bulunan hücreler 75 cm²'lik flaslara ekilmekte ve hücrelerin üremesi için en uygun ortam olan 37°C'de %95 nem ve %5 CO₂'li etüvde inkübe edilmektedir. Flaslarda yeteri kadar çoğaltılan hücre hatlarına pasajlama işlemi yapılmaktadır. Pasajlama işleminde flaskdaki hücreler önce PBS ile yıkanmaktadır. Ardından tripsin-EDTA flaslara eklenerek flask yüzeyine yapmış halde bulunan hücreler kaldırılmaktadır. Flaska yeteri kadar besi yeri ilavesi yapıp 15 ml'lik falcon tüpe alınmaktadır. 1500 rpm'de 4 dakika santrifüj edilip ve süpernatant kısmı uzaklaştırılmaktadır. Hücre sayım işlemi yapıldıktan sonra elektriksel stimülasyon uygulamasında kullanılacak olan 60 mm çapındaki plastik petri kaplarına hücre ekimi yapılmaktadır. Uygulamada kullanılan petrilerin her birine yaklaşık 100000 hücre ekilmektedir.

2.2.2 Devre Tasarımı

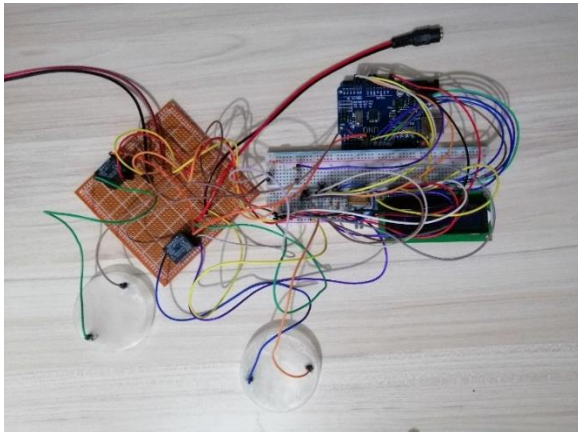
Bu çalışmada devre Arduino UNO kullanılarak tasarlanmıştır. Devreye ait şema aşağıda Şekil 3'te verilmektedir.



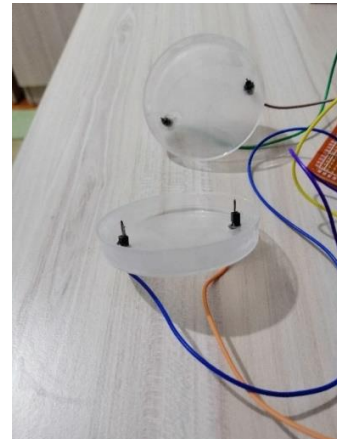
Şekil 3. Elektriksel stimülasyon cihazının devre şeması.

Devre şemasına göre hazırlanan devrenin görselleri aşağıda Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Elektriksel stimülasyon cihazının tasarımında elektrotlar petri kabının kapağına sabitlenmiştir ve elektrotlar arasında 5 cm mesafe

bulunmaktadır. Elektriksel stimülasyon cihazı 8 farklı modda çalışmak üzere tasarlanmıştır. Bu mod Tablo 3'te verilmektedir.



Şekil 4. Elektriksel stimülasyon cihazı



Şekil 5. Elektriksel stimülasyon cihazının petri kabının kapağına sabitlenen elektrotları

Tablo 3. Elektriksel stimülasyon cihazı çalışma modları (*DC: Doğru akım *PDC: Darbeli Doğru Akım).

MOD No	Akım Değeri	Uygulama Şekli	Uygulama Süresi
1	700-800 μ A	DC	30'
2	500-600 μ A	DC	30'
3	700-800 μ A	DC	60'
4	500-600 μ A	DC	60'
5	700-800 μ A	PDC	30'
6	500-600 μ A	PDC	30'
7	700-800 μ A	PDC	60'
8	500-600 μ A	PDC	60'

2.2.3 Uygulama

Bu çalışmada 32 tane uygulama ve 4 tane kontrol grubu olmak üzere toplamda 36 grup oluşturulmuştur. Bu gruplar aşağıdaki tablolarda belirmiştir.

Tablo 4. Uygulama yapılacak hücreler ve parametreleri (*DC: Doğru akım *PDC: Darbeli doğru akım).

Grup No	Hücre Tipi	Akım Tipi	Akım Yoğunluğu	Uygulama Süresi	Test No
1	Keratinosit	DC	700-800 μ A	30'	1
2	Keratinosit	DC	700-800 μ A	60'	1
3	Keratinosit	DC	700-800 μ A	30'	2
4	Keratinosit	DC	700-800 μ A	60'	2
5	Keratinosit	DC	500-600 μ A	30'	1
6	Keratinosit	DC	500-600 μ A	60'	1
7	Keratinosit	DC	500-600 μ A	30'	2
8	Keratinosit	DC	500-600 μ A	60'	2
9	Keratinosit	PDC	700-800 μ A	30'	1
10	Keratinosit	PDC	700-800 μ A	60'	1
11	Keratinosit	PDC	700-800 μ A	30'	2
12	Keratinosit	PDC	700-800 μ A	60'	2
13	Keratinosit	PDC	500-600 μ A	30'	1
14	Keratinosit	PDC	500-600 μ A	60'	1
15	Keratinosit	PDC	500-600 μ A	30'	2
16	Keratinosit	PDC	500-600 μ A	60'	2
17	Fibroblast	DC	700-800 μ A	30'	1
18	Fibroblast	DC	700-800 μ A	60'	1
19	Fibroblast	DC	700-800 μ A	30'	2
20	Fibroblast	DC	700-800 μ A	60'	2
21	Fibroblast	DC	500-600 μ A	30'	1
22	Fibroblast	DC	500-600 μ A	60'	1
23	Fibroblast	DC	500-600 μ A	30'	2
24	Fibroblast	DC	500-600 μ A	60'	2
25	Fibroblast	PDC	700-800 μ A	30'	1
26	Fibroblast	PDC	700-800 μ A	60'	1
27	Fibroblast	PDC	700-800 μ A	30'	2
28	Fibroblast	PDC	700-800 μ A	60'	2
29	Fibroblast	PDC	500-600 μ A	30'	1
30	Fibroblast	PDC	500-600 μ A	60'	1
31	Fibroblast	PDC	500-600 μ A	30'	2
32	Fibroblast	PDC	500-600 μ A	60'	2

Tablo 5. Kontrol grubu parametreleri.

Grup No	Hücre Tipi	Test No
1	Keratinosit	1
2	Keratinosit	2
3	Fibroblast	1
4	Fibroblast	2

Elektriksel stimülasyonun hücre kültürü üzerine uygulama işlemi sırasında petri kaplarına ekilen hücreler 24 saat etüvde inkübe edilmektedir. Sonrasında elektriksel stimülasyon cihazı kullanılarak Tablo 3'te verilen parametreler petri kabında bulunan hücrelere uygulanmaktadır. Uygulamadan sonra petri kabındaki hücreler 24 saat 37°C'de %95 nem ve %5 CO₂'li etüvde inkübe edilmektedir. Ardından petrielerde hücreler thoma lamı ile sayılarak hücre sayısı verileri elde edilmektedir.

3 Sonuçlar

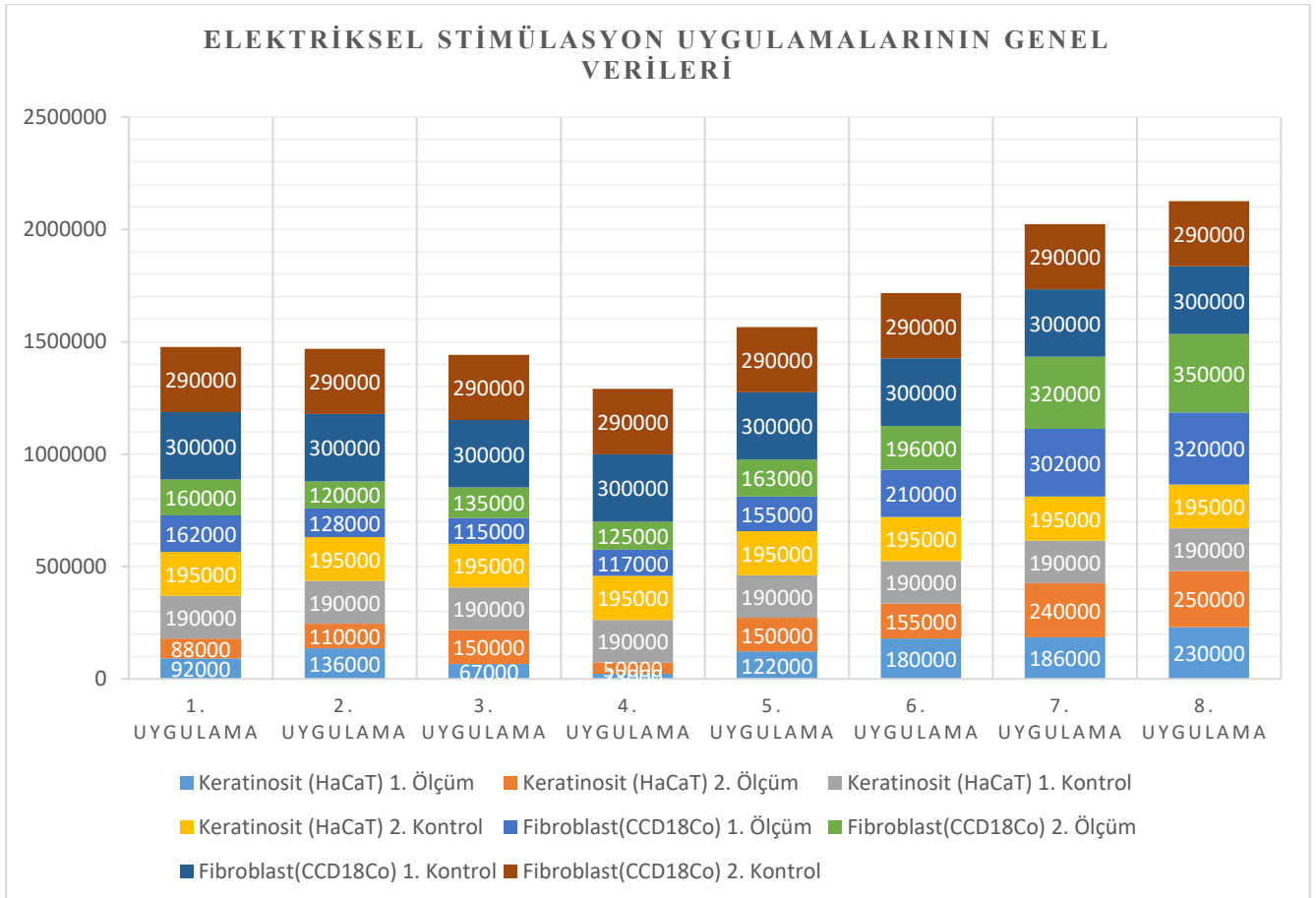
Elektriksel stimülasyonun hücre kültürü üzerine uygulamasında cihazda bulunan modlar sırasıyla uygulanmıştır. (Örneğin. Cihazın 1. modu uygulandığında 1.uygulama olarak adlandırılmıştır.) Tüm uygulamalar tamamlandığında hücre sayımı işleminden sonra elde edilen veriler aşağıdaki Tablo 6 'da verilmiştir.

Tablo 6. Hücre sayımından elde edilen veriler.

Keratinosit (HaCaT)			Fibroblast(CCD18Co)		
Uygulama No	1. Ölçüm	2. Ölçüm	Uygulama No	1. Ölçüm	2. Ölçüm
1	92000	88000	1	162000	160000
2	136000	110000	2	128000	120000
3	67000	150000	3	115000	135000
4	23000	50000	4	117000	125000
5	122000	150000	5	155000	163000
6	180000	155000	6	210000	196000
7	186000	240000	7	302000	320000
8	230000	250000	8	320000	350000
Kontrol	190000	195000	Kontrol	300000	290000

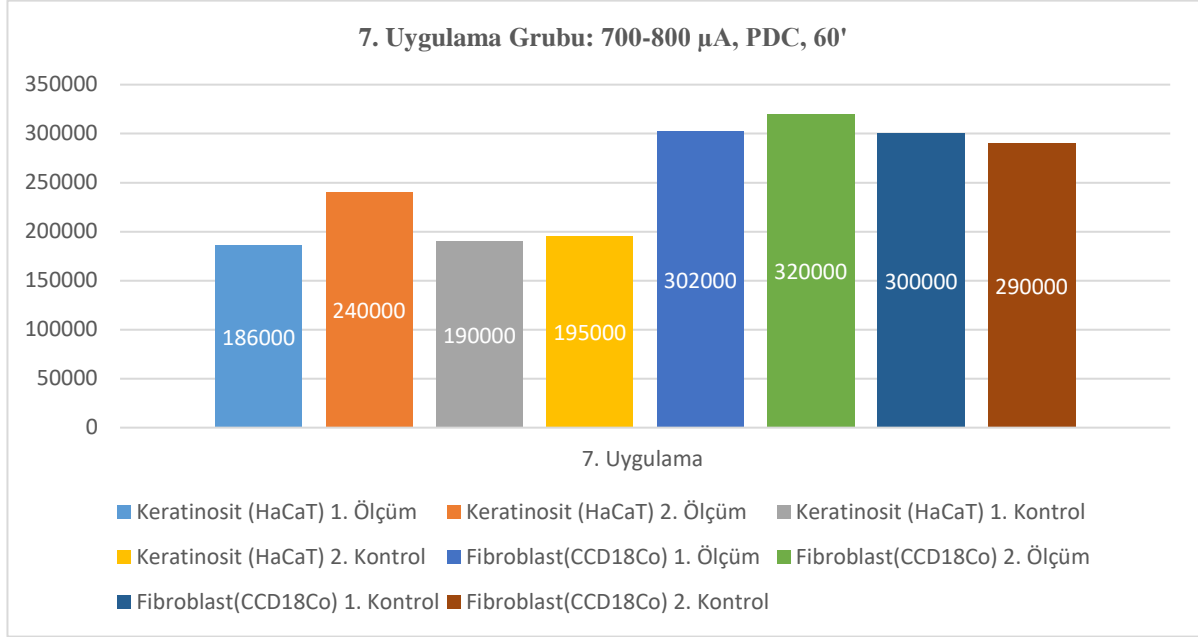
*Uygulama yapılan tüm petri kaplarına en başta yaklaşık 100000 hücre ekilmiştir.

Elektriksel stimülasyon cihazının hücre kültürü üzerine uygulama işleminden elde edilen hücre sayımı verilerinin ayrıntılı grafiği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

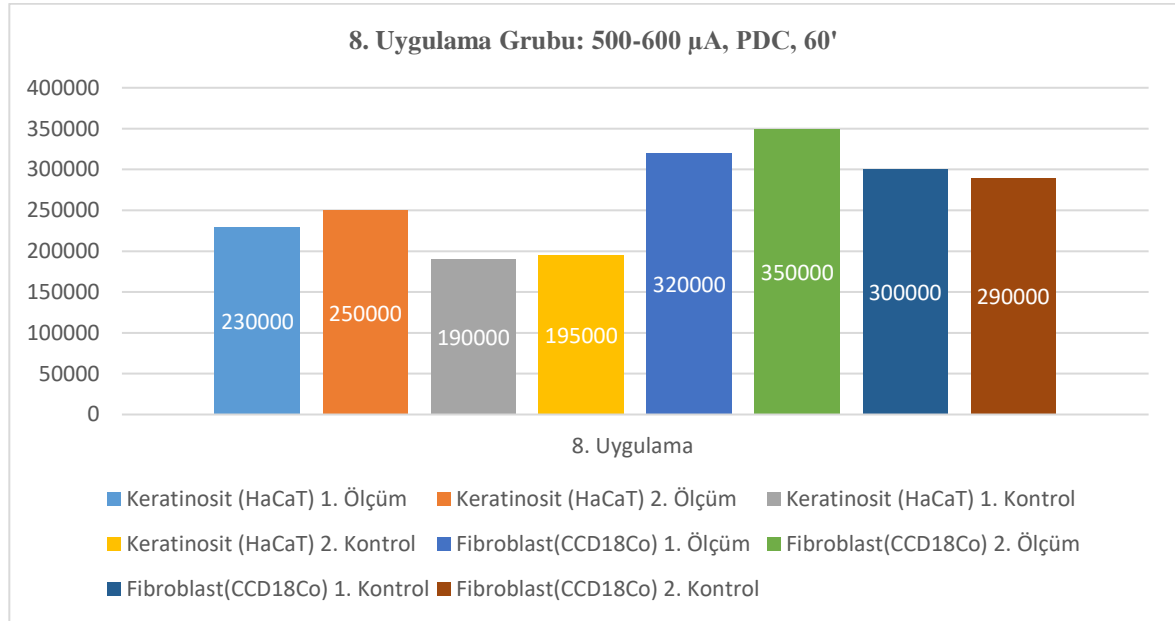


Şekil 6. Bütün elektriksel stimülasyon uygulama verilerinin genel grafiği.

Verilerin genel grafiğine bakıldığı zaman uygulanan sekiz farklı moddan 7. ve 8. modların uygulamalarının başarılı sonuçlandığı görülmektedir. Başarılı sonuç alınan iki modun ayrıntılı grafikleri aşağıda verilmektedir.



Şekil 7. Elektriksel stimülasyon cihazının 7. modunun hücre sayımı verileri.



Şekil 8. Elektriksel stimülasyon cihazının 8. modunun hücre sayımı verileri.

Yukarıdaki grafikler incelendiği zaman 7. ve 8. uygulamalarda elde edilen hücre sayılarının kontrol grubu hücre sayılarından belirgin şekilde fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu uygulamalarda istatistiksel olarak bir artış ($p < 0,05$) olduğu gözlemlenmiştir. Elektriksel stimülasyon cihazının uygulamasının olumlu sonuç verdiği görülmektedir.

4 Tartışma

Bu çalışmada yara iyileşmesi özellikle diyabetik yaraların iyileşme süresinin kısaltılması hedeflenmiştir. Bu hedefin olabilmesi için elektriksel stimülasyon cihazı tasarımı yapılmıştır. Çalışmada keratinosit (HaCaT) hücre hattı ve fibroblast (CCD18Co) hücre hattı üzerine elektriksel stimülasyon uygulaması yapılmıştır. Hücrelerin elektriksel stimülasyon uygulamasına olumlu tepki vererek hücre üreme hızında artış olması beklenmiştir.

Wolcott ve ark. [11] elektriksel stimülasyon uygulamasını iskemik yaralara sahip olan 8 kişilik grup üzerinde yapmışlardır. 200-800 μ A düşük yoğunluklu doğru akım (DYDA) uygulayan bir yöntem kullanmışlardır. Çalışma süresince her gün ve günde 3 kez 2 saat boyunca uygulama yapılmıştır. Uygulamanın sonucunda grupta bulunan 8 kişiden 6'sının yaralarının tamamen iyileşmiş durumda olduğu ve kalan 2 kişinin de iyileşme oranının % 70 olduğu bildirilmiştir.

Carley ve Wainapel [12] elektriksel stimülasyon uygulamasını karışık ülser yaralarına sahip 15 kişilik grup

üzerinde yapmışlardır. Elektriksel stimülasyon uygulamasını 200-800 μ A doğru akım (DC) kullanarak yapmışlardır. 5 hafta boyunca her gün 2 saat elektriksel stimülasyon uygulanmıştır. Elektriksel stimülasyon uygulamasının sonucunda yara alanında %89 azalma olduğu bildirilmiştir.

Wood ve ark. [13] elektriksel stimülasyon uygulamasını bası ülseri hastalığı bulunan 41 kişilik grup üzerinde yapmışlardır. 600 μ A doğru akım (DC) uygulayan bir elektriksel stimülasyon yöntemi ile 8 hafta boyunca haftada 3 kez uygulama yapılmıştır. 8 haftalık süreç sonunda grupta bulunan hastalarda %58 oranında yara iyileşmesi meydana geldiği bildirilmiştir.

Junger ve ark. [14] elektriksel stimülasyon uygulamasını venöz bacak ülseri hastalığı bulunan 15 kişilik grup üzerinde yapmışlardır. 315-630 μ A düşük yoğunluklu darbeli doğru akım (DYDDA) uygulayan bir yöntem kullanmışlardır. Çalışma süresince gruba günde 1 kez 30 dakika elektriksel stimülasyon uygulamıştır. Uygulamanın sonucunda 15 kişilik grupta 2 kişinin venöz bacak ülserinin tam olarak iyileştiği ve kalan 13 kişinin venöz bacak ülserinin yara alanının ortalama %63 olarak azaldığı bildirilmiştir.

Peters ve ark. [18] elektriksel stimülasyon uygulamasını diyabetik ayak ülseri hastalığı olan 20 kişilik grup üzerinde yapmışlardır. 12 hafta boyunca her gece 8 saat 50V doğru akım (DC) elektriksel stimülasyon uygulaması yapılmıştır. 12 haftalık süreç sonunda %65 yara iyileşmesi ve %86 yara alanında azalma olduğu bildirilmiştir.

Adunsky ve ark. [19] elektriksel stimülasyon uygulamasını bası ülseri hastalığı bulunan 19 kişilik grup üzerinde yapmışlardır. Doğru akım (DC) elektriksel stimülasyon uygulaması 2 hafta boyunca her gün 20 dakika olacak şekilde uygulanmıştır. 2 haftalık süreç tamamlandığında %26 yara iyileşmesi ve %31 yara alanında azalma olduğu bildirilmiştir.

Feedar ve ark. [20] elektriksel stimülasyon uygulamasını karışık ülser yaraları bulunan 26 kişilik grup üzerinde yapmışlardır. 29.2V, 29.2 μ A darbeli doğru akım (PDC) uygulayan bir yöntem kullanmışlardır. 4 hafta boyunca her gün 30 dakika uygulama yapılmıştır. Yapılan elektriksel stimülasyon uygulamasının sonucunda yara iyileşmesinin olmadığı fakat yara alanında %66 azalma olduğu bildirilmiştir.

Lawson ve Petrofsky [21] elektriksel stimülasyon uygulamasını karışık yaraları bulunan 8 kişisinde diyabet hastalığı bulunan 9 kişisinde diyabet hastalığı bulunmayan toplamda 17 kişilik grup üzerinde yapmışlardır. Elektriksel stimülasyon yöntemi olarak 5V, 20mA doğru akım (DC) uygulamasını kullanmışlardır. 4 hafta boyunca haftada 3 kez 30 dakika boyunca uygulama yapılmıştır. Uygulamanın sonucunda diyabet hastalığı bulunan hastalarda yara alanı azalmasının %70 olduğu, diyabet hastalığı bulunmayan hastalarda yara alanı azalmasının %38 olduğu bildirilmiştir.

Bu çalışmada 12V, 500-800 μ A düşük yoğunluklu doğru akım (DYDA) ve düşük yoğunluklu darbeli doğru akım (DYDDA) yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmada keratinosit (HaCaT) ve fibroblast (CCD18Co) hücre hatları üzerine 30 dakika ve 60 dakika elektriksel stimülasyon uygulaması yapılmıştır. Uygulamaların sonucunda hücre hatlarında %14-25 arasında hücre

üremesinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmaya benzer hücre kültürü üzerine uygulanan elektriksel stimülasyon uygulaması bulunmamaktadır. Çalışma hasta grupları üzerine yapılan elektriksel stimülasyon uygulamaları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçların yapılan diğer elektriksel stimülasyon çalışmalarının sonuçları ile benzer sonuçlar taşıdığı görülmektedir. Çalışma in vitro koşullarda yapılmıştır ancak karşılaştırılan çalışmalar in vivo olarak yapılmıştır. Bu yüzden sonuçların kesin olarak doğruluğunun anlaşılabilmesi için bu çalışmanın in vivo testlerinin yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans seminerinden derlenmiş olup Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenen 2020FEBE036 kodlu “Diyabetik Yara Tedavisi İçin Elektriksel Stimülasyon Cihazı Tasarımı” projesinden desteklenmektedir.

Bilgilendirme

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Tanrıverdi, M. H., Çelepkolu, T., & Aslanhan, H. (2013). Diyabet ve birinci basamak sağlık hizmetleri. *Journal of Clinical & Experimental Investigations*, 4(4).
- [2] Atmaca, H. U., Akbaş, F., Şak, T., Şak, D. U., Acar, Ş., & Niyazoğlu, M. (2015). Consciousness level and disease awareness among patients with diabetes. *Istanbul Med J*, 16(3), 101-104.
- [3] IDF (2019). *Diabetes Atlas Ninth Edition*.
- [4] Saltoğlu N., Kılıçoğlu Ö., Baktıroğlu S., Oşar-Siva Z., Aktaş Ş., Altındaş M., Arslan C., Aslan T., Çelik S., Engin A., Eraksoy H., Ergönül Ö., Ertuğrul B., Güler S., Kadanalı A., Mülazımoğlu L., Olgun N., Öncül O., Öznur A., Satman İ., Şencan İ., Tanrıöver Ö., Turhan Ö., Tuygun A. K., Tüzün H., Yastı A. Ç., & Yılmaz T., (2015), “Diyabetik Ayak Yarası ve İnfeksiyonunun Tanısı, Tedavisi ve Önlenmesi: Ulusal Uzlaş Raporu” *Klinik Dergisi*, 28(Özel Sayı 1), 2-34.
- [5] Demir T., Akıncı B., & Yeşil S., (2007) . Diyabetik ayak ülserlerinin tanı ve tedavisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 21(1), 63-70.
- [6] Kalkan, Ö. F., Karakeçili, F., & Kalkan, A. (2015). Diyabetik ayağın fizyopatolojisinde diyabetik ayak enfeksiyonları. *Türkiye Klinikleri Journal of Endocrinology Special Topics*, 8(3), 18-24.
- [7] Kloth, L. C. (2014). Electrical stimulation technologies for wound healing. *Advances in wound care*, 3(2), 81-90.
- [8] Balakatounis, K. C., & Angoules, A. G. (2008). Low-intensity electrical stimulation in wound healing: review of the efficacy of externally applied currents resembling the current of injury. *Eplasty*, 8, 283-291.
- [9] Ashrafi, M., Alonso-Rasgado, T., Baguneid, M., & Bayat, A. (2017). The efficacy of electrical stimulation in lower extremity cutaneous wound healing: a systematic review. *Experimental dermatology*, 26(2), 171-178.
- [10] Thakral, G., LaFontaine, J., Najafi, B., Talal, T. K., Kim, P., & Lavery, L. A. (2013). Electrical stimulation to accelerate wound healing. *Diabetic foot & ankle*, 4(1), 22081.

- [11] Wolcott, L. E., Wheeler, P. C., Hardwicke, H. M., & Rowley, B. A. (1969). Accelerated healing of skin ulcer by electrotherapy: preliminary clinical results. *Southern medical journal*, 62(7), 795-801.
- [12] Wainapel, S. F. (1985). Electrotherapy for acceleration of wound healing: low intensity direct current. *Arch Phys Med Rehabil 19S5*, 66, 443-6.
- [13] Wood, J. M., Evans, P. E., Schallreuter, K. U., Jacobson, W. E., Sufit, R., Newman, J., ... & Jacobson, M. (1993). A multicenter study on the use of pulsed low-intensity direct current for healing chronic stage II and stage III decubitus ulcers. *Archives of Dermatology*, 129(8), 999-1009.
- [14] Jünger, M., Zuder, D., Steins, A., Hahn, M., & Klyszcz, T. (1997). Treatment of venous ulcers with low frequency pulsed current (Dermapulse): effects on cutaneous microcirculation. *Der Hautarzt; Zeitschrift für Dermatologie, Venerologie, und verwandte Gebiete*, 48(12), 897-903.
- [15] Altuntaş, M., Yilmazer, T., Güçlü, Y., & Öngel, K. (2010). Evde sağlık hizmeti ve günümüzdeki uygulama şekilleri. *Tepecik Eğitim ve Araştırma Hastanesi Dergisi*, 20, 153-8.
- [16] Işık O., Kandemir A., Erişen M. A., & Fidan C., (2016). Evde sağlık hizmeti alan hastaların profili ve sunulan hizmetin değerlendirilmesi. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 19(2), 171-186.
- [17] Yılmaz, M., Sametoğlu, F., Akmeşe, G., Tak, A., YAĞBASAN, B., GÖKÇAY, S., ... & ERDEM, S. (2010). Sağlık hizmetinin alternatif bir sunum şekli olarak evde hasta bakımı. *Istanbul Tıp Dergisi*, 11(3), 125-132.
- [18] Peters, E. J., Lavery, L. A., Armstrong, D. G., & Fleischli, J. G. (2001). Electric stimulation as an adjunct to heal diabetic foot ulcers: a randomized clinical trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(6), 721-725.
- [19] Adunsky, A., & Ohry, A. (2005). Decubitus direct current treatment (DDCT) of pressure ulcers: results of a randomized double-blinded placebo controlled study. *Archives of gerontology and geriatrics*, 41(3), 261-269.
- [20] Feedar, J. A., Kloth, L. C., & Gentzkow, G. D. (1991). Chronic dermal ulcer healing enhanced with monophasic pulsed electrical stimulation. *Physical Therapy*, 71(9), 639-649.
- [21] Lawson, D., & Petrofsky, J. S. (2007). A randomized control study on the effect of biphasic electrical stimulation in a warm room on skin blood flow and healing rates in chronic wounds of patients with and without diabetes. *Medical science monitor*, 13(6).
- [22] Braddock, M., Campbell, C. J., & Zuder, D. (1999). Current therapies for wound healing: electrical stimulation, biological therapeutics, and the potential for gene therapy. *International Journal of Dermatology*, 38(11), 808-817.
- [23] Gardner, S. E., Frantz, R. A., & Schmidt, F. L. (1999). Effect of electrical stimulation on chronic wound healing: a meta-analysis. *Wound Repair and Regeneration*, 7(6), 495-503.



ANOMALY DETECTION FOR GEAR MANUFACTURING DOWNTIME IN THE AUTOMOTIVE SECTOR USING RARE ITEMSET MINING

Devrim Naz Akdas¹ , Derya Birant² , Pelin Yildirim Taser*³ 

¹Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Izmir, Turkey

²Dokuz Eylül University, Department of Computer Engineering, Izmir, Turkey

³Izmir Bakırçay University, Department of Computer Engineering, Izmir, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Downtimes in manufacturing significantly influence productivity, and their analysis is necessary for successful and flexible production. Although some classification and regression studies have been performed on the machine downtime in the manufacturing area, the rare itemset mining (RIM) technique has never been implemented in the existing downtime studies until now. Besides, anomaly detection for gear manufacturing downtime in the automotive sector using RIM is yet to be explored. To bridge this gap, this study proposes the application of the RIM method for detecting anomalies in gear manufacturing downtime of earth moving machinery for the first time. In this study, the Rare Pattern Growth (RP-Growth) algorithm was executed on a real-world dataset consisting of downtimes in gear manufacturing of earth moving machinery to discover rare itemsets that indicate anomalies in downtimes. In the experiments, the rare itemsets (anomalies) in the downtime data were detected using different minimum support (minsup) and minimum rare support (minraresup) threshold values. The obtained results were also evaluated in terms of the number of itemsets, execution time, and maximum memory usage. The experimental results show that the proposed approach, called *Anomaly Detection with Rare Itemset Mining* (ADRM), is an effective method for detecting anomalies in machine downtimes and can be successfully used in the manufacturing area, especially in the automotive sector.

Keywords: Anomaly detection, data mining, gear manufacturing, rare itemset mining.

1 Introduction

Manufacturing downtime is described as any period of time during which a machine is not producing [1]. The downtime in manufacturing is classified into two types: planned and unplanned. Planned downtime occurs when production equipment is restricted or shut down to accommodate planned repairs, maintenance, testing, or upgrades. The unplanned downtime in manufacturing is any unexpected stop of equipment that is scheduled to be in operation. While unplanned downtimes are a much more costly process, all downtimes have a price. When equipment downtime occurs, quality, availability, and performance components of Overall Equipment Effectiveness (OEE) are affected negatively. It is vital to analyze machine downtimes in order to improve lean manufacturing processes. Because of this reason, manufacturing companies aim to discover anomalies in both planned and unplanned downtimes for reducing the disruption times of machines and increasing operational efficiency.

Anomaly detection, an active study field in a variety of research communities, is the process of discovering data samples that significantly deviate from the norm [2]. Recently, different data mining techniques (RIM) have been used in the field of anomaly detection. Association

rule mining (ARM) is a rule-based data mining technique that discovers interesting relations and common patterns among itemsets in large databases [3]. Rare itemset mining (RIM) is a subfield of ARM that aims to reveal out a rare and low-rank set of items in a dataset. In this study, the RIM technique was implemented using the Rare Pattern Growth (RP-Growth) algorithm for detecting anomalies in gear manufacturing downtimes of earth moving machinery.

The novelty and main contributions of this study are as follows: (i) It gives a brief survey of ARM and RIM techniques, (ii) It proposes an approach, called *Anomaly Detection with Rare Itemset Mining* (ADRM), (iii) This study is the first attempt to implement the RIM method for detecting anomalies in machine downtimes, (iv) This study is also original in that it applies the RIM method using RP-Growth algorithm on a real-world dataset which includes gear manufacturing downtimes of earth moving machinery, (v) This study evaluates the obtained experimental results in terms of the number of itemsets, execution time, and maximum memory usage with the help of charts and tables.

This article is structured as follows. In the following section, related literature work on the subject is given. Section 3 presents brief background information about ARM and RIM paradigms. This section also explains the

* Corresponding author.

E-mail address: pelin.taser@bakircay.edu.tr

Received 02 February 2022; Received in revised form 19 October 2022; Accepted 19 October 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1067365>

general structure of the proposed anomaly detection system and the used RP-Growth algorithm. In Section 4, the real-world machine downtime dataset used in this study is described. The obtained experimental results with discussions are also presented in this section. Finally, concluding remarks and future directions are clarified in Section 5.

2 Related Work

In the literature, there are several machine learning-based studies that aim to detect [4-6] and reduce [7-9] downtimes in different application areas, such as wind turbine, geology, production, etc. Wang et al. [5] used Support Vector Regression (SVR) to reduce the time-consuming fitness evaluation process for predicting schedules in response to machine breakdown. In another study [7], the researchers applied the C4.5 decision tree algorithm to identify and reduce the downtime in a production system. Nwanya et al. [8] implemented a Multiple Regression algorithm for optimizing machine downtime in plastic manufacturing.

RIM technique has been frequently preferred in many areas, such as data streams [10], distributed systems [11], energy [12], healthcare [13-15], marketing [16,17], network [18], and web applications [19,20]. For example, Hemalatha and Lakshmi [10] proposed a Minimal Infrequent Pattern-based Outlier Detection (MIFPOD) algorithm for investigating outliers in data streams based on obtained minimal infrequent patterns. The authors also defined three different measures for this algorithm, such as Three measures, namely Transaction Weighting Factor (TWF), Minimal Infrequent Deviation Factor (MIPDF), and Minimal Infrequent Pattern-based Outlier Factor (MIFPOF). In the study of [16], rare itemsets with a high-utility (RIHU) algorithm was proposed for discovering rare itemsets with high utility for revenue analysis. Bakariya and Thakur [20] introduced a Rare Itemset Mining from Weblog Data (RIMWD) algorithm that follows top-down and level-wise approaches for discovering all rare itemsets with their subsets.

To the best of our knowledge, a RIM paradigm has not been performed in the existing downtime studies until now. To bridge this gap, this study applies the RIM method for detecting anomalies in gear manufacturing downtime of earth moving machinery.

3 The Proposed Approach (ADRIDM)

3.1 Rare Itemset Mining (RIM)

Association rule mining (ARM), the most popular pattern discovery technique in data mining, aims to find interesting correlations, common patterns, or associations among a set of items in large databases or data repositories [21]. The associations among items are frequently described using association rules. Formally let the set of distinct items $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$, and the set of transactions (transactional database) $D = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, where each transaction $t \subseteq I$, n is the number of items and m is the number of transactions. An association rule is denoted as $X \rightarrow Y$ such that $X \cup Y \subseteq I$ and $X \cap Y = \emptyset$, where X (antecedent) and Y (consequent) are frequent itemsets. The

rule is interpreted as if itemset X be in a transaction, itemset Y will very certainly occur in the same transaction. These rules are generated by satisfying user-defined criteria, such as support and confidence. While support indicates the frequency of transactions that include both itemsets X and Y , confidence gives the proportion of transactions including itemset X that also include itemset Y . The equations of the support and confidence thresholds are as follows:

$$Support(X \rightarrow Y) = \frac{|X \cup Y|}{|D|} \quad (1)$$

$$Confidence(X \rightarrow Y) = \frac{|X \cup Y|}{|X|} \quad (2)$$

where $|D|$ is the number of transactions in the database D , $|X|$ is the number of X itemsets, and $|X \cup Y|$ is the number of transactions that contains X and Y . For example, an association rule $X \rightarrow Y$ with 60% support and 70% confidence values means that 60% of the transactions contain X and Y itemsets together, and 70% of the transactions contain X , in which item Y also appears.

The main objective of ARM is extracting only those itemsets that are frequent relative to a particular threshold, such as minimum support and minimum confidence values. However, in many real-life problems, there could be significant itemsets but have a low support value (infrequent itemsets). To discover the relation among those itemsets with a low frequency of occurrence, the rare itemset mining (RIM) paradigm has been proposed in the literature.

RIM is a special type of ARM that attempts to discover rare correlations among a set of items in a dataset. An itemset R is a rare itemset if its support value is lower than minimum support (minsup) threshold and higher or equal to minimum rare support (minraresup) threshold, as shown in Equation (3).

$$\begin{aligned} Support(R) &< minsup \wedge \\ Support(R) &\geq minraresup \end{aligned} \quad (3)$$

The field of RIM has grown in popularity recently, owing to its applicability in a variety of applications such as anomaly detection, discovering rare diseases, intrusion detection, and identifying infrequently purchased items. In the literature, several RARM algorithms have been proposed. The RP-Growth algorithm has been preferred in this study because of its efficiency and scalability.

3.2 Rare Pattern Growth

RP-Growth is a variant of the FP-Growth algorithm that focuses on mining rare itemsets in the large transactional database [22]. A rare itemset is one that appears within the range indicated by user-defined minraresup and minsup thresholds. The main advantages of the RP-Growth algorithm are its speed and efficient memory usage.

3.3 Anomaly Detection with Rare Itemset Mining (ADRM)

Figure 1 presents the general overview of the implemented ADRM approach in this study. First, gear manufacturing data of earth moving machineries are obtained in the data collection step. Then, in the next step, the experimental dataset is passed through a data preprocessing step (feature selection, feature extraction, and data discretization) to make it suitable for applying the RIM algorithms. In the RIM step, the RP-Growth

algorithm is implemented on the experimental data for discovering rare itemsets that indicate anomalies in gear manufacturing downtimes of earth moving machinery. After that, the obtained rare itemsets are evaluated using user-defined minsup and minraresup thresholds. Finally, the detected anomalies in gear manufacturing downtimes are analyzed for decision making.

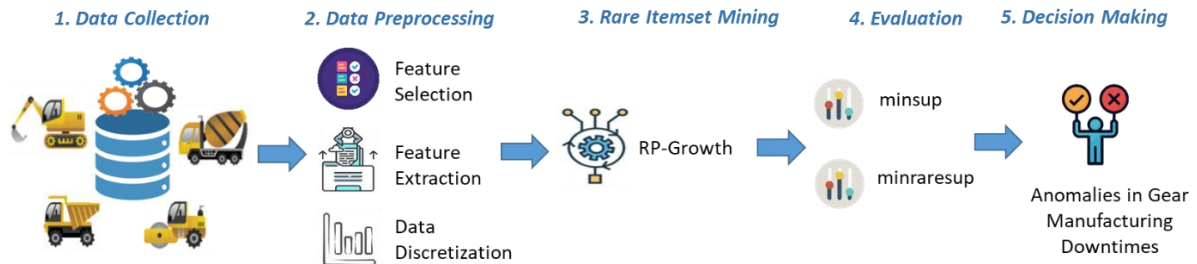


Figure 1. The general overview of the ADRM approach for detecting anomalies in gear manufacturing downtimes.

4 Experimental Study

In the experiments of this study, the RP-Growth algorithm was executed on real-world experimental data for detecting anomalies in gear manufacturing downtimes of earth moving machinery. This algorithm was used for discovering rare itemsets that indicate anomaly downtimes. The proposed ADRM approach was developed using an open-source data mining library specialized for pattern mining, written in the Java programming language [23]. The experiments were performed on a personal computer with an Intel Core i5-7200U 3.1-GHz processor and 8 GB of RAM.

4.1 Dataset Description

A real-world dataset considered in this study includes records of downtimes in gear manufacturing of earth moving machinery obtained from a factory in Izmir. The

dataset consists of 11040 instances and eleven attributes that give information about occurred downtimes in machines.

The experimental dataset has passed through some data preprocessing steps (i.e., feature selection, feature extraction, and data discretization) for the implementation of the RP-Growth algorithm. First, in the feature selection step, the irrelevant and redundant attributes such as ID, name and surnames of operators, company names, etc. were extracted from the dataset. In the next step, the month and day attributes were derived from the date attribute to make it useful for analysis. In the final step (data discretization), the numeric attributes (time and total production) were discretized into five different intervals because the RP-Growth algorithm can work only on categorical data. Table 1 presents the attributes and their categorical values of the used dataset.

Table 1. The attributes and their categorical values of the dataset.

Month	Day	WorkCenterCode	Downtime	DowntimeGroupName	OperationName
January	Monday	IM01	Undefined	Breakdown	CNC turning
February	Tuesday	IM02	Failure / Maintenance	Quality	Hard turning
March	Wednesday	IM03	Launch	Personnel	Gear cutting
April	Thursday	IM04	Initial adjustment	Planned	Finishing and grinding
May	Friday	IM05	Settings correction	Workbench preparation	
June	Saturday	IM06	Changing tool holder	Other	
July	Sunday	IM07	Changing cutting tool		
August		IM08	Drill sharpening		
September		IM09	Warming the bench		
October		IM10	Assigning another task		
November		IM11	Carrying material		
December		IM12	Waiting for material		
		IM13	Personal need		
		IM14	Cleaning		
		IM15	No operator		
		IM16	Setting		
		IM17	Emending		
		IM18	Waiting for approval		
		IM19	Sampling		
DowntimeType	Department	WorkCenterGroupCode	Time	TotalProduction	
Planned Unplanned	CNC	IMG110	[0-3) = Very low	[0-30) = Very low	
	Gear Finishing	IMG130	[3-15) = Low	[30-80) = Low	
		IMG131	[15-30) = Medium	[80-130) = Medium	
		IMG134	[30-50) = High	[130-200) = High	
		IMG141	[>50) = Very high	[>200) = Very high	

4.2 Experimental Work

In this study, four different experiments were performed on the gear manufacturing downtime dataset for analyzing the followings:

- (i) samples of the discovered rare itemsets (downtime anomalies),
- (ii) the relationship between the number of rare itemsets and the minsup and varying minraresup values,
- (iii) the execution time performances of the RP-Growth algorithm on different minraresup values,
- (iv) the maximum memory usage of the RP-Growth algorithm on different minraresup values.

The first experiment implements the RP-Growth algorithm to discover rare itemsets that indicate detected

anomalies in gear manufacturing downtimes. Table 2 represents some examples of the obtained rare itemsets with their lengths, support values, minsup thresholds, and minrare thresholds. For example, the itemset “Day = Saturday, WorkCenterCode = IM05, OperationName = Hard turning” having three items expresses that it occurs only in 0.12% of all downtime records. This means that On Saturdays, downtime at the work center IM05, where Hard turning operation is performed, is rarer than other downtimes. Another rare itemset obtained from the experiment is “DowntimeType = Unplanned, Time = Very high” with 7.25% support value. Considering this rare itemset, it is possible to decide that unplanned downtimes with very high durations are rare and undesirable. In other words, this itemset indicates that the downtimes are generally planned and of less duration.

Table 2. Examples of rare itemsets discovered by the RP-Growth algorithm.

Length	Rare Itemset	Support (%)	Minsup (%)	Minraresup (%)
1-Itemset	Day=Sunday	4.73	90	4
	Month=December	2.79	90	2
	WorkCenterCode=IM18	2.48	90	2
2-Itemsets	Department=Gear, WorkCenterGroupCode=IMG134	10.03	80	10
	DowntimeType=Unplanned, Time=Very high	7.25	80	5
	Day=Monday, DowntimeGroupName=Breakdown	5.21	80	5
3-Itemsets	WorkCenterCode=IM18, DowntimeType=Unplanned, TotalProduction=Very low	0.15	70	0.1
	Downtime=Changing tool holder, DowntimeGroupName=Workench preparation, OperationName=GearCutting	0.14	70	0.1
	Day=Saturday, WorkCenterCode=IM05, OperationName=Hard turning	0.12	80	0.1
4-Itemsets	Month=October, Day=Monday, WorkCenterCode =IM02, OperationName=CNC turning	2.33	50	2
	OperationName=Finishing and grinding, DowntimeType=Unplanned, WorkCenterGroupCode=IMG134, Time=Very high	1.68	30	1
	Month=April, OperationName=Gear cutting, Department=Gear, TotalProduction= Low	1.82	30	1
5-Itemsets	Downtime=Waiting for approval, DowntimeGroupName=Quality, OperationName=Gear cutting, DowntimeType=Unplanned, Department=Gear	2.07	10	1
	DowntimeGroupName=Personnel, OperationName=CNC turning, DowntimeType=Unplanned, Department=CNC, WorkCenterGroupCode=IMG110	1.98	10	1
	Downtime=Waiting for material, DowntimeGroupName=Personnel, OperationName=Gear cutting, DowntimeType=Unplanned, TotalProduction=Very low	0.18	80	0.1

In the second experiment, the RP-Growth algorithm was applied with a 90% minsup threshold and different minraresup threshold levels (%) ranging from 15 to 55 in increments of 5. Figure 2 presents the relation between the number of rare itemsets and the varying minraresup threshold values when the minsup value is kept constant. This figure shows that the higher the minraresup threshold value, the lower the number of rare itemsets discovered. This graph suggests that more rare itemsets are formed when the algorithm is conducted with higher minraresup values.

The third experiment evaluated execution times of the RP-Growth algorithm on the dataset with a constant minsup threshold value (90%) and various minraresup threshold levels (%) ranging from 15 to 55 in increments of 5. The obtained execution times are given in Figure 3 in milliseconds (ms). The varying minraresup values significantly affect the execution times of the experiments. This figure indicates that the execution time

of the RP-Growth algorithm increases almost linearly as the minraresup threshold value increases. This result proves the RP-Growth algorithm’s effectiveness in terms of speed.

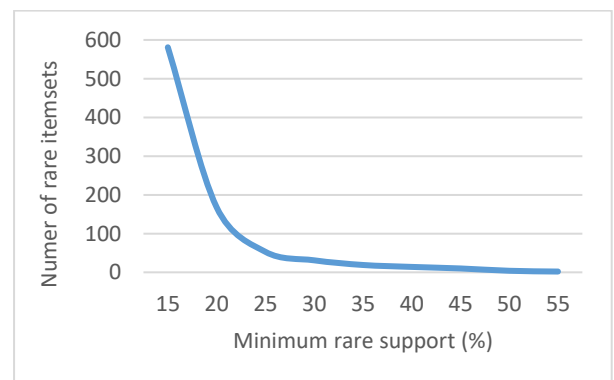


Figure 2. The number of rare itemsets with different minraresup thresholds.

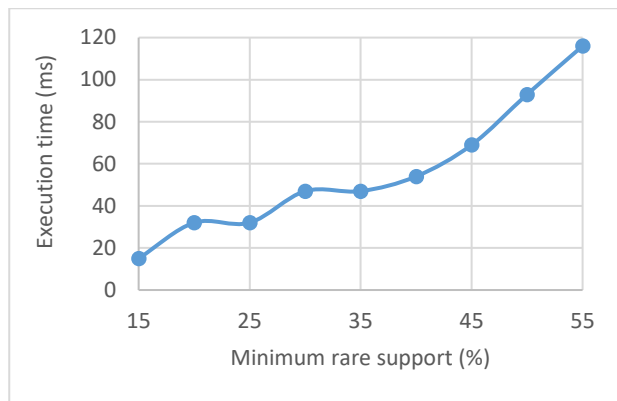


Figure 3. The execution time performance of the RP-Growth algorithm with different minraresup thresholds.

In the last experiment, the maximum memory usage of the RP-Growth algorithm was calculated in terms of a megabit (mb) with the same minsup and minraresup

5 Conclusion

Analyzing machine downtimes with detecting anomalies play an important role in improving lean manufacturing processes. For this purpose, this study proposes an approach, called anomaly detection with rare itemset mining (ADRM). We implemented the RIM technique for detecting anomalies in gear manufacturing downtime of earth moving machinery. In the experiments, the RP-Growth algorithm, a modification of the FP-Growth algorithm, has been utilized because of its efficiency and scalability. This algorithm was executed on

Acknowledgements

The authors are deeply grateful to Çelikiş Spare Parts of Industry and Trade Company Limited, and Projesis Software Consulting Informatics Information Systems for providing the experimental dataset used in the study.

Declaration

Ethics committee approval is not required.

References

- [1] Patale, G., Turukmane, R., Gulhane, S., Kolte, P., & Gupta, K. K. (2021). Causes of machine down time and its impact on nylon manufacturing process. *Man-Made Textiles in India*, 49(5), 158-160.
- [2] Böhmer, K., & Rinderle-Ma, S. (2020). Mining association rules for anomaly detection in dynamic process runtime behavior and explaining the root cause to users. *Information Systems*, 90, 101438.
- [3] Taşer, P. Y., Birant, K. U., & Birant, D. (2020). Multitask-based association rule mining. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 28(2), 933-955.
- [4] Mucchielli, P., Bhowmik, B., Ghosh, B., & Pakrashi, V. (2021). Real-time accurate detection of wind turbine downtime-An Irish perspective. *Renewable Energy*, 179, 1969-1989.
- [5] Wang, D. J., Liu, F., & Jin, Y. (2019). A proactive scheduling approach to steel rolling process with stochastic machine breakdown. *Natural Computing*, 18(4), 679-694.

threshold values used in the first three experiments. The results are presented as a graph in Figure 4. It is obviously seen from this graph that The RP-growth algorithm provides efficient memory usage with acceptable levels.

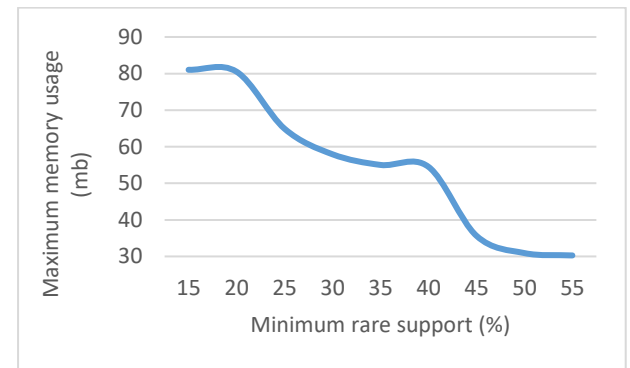


Figure 4. The maximum memory usage performance of the RP-Growth algorithm with different minraresup threshold.

a real-world dataset, and the anomalies in the downtimes were detected to help experts make decisions about productivity and efficiency. Also, the experimental results were evaluated in terms of the number of itemsets, execution time, and maximum memory usage in this study.

As a future study, different popular anomaly detection algorithms (i.e., isolation forest, Local Outlier Factor, etc.) can be applied to the same dataset. In addition, the RIM method can be implemented for different domains with different algorithms apart from the RP-Growth.

- [6] Shafieezadeh, A., DesRoches, R., Rix, G. J., & Werner, S. D. (2014). A probabilistic framework for correlated seismic downtime and repair cost estimation of geo-structures. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 43(5), 739-757.
- [7] Garcés, D. A., & Castrillón, O. D. (2017). Design of intelligent technology to identify and reduce downtime in a production system. *Información Tecnológica*, 28, 157-70.
- [8] Nwanya, S. C., Udofia, J. I., & Ajayi, O. O. (2017). Optimization of machine downtime in the plastic manufacturing. *Cogent Engineering*, 4(1), 1335444.
- [9] Mohan, T. R., Roselyn, J. P., Uthra, R. A., Devaraj, D., & Umachandran, K. (2021). Intelligent machine learning based total productive maintenance approach for achieving zero downtime in industrial machinery. *Computers & Industrial Engineering*, 157, 107267.
- [10] Hemalatha, C. S., Vaidehi, V. & Lakshmi, R. (2015). Minimal infrequent pattern based approach for mining outliers in data streams. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 1998-2012.
- [11] Chandran, C. R., & Padmanabhan, A. (2016). An efficient algorithm for detecting outliers in a distributed environment using minimal infrequent item set pattern mining. *IIOAB Journal*, 7(9), 22-25.
- [12] Sun, C., Wang, X., & Zheng, Y. (2019). Data-driven approach for spatiotemporal distribution prediction of fault events in power transmission systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 113, 726-738.
- [13] Jin, H., Chen, J., He, H., Williams, G. J., Kelman, C., & O'Keefe, C. M. (2008). Mining unexpected temporal associations: applications in detecting adverse drug reactions. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 12(4), 488-500.

- [14] Shrivastava, K., & Jotwani, V. (2020). Study to Determine Adverse Diseases Pattern using Rare Association Rule Mining. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 6(3), 519-526.
- [15] Reps, J. M., Aickelin, U., & Hubbard, R. B. (2016). Refining adverse drug reaction signals by incorporating interaction variables identified using emergent pattern mining. *Computers in biology and medicine*, 69, 61-70.
- [16] Selvarani, S., & Jeya Karthic, M. (2019). Rare Itemsets with high utility for Revenue Analysis. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 16(4), 1402-1407.
- [17] Jeyakarthic, M., & Selvarani, S. (2019). An efficient approach using FM-weight for revenue prediction on rare itemsets. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7, 226-232.
- [18] Rahman, A., Ezeife, C. I., & Aggarwal, A. K. (2010). Wifi miner: An online apriori-infrequent based wireless intrusion detection system. *Knowledge Discovery from Sensor Data (Sensor-KDD 2008)*, 5840, 76-84.
- [19] Adda, M., Wu, L., White, S., & Feng, Y. (2012). Pattern detection with rare item-set mining. *International Journal on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications*, 1(1), 1-17.
- [20] Bakariya, B., & Thakur, G. S. (2016). Mining rare itemsets from weblog data. *National Academy Science Letters*, 39(5), 359-363.
- [21] Yildirim, P., Birant, D., & Alpyildiz, T. (2017). Discovering the relationships between yarn and fabric properties using association rule mining. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25(6), 4788-4804.
- [22] Tsang, S., Koh, Y. S., & Dobbie, G. (2011, August). Rptree: rare pattern tree mining. In *International Conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery* (pp. 277-288). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [23] Fournier-Viger, P., Lin, J. C. W., Gomariz, A., Gueniche, T., Soltani, A., Deng, Z., & Lam, H. T. (2016, September). The SPMF open-source data mining library version 2. In *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases* (pp. 36-40). Springer, Cham.



AN EVALUATION OF PUMPED HYDROELECTRIC STORAGE SYSTEMS

Ayşenur Oymak^{*1} , Mehmet Rıda Tür¹ 

¹Department of Electrical Electronics Engineering, Batman University 72100, Batman, Turkey

Abstract

Review paper

In smart grids, storage systems are needed to increase the number of renewable energy sources connected to distribution systems and to ensure the continuity of energy. By supporting the system elements, energy storage can provide many services such as energy time shifting, interruption control, ensuring continuity in transmission and power quality improvements. In smart grid applications, difficulties are encountered in energy storage due to various problems such as charge/discharge, safety, size and cost. For this reason, energy storage systems should be developed for energy capacity, control and protection that can increase storage performance. Since there are interruptions and waves in renewable energy sources such as wind and solar, batteries are used for storage. In order to expand the use of clean energy and to ensure energy continuity, mechanical storage methods in large powerful systems have been emphasized. Storage studies have been carried out to increase efficiency, provide flexibility in electrical systems, reduce costs and improve storage time, and reduce power fluctuations. In this study, pumped hydroelectric storage plants, which is one of the storage methods, were examined. Advantages and disadvantages of pumped storage hydroelectric system are mentioned and hybrid pumped hydro storage is explained. Its economic contribution is also briefly mentioned. This storage method of pumped hydroelectric storage (PHES) has also been found to be hybrid systems that can be connected to variable speed turbines, groundwater, seawater and renewable energies to increase efficiency, reduce costs and save space. Among these systems, it has been observed that the system in which solar and wind are used as a hybrid is also advantageous in providing high profitability in the energy market. Thanks to its integration with the sun and wind, carbon emissions are reduced.

Keywords: Energy storage, pumped hydroelectric storage, hybrid pumped hydro storage.

1 Introduction

Transitions from systems based on carbon-intensive fossil fuels that harm the environment to lower-carbon energy or renewable energy sources are becoming the policies of countries [1]. Commonly used renewable energy sources are solar, wind, hydroelectric, geothermal, etc. can be sorted. There are hourly, daily, monthly and annual fluctuations in renewable and clean energy sources. For example, wind power is the speed of the wind; ocean energy to changes in tide level by waves and currents; solar energy to solar radiation intensity; in hydroelectric power plants, it also depends on the flow rate of the stream [2]. Therefore, energy storage systems are required to provide quality power and to efficiently hold solar and wind power in grids. Global electricity production of about 200,000 TWh per year will be needed when developing countries catch up with the energy consumption per capita in today's developed economies. Assuming electricity is generated by a combination of solar (60%), wind (30%) and other methods (10%), a total of 81 TW of solar energy and 17 TW of wind energy will be required. To eliminate fossil fuels by 2050, the distribution rates of solar and wind would need to increase by a factor of 20. Assuming that one day's energy storage is required with sufficient storage

power capacity to be delivered over 24 hours, then approximately 500 TWh and 20 TW of storage energy and power will be necessary [3]. This shows the need for studies on storage. Intelligent energy storage systems are used to provide uninterrupted, flexible and quality power. The development of energy storage technologies is of great importance in solving power quality problems such as voltage drops and interruptions, both at the system and equipment level. However, energy storage; It also has benefits such as increasing system efficiency, enabling the integration of renewable energy sources, increasing grid stability and reliability [4, 5].

Energy storage systems, which have many methods, have a wide area today. Hydroelectric storage technology, which is more useful and has a larger storage area than energy storage systems, is a system with a large energy storage area [6]. It is preferred in high energy demands. Hydroelectric reservoirs can use limited sources of energy and storage energy produced from other renewable sources to increase the applicability of the electrical system. Looking at the studies done; Ali et al. in their study analyzed the techno-economic and socio-environmental benefits and barriers to pumped hydro applications. As a result of their research, they have seen that the interest in the closed circuit system has increased due to its water

* Corresponding author.

E-mail address: aysenur.oymak@batman.edu.tr (A. Oymak)

Received 18 February 2022; Received in revised form 14 May 2022; Accepted 31 August 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1074300>

supply, safety and low environmental impact [7]. Nehir et al., in their studies, they examined hybrid renewable energy generation systems that ensure energy continuity. Assessment were made on unit sizing, control and energy management of hybrid systems [8]. Aktas et al., applied tests according to the load situation and power profile of the sun at the hybrid energy storage point by using a smart energy management algorithm for hybrid energy storage [9]. Faisal et al. studied and analyzed energy management, energy storage methods to increase continuous energy supply time [10]. Vasudevan et al., explained the use of pumped hydroelectric storage (PHES) in renewable energies in their study and focused on the classification and structure of the control system [11]. Mousavi et al., a real-time energy management strategy has been proposed for pumped hydro storage systems in farmhouses to manage excess renewable energy. It considers the state of the micro grid to efficiently adjust the pump power and turbine flow rate. It has been tested in fuzzy logic and artificial neural network to solve the prediction error problem. As a result, they observed that artificial neural networks reduce the electricity cost better [12].

Tian et al., in order to ensure the participation of these storages in the market, a risk method approach called downside risk constraints (DRC) was used in the study. Electricity market price uncertainties and uncertainty parameters are used together with stochastic programming. According to the results obtained, using the proposed downside risk constraints, pumped hydro storage (PHS) operators can experience zero risk conditions, reducing their profits by 33%, while the risk in profit is reduced by 100% against the risk-free strategy [13]. Gundu and Simon in their study, the linear integer program was preferred in order to plan the purchase of electrical energy at the minimum price according to the excess and low power of the houses in the case of energy storage. The performance of the new technique used has been validated in 12 bus distribution systems of 100 MVA. As a result, it is concluded that it is applicable for real-time smart grid environment [14]. Al-Masri et al., the effect of different photovoltaic models was investigated for the pumped hydro storage system. Two-diode (TD), single-diode (SD) and ideal single-diode (ISD) solar models were evaluated in terms of solar array size, reliability and ecological effects. As a result of the evaluations, they observed that the TD model was reliable with a reliability index of 98.558% [15].

The most important service of pumped hydro storage is its ability to function as storage, generate revenue by pumping water at cheap prices during off-peak periods and then sell it at higher rates during peak hours, and support intermittent renewable energy sources.

In this study, pumped hydroelectric storage (PHES), one of the smart energy storage systems, is emphasized. Here, PHES systems are explained and which of these systems is efficient has been evaluated. A brief analysis has also been made from an economic point of view.

2 Energy Storage Methods

Energy balance is very important in power systems, this balance brings with it the necessity of keeping the frequency 50 Hz. An energy storage system would enable

smart grid concepts, one of the future-promoting technologies. Energy storage systems, which eliminate fluctuations associated with energy production, can facilitate the integration of renewable energy systems. The energy storage system can support system reliability and additionally offer some ancillary facilities such as load tracking. Moreover, energy storage systems can contribute to the stabilization of peak loads and in this way reduce generator failures. Energy storage is a necessary technology that uses stored electrical energy when there is peak load demand. The capacity factor of the base generation units can be increased in this way, it is also an effective factor for the use of stored energy at a low price [16]. Energy storage systems seem to be the key component in adapting to the diversity of new technologies, changing consumer habits and the changing mechanism of electricity generation and changing distribution system over the last decade. It can also provide various improvements in grid performance such as reliability, fast response and load matching capacity.

Energy storage has benefits such as increasing grid stability and security. Energy storage systems are an effective method for reducing fluctuations in power quality. The main technologies developed for energy storage are; electrical, mechanical, chemical and thermal storage technologies [17]. Energy storage processes are examined in three cases. The state of charge of electrical energy is in the form of storage and return of electrical energy to the system. In line with these stages, the total efficiency equation is given below.

$$\eta_{TOTAL} = \frac{E_{DEL}}{E_{GEN}} = \frac{E_{GEN} - E_{LOS}}{E_{GEN}} = \frac{E_{GEN} - E_{LOSC} - E_{LOSS} - E_{LOSD}}{E_{GEN}} \quad (1)$$

η_{TOTAL} , total energy storage efficiency; E_{DEL} , is the total electrical energy supplied to the system. E_{GEN} is the total generated energy. E_{LOS} , gives the total loss in storage; E_{LOSC} , is the total energy loss during charging; E_{LOSS} , is the total energy loss during storage ve E_{LOSD} , is the total loss at discharge [1].

The contribution of energy storage systems to smart grids is explicated as frequency control and meeting high power demands. Energy storage and conversion is ensured with batteries, compressed air, flywheels, thermal power, super capacitors, super conductors and fuel cells. Energy storage technologies can generally be examined under three headings: mechanical, electrochemical and electromagnetic storage.

Mechanical energy storage technologies include pumped water-based energy storage systems, compressed air energy storage systems and flywheels. Electrochemical energy storage technologies include battery and hydrogen-based energy storage systems. Electromagnetic energy storage technologies represent the group that includes super capacitors and super conducting magnetic energy storage systems. The energy storage system must be prepared for the form of application in from low power to large power and the type of generation that can be permanent, renewable. Among the energy storage systems, the methods that can be used in large-scale systems that have large capacity and can provide energy for a long time are pumped hydro storage and compressed air energy storage. The most efficient and economical method in large

powerful systems is the pumped hydro storage system [18]. Figure 1 shows the discharge times of different energy storage systems at nominal power and their storage capacities in minutes, hours and days based on system power. As can be seen, pumped hydro energy storage systems from these systems provide storage at the level of MW and on a large scale. Since renewable energy sources

cannot provide a continuous energy due to seasonal differences, long-term storage should be required. Table 1 shows a comparison of energy storage systems according to parameters. In figure 1, it is seen that the system that provides long-term storage among the energy storage systems is the pumped hydro storage systems [19].

Table 1. Comparison of energy storage methods according to different parameters.

Storage Tecnology	Power Capacity (MW)	Cycles number and time	Energy Density (Wh/L)	Efficiency %	Response time
Pumped water-based storage	100-1000	30-60 year	0.2-2	70-85	second-minute
Compressed air based storage	10-1000	20-40 year	2-6	40-75	second-minute
Hydrogen	0.01-1000	5-30 year	600 (200 bar)	25-45	second-minute
Li-ion Battery	0.01-100	1000-10000 day	200-400	85-98	10-20 ms
Flywheel	0.001-1	20000-100000 day	20-80	70-95	10-20 ms
Super capacitor	0.01-1	10000-100000 day	10-20	80-98	10-20 ms
Super conducting magnetic storage	0.1-10	20-30 year	0.2-5	90-97	100 ms

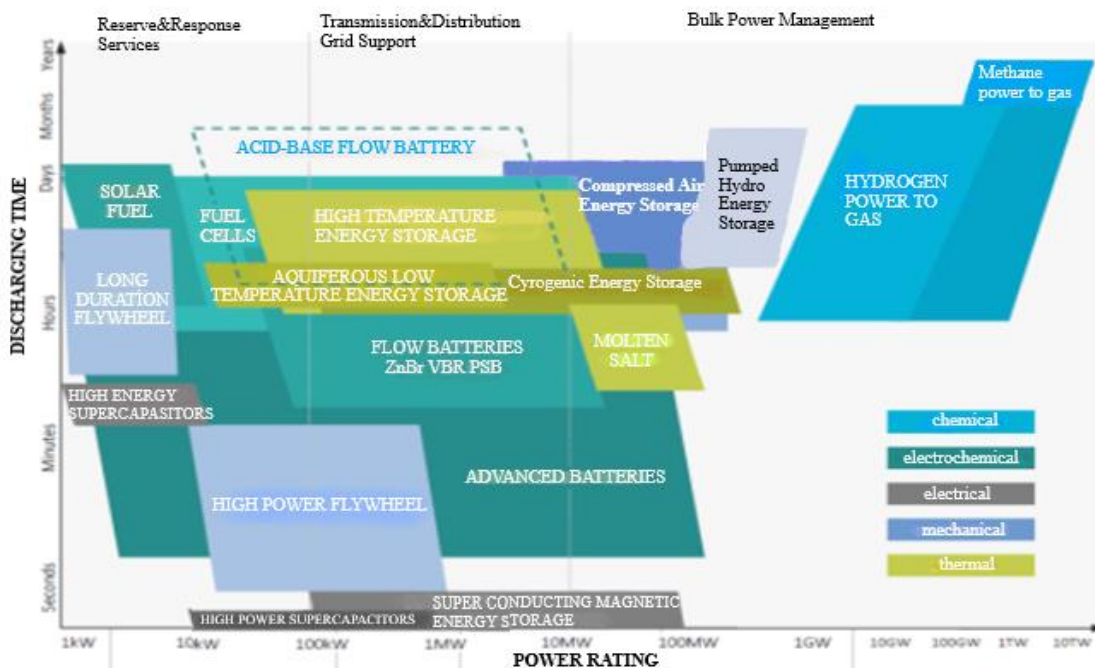


Figure 1. Energy storage systems [19].

3 Pumped Hydroelectric Storage System

Pumped storage hydroelectric power plants for the first time in the world emerged in the 1890s in the mountainous zones of Switzerland, Austria and Italy. In the early models, an independent pump wheel and turbine generator were used. Later, in line with the developments, the use of reversible pump turbines increased in pumped storage systems. [20].

Pumped hydroelectric storage power plant is a system that provides consumption when electricity demand is high, by storing electricity when electricity demand is low in facilities that are difficult to stop and costly, such as nuclear and thermal power plants. [21].

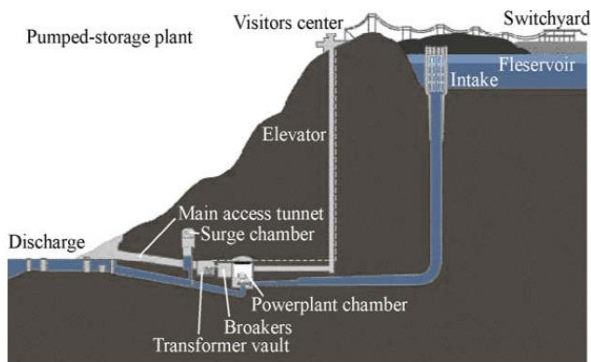


Figure 2. Pumped hydroelectric storage diagram [25].

In Figure 2, the circuit diagram of the pumped hydroelectric storage system is given. In pumped storage hydroelectric power plants, there are two reservoirs, the upper and lower reservoirs. River, natural lake, dam, sea or artificial pool are chosen as reservoirs. Pumped hydroelectric storage power plants provide storage as potential energy by pumping water from the lower reservoir to the upper reservoir [22]. When the energy demand is rise, electrical energy is produced by reducing the water accumulated in the upper reservoir to the lower reservoir [23]. When the energy demand is decrease, water is transported from the downer reservoir to the upper reservoir by pump. When the demand is low, when it needs to be operated at low capacities, the electrical energy to be obtained from discontinuous energy sources such as the sun and wind is stored using the electricity and the minimum load is pulled up. By producing electricity at times of high demand and expensive electricity, the maximum load is lowered and the ratio of minimum load to maximum load is increased. Thus, the amount of peak load is reduced, the base load value is increased, and the consumption in the peak load periods is shifted to the minimum consumption periods. In this way, the system load factor is increased and efficiency is increased [24]. It can be made a more useful system by integrating with renewable energy sources.

PHES is used for improving plant performance, regulating storage capacity, and power quality assurance. PHES has great power and energy, long service life, high efficiency and very small discharge losses [25]. PHES can adapt for the volatile situations of renewable resources by reacting quickly. A quantity of energy stored is rate to the height distinction between the two reservoirs and the volume of water stored. Thanks to small evaporations, the storage time of PHES can vary from hours to years. Considering evaporation losses, 71% to 85% of the electrical energy used to pump water into the upper reservoir can be recovered [26]. Pumped storage is classified three main categories:

Closed circuit: consists of two reservoirs, separated by a vertical distance, both of which are not connected to another body of water.

Most of the lands are far from the river when the terrain are examined for the installation of the pumped hydro storage system. Therefore, the non-river PHES system consists of a pair of artificial reservoirs placed several kilometers apart and connected by aqueducts, pipes and tunnels. Reservoirs can be custom built or existing reservoirs can be used [3, 27]. A combination of

high head, low separation of reservoirs, and low dam wall volumes result in relatively low capital costs.

When the studies on pumped hydro storage are examined, the first studies started in 1982. Looking at the articles by years, the studies have intensified since 2016 and it has been examined that it has been focused on more in recent years. Looking at some studies on this subject;

Barboud et al., mentioned the historical development of PHES in electrical energy storage and compared many mechanisms with PHES within the framework of international market criteria, and an overview of energy storage was provided [28]. Deane et al., presented a review of a PHES facility, discussed technical and economic development, and stated that a reinforced PHES storage would offer a more flexible and efficient structure [29]. Punys et al., they examined the EU's operating PHES. In this article, power databases are observed to determine generation in mixed pump storage facilities in renewable and non-renewable energy sources [30]. Yildiz et al., examined a pumped hydroelectric storage power plant according to the day-ahead electricity market values in Turkey. An optimization algorithm has been developed with linear programming method in order to optimize day-ahead market offers of power plants. When the generation and revenue of the power plants controlled with the optimization method are examined, it is observed that the annual income went up by approximately 2.737% with the operation of the wind power plants alone and the productions were shifted to the hours when the demand power is high [31]. In the study of Makhdoomi and Askarzadeh, the crow CSA algorithm was developed in order to reduce the cost of a grid-connected hybrid system consisting of PV and pumped hydro storage and they observed that it decreases the cost [32].

3.1 Advantages and Disadvantages of Pumped Storage Systems

Pumped storage power plants can be used to make the energy produced in wind power plants, thermal power plants and hydroelectric power plants more reliable, especially today, where the use of renewable energy is increasing. As a result of the integration of PHES with wind energy, it can provide frequency control and uninterrupted supply. It also provides gigawatt-hour energy storage capacity. In high-power plants, it provides frequency regulation, harmonic damping and voltage control of a network by integrating with renewable energy plants. In order for the transmission system operators to regulate the electricity grid, it must be able to feed from backup energy in seconds, minutes and hours. Storage hydroelectric power plants provide high energy quickly, which can meet the load demand in a short time in the order of minutes [2, 24]. The disadvantages are the annual changes in the flow of the stream as an ecological effect. It is affected by environmental conditions such as deterioration of land structure, sediments that may occur in water, and water evaporation. The high cost of installation, the risk of erosion in the place to be established and the transportation problem between the reservoirs can be disadvantages [2, 24, 33].

3.2 Pumped Hydroelectric Storage Forms

The forms of pumped hydro storage are divided into four groups: variable speed pump turbines, underground pumped hydroelectric storage, seawater pumped hydro storage system, and Hybrid Pumped Hydro Storage (HPHES) systems for the use of photovoltaics and wind.

3.2.1 Variable Speed Pump Turbines

Variable speed pump storage is used as the first reserve to reduce the number of thermal power plants and to offer flexibility in frequency regulation. Its advantage is that it has the capability to control power in pumping mode. It supports the network to work in a reliable and continuous state. Since the generator is not connected to the grid, its rotation speed can be adjusted and optimized. Another major benefit of the variable speed pump turbine is which enhanced efficiency in turbine mode over fixed speed machines [2, 34]. The variable speed unit can prevent power disturbances from random spikes and contributes to maintaining grid stability.

3.2.2 Underground Pumped Hydroelectric Storage

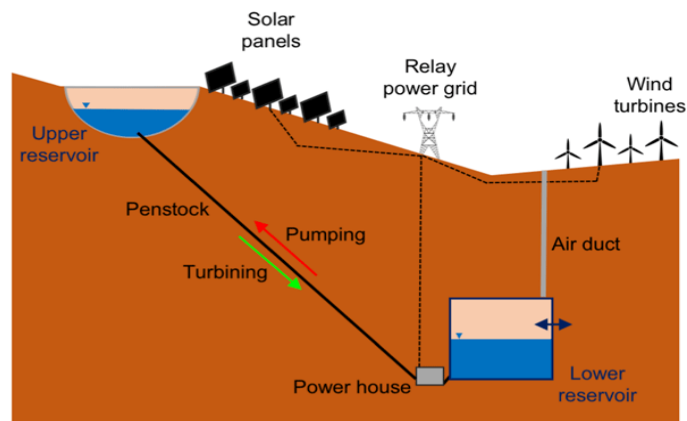


Figure 3. Underground pumped hydroelectric storage scheme [35].

3.2.3 Seawater Pumped Hydroelectric Storage System

In remote rural areas, isolated islands and offshore areas, a new type of storage called seawater pump hydro storage can be used. This storage system is a good alternative to pumping and using an artificial reservoir close to the sea. In addition, because it can provide a lower reservoir installation, construction and maintenance costs are reduced [37]. If it is well designed, it can be used in areas where it is difficult to utilize the conventional pumped storage system with long coastlines [2].

3.2.4 Hybrid Pump Hydro Storage (HPHES)

With a PHEs system created by combining solar and wind, more energy storage provides a significant increase in flexibility, reliability and sustainability. Hybrid system is important in terms of electricity generation system and energy management [38]. The solar, wind and both wind and solar systems which used in hybrid pumped hydroelectric storage will be explained as in detail;

Underground pumped hydroelectric systems are used as an alternative where pumped hydraulic systems cannot be installed. Figure 3 shows the schematic of the underground pumped hydroelectric storage system. These systems consist of two reservoirs, an underground reservoir and a surface reservoir. Underground reservoirs are places where abandoned mines are used. This storage system pumps water from underground to the upper reservoir, storing excess electricity in the form of potential energy. In periods when energy is needed, the water stored in the upper reservoir is transmitted to the underground reservoir and electricity is produced [35]. In underground pumped hydroelectric power plants, water transmission is provided by a pressurized well. As distinct from a pumped hydro storage systems, in underground pumped hydroelectric storage systems, water and air interact in water exchange in case of water transported to the upper reservoir and electricity generation from water in case of need. This pressure is created by the effect of air. The efficiency of underground pumped hydroelectric storage plants depends on the operating pressure in the underground water reservoir [36].

Firstly, the connection of hybrid wind and pumping system will be examined.

In order to increase wind energy capacity and reduce constraint, pumped hydroelectric storage, which provides generation with high energy density, is preferred. Changes in wind energy are supportive to close energy gaps and to provide electricity needs at long distances. The aim of the hybrid system is to increase the reliability of the system by using it with wind, to reduce the cost by using sea water as a reservoir for wind farms, and to increase the electricity production with wind energy. Studies mostly focus on system reliability and energy management [39]. Figure 4 shows the integrated working principle of the wind farm and pumped storage systems. In the hybrid system connected to the wind power plant, the supply of electricity produced and sold from wind energy is ensured by the pumped storage system. Excess electrical energy generated when wind speed increases is stored from the lower reservoir to the upper reservoir with the help of a pump. When wind speed decreases or electricity demand goes up, electricity is generated by running a hydraulic turbine and the grid can be fed. In this way, the unbalanced

and fluctuating structure of the electrical energy can be stabilized [24]. In the literature, Zhang et al., investigated the principle of wind-pump storage integrated agricultural micro grid to meet both electricity and water load demand. Modeling has been done and it has been stated that it reduces operating costs [40]. For this system to work, there must be a balance in the total electrical power. In order to provide energy stability, it is necessary to establish a balance between supply and demand. If the supply is higher than the demand, the supply is reduced by the control unit. If demand is greater than supply, additional power is used. This additional power is provided by the wind. The control system that can provide the balance of power by considering customer satisfaction should be expressed as follows:

$$D_{PS}(t) = \frac{n_{pc}(t)Q_p(t)H_b\rho g}{\eta_{PS}} = P_{WF}(t) \quad (2)$$

$$[D_{LS}(t)]_{base} = P_{CPS}(t) \quad (3)$$

CPS; conventional power system

$$[D_{LS}(t)]_{peak} = P_{HP}(t) \quad (4)$$

In Eq. (2) is an equation used to match changes in energy demand for pumping with wind power. $Q_p(t)$ is the flow pumped by each of the pumps $n_{pc}(t)$, H_b is the pumping head, η_{PS} is the efficiency of power system, g is the gravitational acceleration and ρ is the water density. The time-dependent peak value of the load system depends on the hydraulic power. Positive feedback is provided in the control, that is, if the output is greater than the load, the load is increased to maintain a constant voltage and frequency. If the load is greater than the output, the load will decrease [41].

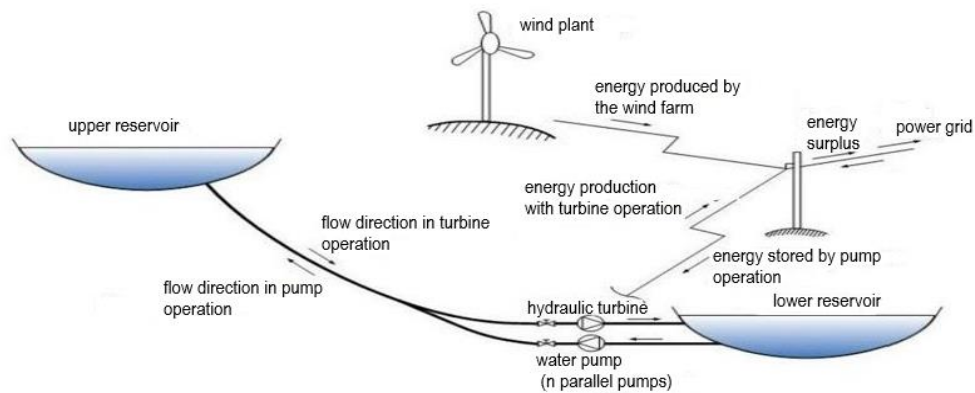


Figure 4. Scheme of pumped hydroelectric storage with wind-linked [24].

Secondly, the hybrid solar connection system is emphasized. Even if the sun is used during the day, there are a few interruptions compared to the wind. Pumped hydroelectric storage (PHES) uses mechanical storage to maximize solar energy use and prevent outages. This process is carried out in order to maximize the use of solar energy [39]. Solar-powered PHES systems are used as an energy storage subsystem, which plays an important role in replacing energy surplus, reducing interruptions in renewable energy sources, and balancing variable supply and demand. Mousavi et al., the effects of the solar connected pumped storage system on the micro grid were observed during sunny and cloudy times [42].

Bhoya et al., in their study, they performed energy analysis and optimization of a hybrid system consisting of

a solar system integrated with pumped hydro storage to power a residence [43].

Figure 5 shows the Hybrid solar PV connected pumped hydroelectric storage system diagram. The working principle of the hybrid PHES can be briefly explained as follows. During periods when the balance between supply and demand is high, the pump uses the output from the sun to move water from the lower reservoir, sea, river or an artificial pond to the upper reservoir. By transformation the stored water to the lower reservoir, electricity can be generated via a turbine/generator unit to compensate for the imbalance during periods of high electricity demand and inadequate renewable energy generation. [44].

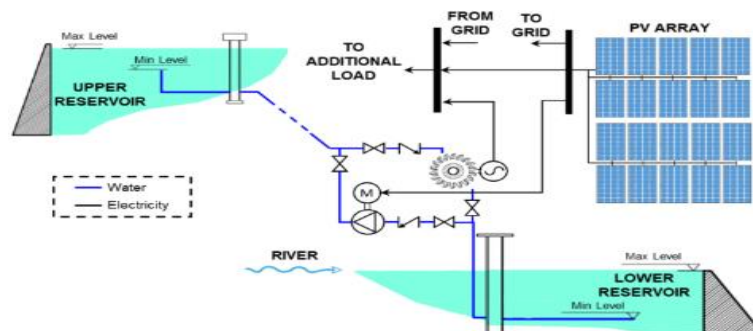


Figure 5. Hybrid solar PV connected pumped hydroelectric storage system diagram [44].

Thirdly, pumped hydroelectric storage system with both wind and solar connection is mentioned. It has been observed that there are deficiencies such as providing high energy storage, sizing system components, supply security and high investments in systems made using a single renewable energy source. In order to eliminate these deficiencies, the use of wind, solar and hydroelectricity together becomes a source that will make up for each other's deficiencies [39].

In the literature, in [45] proposes a hydro-based energy storage system and a clean, reliable and affordable hybrid energy conversion technology based on sunlight

and wind. Prediction was made using genetic algorithm. As a result, it has been observed that there is a cost-effective, clean energy and climate change mitigation potential.

In systems where the sun and wind are used alone, the variables may have unpredictable situations. For this reason, systems where wind and sun are used together can better cope with frequency and voltage changes. The PHES subsystem consists of a dedicated pump/motor unit and a turbine/generator unit [39]. This is shown in figure 6.

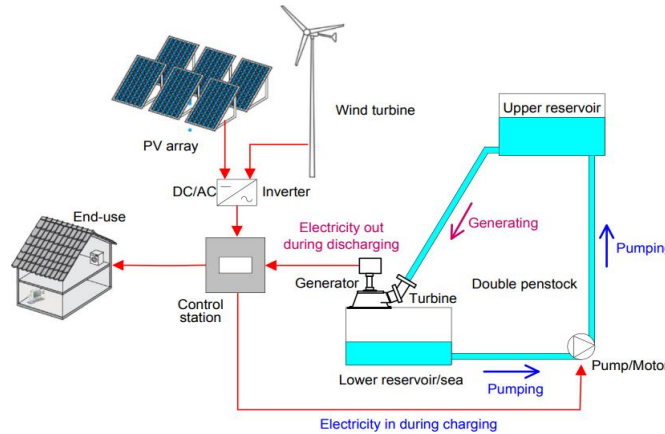


Figure 6. Hybrid solar-wind PHES scheme [46].

Pump/Motor unit: The flow rate of the water sucked from the lower chamber by the pumps is shown in Eq. (5). The power supply is provided by the hybrid renewable energy generator [46].

$$q_p(t) = \frac{\eta_p \cdot P_{h \rightarrow p}(t)}{\rho g h} = c_p \cdot P_{h \rightarrow p}(t) \quad (5)$$

Here $P_{h \rightarrow p}(t)$, represents the charging power from the pump to the hybrid generator, and h represents the height. Also, g is the acceleration of gravity, ρ is the water density, η_p pumping efficiency and c_p pumping coefficient. $q_p(t)$ is the volumetric flow of water supplied to the pump m^3/s .

Turbine/Generator unit: The turbine is a necessary element to ensure the conversion to energy. The transfer from the pump to the PHES system is also done through the turbine. A power component should be chosen depending on the height available and the flow rate [47].

In the event of a power outage, water is drawn from the upper reservoir to power the hydro turbines [15, 39]. The flow rate of the water taken by the turbine from the lower chamber to the upper chamber is shown in Eq. (6). Power from turbine/generator unit:

$$P_t(t) = \eta_t \rho g h \cdot q_t(t) = c_t \cdot q_t(t) \quad (6)$$

η_t is the total turbine/generator efficiency ve $q_t(t)$ is the volumetric flow rate of water taken into the turbine m^3/s .

The power produced by the turbine is limited between its minimum load power and its rated power [47].

Upper Reservoir: The amount of water stored in the upper reservoir must be able to satisfy the electricity demand in an island region to be fed if there is no electricity supply for several consecutive days. In order to meet the electricity demand, turbine water input power is obtained when the efficiency of turbine power and turbine power are calculated and proportioned. The water is transferred from the upper reservoir at h height to the lower reservoir. The gravitational potential energy stored in the upper reservoir is expressed as [46, 48]:

$$E_C = n_{day} \cdot E_{load} = \frac{\eta_t \rho \cdot V \cdot g \cdot h}{3.6 \times 10^6} \quad (7)$$

In Eq. (7) E_C , is the energy storage capacity of a water tank (kWh); n_{load} , is the number of independent days in the loaded state; E_{load} , is the daily load energy is which consumed; V , is the volume or storage capacity of the water tank.

The total amount of water that can be stored in the UR at any time t is expressed as:

$$Q_{UR}(t) = Q_{UR}(t - 1)(1 - \alpha) + q_p(t) - q_t(t) \quad (8)$$

Where α designates the leakage and evaporation loss and q_p means the flow rate of the pump (m^3/s).

The time to fully charge the reservoir is the ratio of the volume to the pump's flow rate.

PHES can generate profits when water is pumped into the upper reservoir during the low pricing period and then electricity is generated through the turbine to load or sell back to the grid during the peak pricing period. However, due to pump losses, PHES can buy more electricity from the grid. [49].

3.3 Economic Aspects of Pumped Storage Hydroelectric Power Plants

Because of the fast development of the global economy, the need for electricity is increasing. Therefore, hybrid renewable energy systems have a significant place in the electricity market. For example, let's consider a PV system with energy storage. When the electricity price is fall, it is stored with the storage system. This stored electricity is then sold when the electricity price is rise. Pumped hydroelectric storage is preferred as the energy storage system. Thus, maximum profit will be achieved. [50].

In the energy market, pumped hydroelectric storage is operated by independent system operators. In pumped hydroelectric storage generation and pumping mode, decision is made based on the facility's commitment status, ancillary service programs and energy status before submitting a bid to the day ahead market [51].

The budget of PHES projects depends on plant components and hydroelectric plant costs. Since the cost functions and components of the PHES system are similar to hydroelectric power plants, the implementation costs can be estimated by taking the hydroelectric power plant values as a reference. In the pumping phase, energy market regulations including different tariff situations, transmission and distribution utilization rates are utilized both in energy purchase and energy sales [2]. The maximum profit obtained according to the purchase and sale offers made in the electricity market shows that these power plants are economically good. Profit is the difference between revenue and cost [52, 53].

$$profit = \sum_t (revenue^t - cost^t) \quad (9)$$

$$revenue^t = p(t) * G(t) \quad (10)$$

$p(t)$; t is the electricity reference price at time, $G(t)$; represents the amount of electricity offered. If the result is negative, electricity is purchased. If it is positive, it means electricity is being sold.

$$cost^t = C_{conv}(t) + Y_{conv}(t) * S_{conv} \quad (11)$$

$C_{conv}(t)$; production cost of the plant, $Y_{conv}(t)$; binary value, S_{conv} ; expressed as the initial cost of the unit. If the unit was turned on at time t is 1, otherwise 0.

$C_{conv}(t)$ expression is calculated as follows.

$$C_{conv} = (a * P_{conv}(t)^2 + b * P_{conv}(t) + c) * X_{conv}(t) \quad (12)$$

a, b, c ; t are the electricity cost coefficients in time. $P_{conv}(t)$; the amount of power produced by the unit in t time and $X_{conv}(t)$; binary value. If t also produces electricity, it is expressed as 1, if it does not produce, it is expressed as 0.

$X_{conv}(t)$ ve $Y_{conv}(t)$ binary coefficient takes value 0 or 1.

$$P_{conv}^{min} * X_{conv}(t) \leq P_{conv}(t) \leq P_{conv}^{max} * X_{conv}(t) \quad (13)$$

The power which generated by the unit should not exceed the minimum and maximum power generation value.

$$-ramp \leq P_{conv}(t) - P_{conv}(t - 1) \leq ramp \quad (14)$$

The change in the amount of production should not exceed the ramp rate.

$$X_{conv}(t) - X_{conv}(t - 1) \leq Y_{conv}(t) \quad (15)$$

In order to know whether the unit is turned on or not, the above expression of binary values is used.

$$P_{turbine}(t) \leq P_{turbine}^{max} \quad (16)$$

The turbine output power should not exceed the maximum turbine output power.

$$P_{pump}(t) \leq P_{pump}^{max} \quad (17)$$

In the same way, the pump output power should not exceed the maximum output power of the pump.

$$0 \leq V_t \leq V_{max} \quad (18)$$

V_t ; Volume of PHES in upper reservoir at time t , V_{max} ; PHES is the maximum volume of the upper reservoir. Day-to-day and end-of-day storage volume should equal half of the upper reservoir maximum volume.

$$storage(t) = storage(t - 1) + P_{pump}(t) - P_{turbine}(t) \quad (19)$$

$storage(t)$; it represents the energy stored at the end of each hour. Stored should not exceed the maximum storage capacity.

$$P_w(t) + P_s(t) + P_{conv}(t) + P_{turbine}(t) = G(t) + \frac{P_{pump}(t)}{\tau} \quad (20)$$

The energy balancing equation is that the sum of the energies produced must equal the sum of the commercially available electricity and the electricity used to pump the water in the lower reservoir of the pumped storage hydroelectric power plant [52].

The daily income of a pumped hydroelectric storage system with hybrid connection to solar power plants is calculated as follows:

$$R = \sum_{t=1}^{24} (P_{PV} + P_t) \times SP_t - 1.5 \sum_{t=t1}^{t2} P_t \times SP_t \quad (21)$$

R : income, P_{PV} ; PV power generation, P_t ; is the charge-discharge power of the PHES at time t and SP_t is the instant payment price at t time $t1$ is the time PHES started buying power and $t2$ is the time it finished buying power. The purpose of the user is to maximize the economic benefit by adjusting the charge and discharge power. If we find the maximum of the expression given in Equation 20, the time when the utility reaches the maximum surface is found. [50].

4 Conclusion

Hydroelectric power plant with pumped storage, which is one of the mechanical systems more suitable for use in large power systems in energy storage, has been examined.

Energy storage methods have been investigated in detail by many researchers and it has been observed that pumped hydro storage is a system that provides hours and weeks of storage in high-power systems, both environmentally and cost-effectively.

PHES has been found to be hybrid systems that can be connected to variable speed turbine, groundwater, seawater and renewable energies to increase efficiency, reduce cost and save space. Among these systems, it has been observed that the system in which solar and wind are used as a hybrid is also advantageous in providing high profitability in the energy market.

Considering the location definitions for PHES applicability, it may be beneficial to use rivers and shores as reservoirs. Because the use of rivers and shores in low reservoirs can be efficient in terms of construction and cost. Also, using large rivers as lower reservoirs increases efficiency by providing a large increase in the amount of water, while also being used for hydroelectric power plant. This research shows that energy storage is not only a technical necessity, but also contributes to cost advantages and climate. It is a critical and urgent issue to implement local adaptation actions in order to reduce the risks arising from climate change. In order to leave a livable environment to future generations, it is foreseen that this system, which provides completely renewable environment-friendly storage in large powers, should be focused on and implemented. It will be able to contribute to Turkey in terms of cost, frequency regulation and water requirement. The intermittent nature of renewable resources requires the use of longer storage. With this storage, both the continuity of the energy will be ensured and the supply-demand balance will be ensured. The fall height, hydraulic slope, grid connection and geological structure of Turkey's hydroelectric reservoirs are suitable for the installation of these pumped hydro storage plants.

Declaration

This article is not available in a working group that requires ethical committee approval.

References

- [1] Barbour, E., Wilson, I. G., Radcliffe, J., Ding, Y., & Li, Y. (2016). A review of pumped hydro energy storage development in significant international electricity markets. *Renewable and sustainable energy reviews*, 61, 421-432..
- [2] Vilanova, M. R. N., Flores, A. T., & Balestieri, J. A. P. (2020). Pumped hydro storage plants: a review. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(8), 1-14..
- [3] Blakers, A., Stocks, M., Lu, B., & Cheng, C. (2021). A review of pumped hydro energy storage. *Progress in Energy*, 3(2), 022003..
- [4] Kocaman, B. (2013). Akıllı şebekeler ve mikro şebekelerde enerji depolama teknolojileri. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 119-127..
- [5] McIlwaine, N., Foley, A. M., Morrow, D. J., Al Kez, D., Zhang, C., Lu, X., & Best, R. J. (2021). A state-of-the-art techno-economic review of distributed and embedded energy storage for energy systems. *Energy*, 229, 120461.

- [6] Punys, P., Baublys, R., Kasiulis, E., Vaisvila, A., Pelikan, B., & Steller, J. (2013). Assessment of renewable electricity generation by pumped storage power plants in EU Member States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 190-200.
- [7] Ali, S., Stewart, R. A., & Sahin, O. (2021). Drivers and barriers to the deployment of pumped hydro energy storage applications: Systematic literature review. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100281..
- [8] Nehrir, M. H., Wang, C., Strunz, K., Aki, H., Ramakumar, R., Bing, J., ... & Salameh, Z. (2011). A review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation: Configurations, control, and applications. *IEEE transactions on sustainable energy*, 2(4), 392-403.
- [9] Aktas, A., Erhan, K., Özdemir, S., & Özdemir, E. (2018). Dynamic energy management for photovoltaic power system including hybrid energy storage in smart grid applications. *Energy*, 162, 72-82.
- [10] Faisal, M., Hannan, M. A., Ker, P. J., Hussain, A., Mansor, M. B., & Blaabjerg, F. (2018). Review of energy storage system technologies in microgrid applications: Issues and challenges. *Ieee Access*, 6, 35143-35164.
- [11] Babu, T. S., Vasudevan, K. R., Ramchandaramurthy, V. K., Sani, S. B., Chemud, S., & Lajim, R. M. (2020). A comprehensive review of hybrid energy storage systems: Converter topologies, control strategies and future prospects. *IEEE Access*, 8, 148702-148721.
- [12] Mousavi, N., Kothapalli, G., Habibi, D., Lachowicz, S. W., & Moghaddam, V. (2020). A real-time energy management strategy for pumped hydro storage systems in farmhouses. *Journal of Energy Storage*, 32, 101928.
- [13] Tian, M. W., Yan, S. R., Tian, X. X., Nojavan, S., & Jermisittiparsert, K. (2020). Risk and profit-based bidding and offering strategies for pumped hydro storage in the energy market. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120715.
- [14] Gundu, V., & Simon, S. P. (2020). A novel energy routing technique with hybrid energy storage for residential electricity cost minimization in a smart distribution network. *Energy sources, part A: Recovery, utilization, and environmental effects*, 1-18.
- [15] Al-Masri, H. M., Magableh, S. K., Abuelrub, A., Saadeh, O., & Ehsani, M. (2020). Impact of different photovoltaic models on the design of a combined solar array and pumped hydro storage system. *Applied Sciences*, 10(10), 3650.
- [16] Bagheri-Sanjareh, M., Nazari, M. H., & Hosseinian, S. H. (2021). Energy management of islanded microgrid by coordinated application of thermal and electrical energy storage systems. *International Journal of Energy Research*, 45(4), 5369-5385.
- [17] Kutucu, N., Terzi, Ü. K., & Ayirga, H. Y. (2017, April). Technical and economic analysis of energy storage systems in smart grids. In *2017 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG)* (pp. 166-170). IEEE.
- [18] Rehman, S., Al-Hadhrami, L. M., & Alam, M. M. (2015). Pumped hydro energy storage system: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 586-598.
- [19] Pärnamäe, R., Gurreri, L., Post, J., van Egmond, W. J., Culcasi, A., Saakes, M., ... & Tedesco, M. (2020). The acid-base flow battery: Sustainable energy storage via reversible water dissociation with bipolar membranes. *Membranes*, 10(12), 409.
- [20] Yang, C. J. (2016). Pumped hydroelectric storage. In *Storing Energy* (pp. 25-38). Elsevier.
- [21] Gürsakal, H., & Uyumaz, A. (2021). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Optimizasyonunda Karlılık Analizi Ve Çalışma Süresi Tayini. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 436-452.

- [22] Guittet, M., Capezzali, M., Gaudard, L., Romerio, F., Vuille, F., & Avellan, F. (2016). Study of the drivers and asset management of pumped-storage power plants historical and geographical perspective. *Energy*, 111, 560-579.
- [23] Chauhan, A., & Saini, R. P. (2014). A review on Integrated Renewable Energy System based power generation for stand-alone applications: Configurations, storage options, sizing methodologies and control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 99-120.
- [24] Ünver, Ü., Bilgin, H., & Güven, A. (2015). Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemler. *Mühendis ve Makina*, 56 (663), 57-64.
- [25] Zhao, H., Wu, Q., Hu, S., Xu, H., & Rasmussen, C. N. (2015). Review of energy storage system for wind power integration support. *Applied energy*, 137, 545-553.
- [26] Chen, H., Cong, T. N., Yang, W., Tan, C., Li, Y., & Ding, Y. (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in natural science*, 19(3), 291-312.
- [27] Stocks, M., Stocks, R., Lu, B., Cheng, C., & Blakers, A. (2021). Global atlas of closed-loop pumped hydro energy storage. *Joule*, 5(1), 270-284.
- [28] Barbour, E., Wilson, I. G., Radcliffe, J., Ding, Y., & Li, Y. (2016). A review of pumped hydro energy storage development in significant international electricity markets. *Renewable and sustainable energy reviews*, 61, 421-432.
- [29] Deane, J. P., Gallachóir, B. Ó., & McKeogh, E. J. (2010). Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(4), 1293-1302.
- [30] Punys, P., Baublys, R., Kasiulis, E., Vaisvila, A., Pelikan, B., & Steller, J. (2013). Assessment of renewable electricity generation by pumped storage power plants in EU Member States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 190-200.
- [31] Yıldız, C., & Şekkel, M. (2016). Türkiye gün öncesi elektrik piyasasında rüzgar enerjisi ve pompaj depolamalı hidroelektrik santral için optimum teklif oluşturulması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(5), 361-366.
- [32] Makhdoomi, S., & Askarzadeh, A. (2020). Daily performance optimization of a grid-connected hybrid system composed of photovoltaic and pumped hydro storage (PV/PHS). *Renewable Energy*, 159, 272-285.
- [33] Kabalcı, E., Bayındır R., & Tür, M.R. (2021). Mikroşebekeler ve dağıtık üretim sistemleri. *Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık*
- [34] Valavi, M., & Nysveen, A. (2018). Variable-speed operation of hydropower plants: A look at the past, present, and future. *IEEE Industry Applications Magazine*, 24(5), 18-27.
- [35] Pujades, E., Orban, P., Archambeau, P., Erpicum, S., & Dassargues, A. (2018). Numerical study of the Martelange mine to be used as underground reservoir for constructing an Underground Pumped Storage Hydropower plant. *Advances in Geosciences*, 45, 51-56.
- [36] Menéndez, J., Fernández-Oro, J. M., Galdo, M., & Loredó, J. (2020). Efficiency analysis of underground pumped storage hydropower plants. *Journal of Energy Storage*, 28, 101234.
- [37] Wu, Y., Zhang, T., Chen, K., & Yi, L. (2020). A risk assessment framework of seawater pumped hydro storage project in China under three typical public-private partnership management modes. *Journal of energy storage*, 32, 101753.
- [38] Simão, M., & Ramos, H. M. (2020). Hybrid pumped hydro storage energy solutions towards wind and PV integration: Improvement on flexibility, reliability and energy costs. *Water*, 12(9), 2457.
- [39] Javed, M. S., Ma, T., Jurasz, J., & Amin, M. Y. (2020). Solar and wind power generation systems with pumped hydro storage: Review and future perspectives. *Renewable Energy*, 148, 176-192.
- [40] Zhang, M. Y., Chen, J. J., Yang, Z. J., Peng, K., Zhao, Y. L., & Zhang, X. H. (2021). Stochastic day-ahead scheduling of irrigation system integrated agricultural microgrid with pumped storage and uncertain wind power. *Energy*, 237, 121638.
- [41] Bueno, C., & Carta, J. A. (2006). Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands. *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(4), 312-340.
- [42] Mousavi, N., Kothapalli, G., Habibi, D., Lachowicz, S. W., & Moghaddam, V. (2020). A real-time energy management strategy for pumped hydro storage systems in farmhouses. *Journal of Energy Storage*, 32, 101928.
- [43] Bhayo, B. A., Al-Kayiem, H. H., Gilani, S. I., & Ismail, F. B. (2020). Power management optimization of hybrid solar photovoltaic-battery integrated with pumped-hydro-storage system for standalone electricity generation. *Energy Conversion and Management*, 215, 112942.
- [44] El-Jamal, G., Ghandour, M., Ibrahim, H., & Assi, A. (2014, November). Technical feasibility study of solar-pumped hydro storage in Lebanon. In *International Conference on Renewable Energies for Developing Countries 2014* (pp. 23-28). IEEE.
- [45] Nyeche, E. N., & Diemuodeke, E. O. (2020). Modelling and optimisation of a hybrid PV-wind turbine-pumped hydro storage energy system for mini-grid application in coastline communities. *Journal of cleaner production*, 250, 119578.
- [46] Ma, T., Yang, H., Lu, L., & Peng, J. (2014). Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong. *Renewable energy*, 69, 7-15.
- [47] Petrollese, M., Seche, P., & Cocco, D. (2019). Analysis and optimization of solar-pumped hydro storage systems integrated in water supply networks. *Energy*, 189, 116176.
- [48] Morabito, A., & Hendrick, P. (2019). Pump as turbine applied to micro energy storage and smart water grids: A case study. *Applied energy*, 241, 567-579.
- [49] Kusakana, K. (2019). Optimal electricity cost minimization of a grid-interactive Pumped Hydro Storage using ground water in a dynamic electricity pricing environment. *Energy Reports*, 5, 159-169.
- [50] Liu, K., Hu, W., Xu, X., Huang, Q., Zhang, Z., & Chen, Z. (2019). Optimized Operation of Photovoltaic and Pumped Hydro Storage Hybrid Energy System in the Electricity Market. In *2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, (pp. 4306-4311).
- [51] Aburub, H., Basnet, S., & Jewell, W. T. (2019). On the use of adjustable-speed pumped hydro storage operation in the US electricity market. *Journal of Energy Storage*, 23, 495-503.
- [52] Akkaş, Ö. P., Arıkan, Y., & Çam, E. (2018). Elektrik Piyasasında Sanal Güç Santrali İşletiminin Optimizasyonu için Modelleme Önerisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10 (3), 12-19.
- [53] Anilkumar, T. T., Simon, S. P., & Padhy, N. P. (2017). Residential electricity cost minimization model through open well-pico turbine pumped storage system. *Applied energy*, 195, 23-35.



THE EFFECT OF USING TiO₂/WATER NANOFLUID IN PLATE HEAT EXCHANGERS ON THERMAL PERFORMANCE

Muhammet Kahveci¹ , Tarkan Koca^{*2} 

¹Inönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Malatya

²Inönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya

Abstract

Original scientific paper

The use of nanofluids in heat exchangers is known as a method that increases the amount of heat transfer and the thermal efficiency of the heat exchangers. In this study, the effect of using TiO₂/water (Titanium dioxide-base fluid) nanofluid on the thermal performance in a counter current parallel flow plate heat exchanger was investigated. Three different fluids were used as hot fluids in the experiment, and these are water, TiO₂/water nanofluids with 0.25% and 0.5% volumetric mixing ratios. In order to understand the effect of nanofluid on thermal performance, first water, which is the base fluid, was used in the experiments, and then nanofluids were used. Four different values were selected, with a flow rate of 4.5, 6, 7 lt/min of water used as cold fluid. For each flow rate, separate experiments were carried out at constant temperature values where the hot fluid inlet temperature was 40°C, 45°C, 50°C, 55°C and 60°C and heat transfer, effectiveness and improvement rates were examined. According to the data obtained from the experiment, it has been determined that the use of TiO₂/water nanofluid instead of water as the hot fluid in the plate heat exchanger improves the thermal efficiency. The greatest increase in heat transfer was achieved in the experiment using TiO₂/water nanofluid, where the cold fluid flow rate was 7 lt/min, the hot fluid inlet temperature was 60°C and the volumetric mixing ratio was 0.5%. This value is calculated as 14508 W. According to the results obtained, the highest improvement rate was obtained as 14.3% in the study where TiO₂/water nanofluid with a volumetric mixing ratio of 0.5% was used as the test fluid and the cold fluid flow rate was 4 lt/min. In addition, as the flow rate increased, the heat transfer amount increased and the improvement rate decreased.

Keywords: Effectiveness, nanofluid, plate heat exchanger, TiO₂.

PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNDE TiO₂/SU NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISIL PERFORMANSA ETKİSİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Eşanjörlerde nanoakışkanların kullanılması, ısı transfer miktarını ve eşanjörlerin termal verimliliğini artıran bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu çalışmada zıt yönlü paralel akışlı plakalı ısı değiştiricisinde TiO₂/su (Titanyum dioksit-baz akışkan) nanoakışkanı kullanılması ısı performansına etkisi araştırılmıştır. Deneyde sıcak akışkan olarak üç farklı akışkan kullanılmış olup bunlar su, %0,25 ve %0,5 hacimsel karışım oranına sahip TiO₂/su nanoakışkanlarıdır. Nanoakışkanın ısı performansına etkisini anlayabilmek için deneylerde önce baz akışkan olan su kullanılmış ve sonrada nanoakışkanlar kullanılmıştır. Soğuk akışkan olarak kullanılan suyun debisi 4,5,6,7 lt/dk olacak şekilde dört farklı değer seçilmiştir. Her debi değeri için sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C, 45°C, 50°C, 55°C ve 60°C olduğu sabit sıcaklık değerlerinde ayrı ayrı deneyler yapılmış ve ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranları incelenmiştir. Deneyden elde edilen verilere göre plakalı ısı değiştiricisinde sıcak akışkan olarak su yerine TiO₂/su nanoakışkanı kullanılması ısı verimi iyileştirdiği tespit edilmiştir. Isı transferinde gerçekleşen en büyük artış soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk, sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C ve hacimsel karışım oranının %0,5 olduğu TiO₂/su nanoakışkanının kullanıldığı deneyde ulaşılmıştır. Bu değer 14508 W olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek iyileştirme oranı, hacimsel karışım oranı %0,5 olan TiO₂/su nanoakışkanının deney akışkanı olarak kullanıldığı ve soğuk akışkan debisinin 4 lt/dk olduğu çalışmada %14,3 olarak elde edilmiştir. Ayrıca debi arttıkça ısı transfer miktarı artmış ve iyileştirme oranı azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Etkenlik, nanoakışkan, plakalı ısı değiştiricisi, TiO₂.

* Corresponding author.

E-mail address: tarkan.koca@inonu.edu.tr (T. Koca)

Received 21 February 2022; Received in revised form 09 May 2022; Accepted 19 August 2022

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1076723>

1 Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile malzeme bilimi büyük yol kat etmiş ve nano büyüklükte partiküller üretilebilir hale gelmiştir. Nanometre büyüklüğündeki parçacık 0-100 mikron aralığında bulunan madde parçacığdır [1]. Bu büyüklükler çeşitli elektron mikroskopları ile görülebilmektedir. Nanopartiküllerin ısı iletim katsayısının yüksek olması dikkat çekmiş ve geleneksel akışkana katılarak nanoakışkanların ortaya çıkması sağlanmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunda temel akışkan olarak çoğunlukla su kullanılmaktadır. Ancak bazı çalışmalarda etilen, glikol ve mineral yağ kullanılmaktadır [2]. Parçacık olarak ise metal ve metal oksitler kullanılmaktadır. Milimetre ölçüsünde veya daha büyük metal parçacıklarının sıvı içerisine süspansiyonu uzun süredir bilinmekte ve uygulanmaktadır. Ancak bu uygulamalarda çökme, basınç düşüşü, yüksek gürültü ve titreşim karşılaşılan önemli sorunlardır. Ancak ısı transfer hızındaki artış bu olumsuzlukların göz ardı edilmesine neden olmuştur [3]. Geleneksel akışkanlara göre mikro boyutta katı parçacıklar ihtiva eden nanoakışkanların ısı transfer hızı daha yüksektir. Akışkan içine süspansiyon edilen parçacık akışkanın yüzey alanını ve ısıl kapasitesini arttırmaktadır [4]. Nanopartiküller akışkanların efektif ısıl kapasitesinin artmasını sağlamaktadırlar. Partiküller arasında gerçekleşen etkileşim ve çarpışma akışkanın ısı transfer yüzeyinin büyümesine sebep olmaktadır.

Gelişen teknoloji ile birlikte nano boyutta parçacık üretimi artmış olup bilim insanları daha iyi ısı iletimi sağlamak için nanoakışkanlar üzerinde çalışmaya devam etmektedirler. Taştan [5] yaptığı çalışmada farklı nanopartikül şekline sahip olan Al_2O_3 , GO, Fe_3O_4 nanopartiküllerini ve baz akışkan olan su ile oluşturduğu nanoakışkanları dairesel kesitli bir boruda akış ve ısı transferi açısından sayısal olarak incelemiştir. Gerçekleştirdiği analiz sonuçlarına göre nanoakışkanlarda, nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ve Reynold değerinin artmasıyla doğru orantılı olarak ısı taşınım katsayısı “h”, Nusselt sayısı “Nu” ve basınç düşümü “ ΔP ” değerleri artmıştır. Kılıç ve Efeoğlu [6] yaptıkları çalışmada nanoakışkanların çarpan akışkan jet tekniği ile oluşturduğu etkinin, yüksek ısı akılı hareketli bakır bir plakadan olan ısı transferine etkisini sayısal olarak incelemiştir. Literatürdeki çalışmalarını doğrulamak için öncelikli olarak hareketsiz plakalarda analizler gerçekleştirmişlerdir. İkinci aşamada ise hem hareketli hem de hareketsiz bir plakada Al_2O_3 - H_2O nanoakışkanı kullanarak farklı parçacık çaplarında, farklı plaka hızlarında, ısı transfer analizi yapmışlardır. En iyi ısı transfer performansını Cu- H_2O nanoakışkanın sağladığı belirlenmiştir. Karabulut ve ark. [7] grafit oksit-su nanoakışkanı kullanarak üniform duvar ısı akılı dairesel bir bakır boruda laminar akış şartlarında deneysel ve sayısal olarak çalışma yapmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre GO nanoakışkanının ısı transferi uygulamalarında, geleneksel çalışma akışkanlarına iyi bir alternatif olarak kullanılabileceğini değerlendirmişlerdir.

Fard ve ark. [8] çalışmalarında plakalı ve eş merkezli borulu ısı değiştiricilerinde, su-su ve nanoakışkan-su akışkanları kullanarak deneyler yapmışlardır. Sıcak akışkan olarak ZnO-su nanoakışkanı kullanmışlardır. Sıcak ve soğuk akışkanların kütle akış oranlarındaki

artışla birlikte ısı transfer oranı ve ısı transfer katsayıları artmıştır. Deneysel sonuçlar, her iki ısı değiştiricideki nanoakışkanın ısı transfer oranının ve ısı transfer katsayısının baz sıvınıninkinden daha yüksek olduğunu ve plakalı ısı değiştiricideki ısı değişiminin verimliliğinin eş merkezli borulu ısı değiştiriciden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Kwon ve ark. [9] plakalı ısı değiştiricide, ZnO ve Al_2O_3 nanoakışkanı ile deneyler yapmışlardır. Isıl performans ve basınç düşüş miktarını incelemiştir. Toplam ısı transfer katsayısı, hacimce %6 konsantrasyonlu Al_2O_3 nanoakışkanı kullanımında %30'a kadar yükselmiştir. Zamzaman ve ark. [10] alümina-etilen glikol ve bakır oksit-etilen glikol nanoakışkanlarını çeşitli konsantrasyonlarda hazırlamışlar ve nanoakışkanların ısıl özelliklerini tespit etmek için türbülanslı akışta, çift borulu ve plakalı ısı değiştiricide deneyler yapmışlardır. Çalışmanın teorik ve deneysel sonuçlarına göre nanoparçacıkların akışkana ait zorlanmış konvektif ısı transfer katsayısı büyük miktarda artmıştır. Varyenli ve ark. [11] oluşturdukları deney setinde saf su-MgO kullanmışlardır. Zıt yönlü, paralel akışlı ısı değiştiricide saf su ve magnezyum oksitin ısıl performansını incelemiştir. 3 lt/dk debide yaptıkları deneylerde ortalama etkenlik, magnezyum oksit kullanımında saf suya göre %13 artmıştır. 7 lt/dk debide yapılan deneylerde ortalama etkenlik saf suya oranla %7 fazla olduğu tespit edilmiştir. Akçay ve ark. [12] kademeli boru demeti üzerinde laminar akış şartlarında nanoakışkanın ısıl performansına etkisini nümerik olarak incelemiştir. Nanoakışkan olarak Al_2O_3 -safsu kullanılmış olup ısı transfer performansı, yüksek genlik ve düşük frekans değerlerinde artma göstermiştir. Huang ve ark. [13] plakalı ısı eşanjöründe alümina nanopartiküller ve çok duvarlı karbon nanotüpler içeren hibrit nanoakışkan karışımını kullanmışlardır. Akış hızının aynı olduğu değerlerde hibrit nanoakışkanın ısıl performansının Al_2O_3 -su nanoakışkan ve suyun ısıl performansından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Kahveci ve Koca [3] çalışmalarında plakalı ısı değiştiricilerinde, su-su ve grafit-su nanoakışkanı kullanarak deneyler yapmış, nanoakışkanın ısı transferine, etkenlik ve iyileştirme oranına etkisini incelemiştir. Isı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımının ısıl verimlilikte önemli iyileştirmeler sağladığını tespit etmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada deney akışkanı olarak TiO_2 -su (Titanium dioksit-su) nanoakışkanı seçilmiş olup nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu %0,25 ve %0,5 olarak alınmıştır. Seçilen konsantrasyonlarda, farklı soğuk akışkan debilerinde ve farklı sıcak akışkan giriş sıcaklığı değerlerinde deneyler yapılmış ve ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranı incelenmiştir. Mevcut literatürdeki çalışmalara ek olarak; farklı konsantrasyonlardaki nanoakışkanın, zıt yönlü paralel akışlı plakalı ısı değiştiricisinde kullanılması ile ısı transferine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu sistemde nanoakışkan kullanımını değerlendirilmiş ve en uygun nanoakışkan miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca nanoakışkanların sahip oldukları yüksek ısıl iletkenlik özelliğinden yararlanarak plakalı ısı değiştiricisi performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

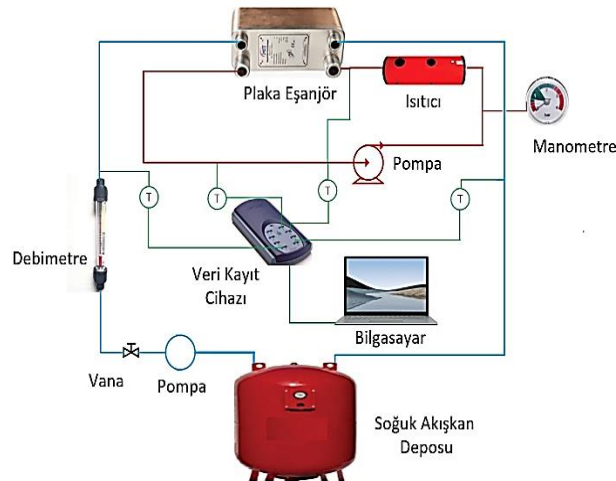
2 Materyal ve Method

2.1 Deneysel Sistem

Deney setinin şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Deney seti; 12 plakaya sahip levhalı tip ısı değiştirici, ısıtıcı sistem, debi ölçer, sıcaklık ölçer, veri kayıt sistemi ve sirkülasyon pompasından oluşmaktadır. Isıtma sistemi LPG’li tip olup farklı ısı yüklerine ayarlanabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Akışkan sirkülasyonunu sağlamak ve akışkanı basınçlı şekilde sisteme basmak için 3 kademeli pompa kullanılmıştır. Deney setine giren akışkanın debisini ayarlayabilmek için giren soğuk akışkanın girişine 1 adet ayarlı tip vana yerleştirilmiştir. Vananın hemen çıkışında, suyun hacimsel debisini ölçebilmek için debimetre kullanılmıştır. Sisteme giren soğuk akışkanın, sistemden çıkan sıcak akışkanın, plakalı değiştiriciye giren soğuk ve sıcak akışkanın sıcaklığını ölçmek için 4 adet Tekon marka K tipi ısı çift (termokupl) kullanılmıştır. Plakalı ısı değiştirici içindeki akışkanı tahliye etmek ve sisteme 1,5 bar olacak şekilde nanoakışkan doldurabilmek için U bypass hattının her iki tarafına da vanalı tip giriş çıkış hattı koyulmuştur. Sisteme, hazırlanmış olan akışkanı doldurulamak için basıncı elle arttırılabilen, kapasitesi 4 bar ve sıvı akışkan koyulabilecek hazneye sahip el pompası eklenmiştir. Nanoakışkan deney setine bu pompa vasıtasıyla doldurulmuştur. 4 adet Tekon marka termokupl’dan okunan bilgiler Picolog marka TC-08 modelindeki veri kayıt cihazı yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Tablo 1’de deney setinde kullanılan cihazlarla ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Deney setinde kullanılan cihazlar.

Kullanılan Cihazlar	Cihaz Modeli	Maksimum Çalışma Sıcaklığı ve Hassasiyeti(°C)	Çalışma Basıncı (Bar)	Ölçü Aralığı (lt/dk)
Debimetre	Lzs-15	70-(0,1 °C)	0-10	2-18
Sirkülasyon Pompası	Wilo Nfls/5	95	0-0,3	0-18
Veri Aktarım Cihazı	Picolog Tc-08	-270-1820 (0,01 °C)		
Hermetik Kombi	Eca	90 (0, 1 °C)	0-0,3	3866
Termokupl	Tekon K Tipi	-200-1200 (0,1 °C)		



Şekil 1. Deney setinin şematik gösterimi.



Şekil 2. Deney setine ait fotoğraflar.

2.2 Nanoakışkan Özellikleri

Mühendislik uygulamalarında ısı transferi çalışmalarında genellikle kullanılan su, etilen, glikol ve motor yağı gibi ısıl iletkenliği düşük akışkanların, ısıl iletkenliğinin arttırılması için birçok çalışma yürütülmektedir [14]. Isı iletim katsayısı çok büyük olan nano parçacıkların su veya benzer akışkanlara katılarak nanoakışkanların oluşturulması ve oluşturulan akışkanın ısı iletkenliği yüksek olması oldukça dikkat çekmektedir. Bu anlamda nanoakışkanlar, ısı transferi uygulamaları açısından önem kazanmaktadır. Deney setinde kullanılan nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan TiO₂ nano partikülleri Nanografi firmasından temin edilmiştir. Nanoakışkan hazırlama işlemi İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Titanyum dioksit nano partikülleri, istenilen hacimsel konsantrasyonda karışım yapabilmek için 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazide tartılmıştır. Nano parçacık tartım işlemi tamamlandıktan sonra kütsel oranlar hacimsel orana çevrilmiştir. Çalışmalarda hacimsel oran kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılmak üzere hacimce %0,25 ve %0,5 oranda nanoakışkan hazırlanmıştır. Titanyum dioksit-su nanoakışkanı iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Bu yöntemde temel akışkan ile nano parçacıkların bir araya getirilmesi sağlanmış ve nanoparçacık kümeleşmesini önlemek için ultrasonifikatör cihazı kullanılmıştır. Ultrasonifikatör cihazının amacı ultrasonik titreşimler meydana getirmektir. Tartım işlemi yapılan titanyum dioksit nano parçacığı baz akışkan olan su ile karıştırılarak elde edilen nanoakışkanın kararlılığının sağlanabilmesi için nanoakışkan 5 saat boyunca 63 Hz’lik frekansa ve 400 W’lık maksimum güce sahip Hiel Sher Up 400 ST ultrasonifikatör cihazında bekletilmiş ve karışımdaki titanyumdioksit nano parçacıklarının birbirine yaklaşmasını ve çökelmeyi engellemek için ise benzen sülfonat eklenerek Ika T25 digital homojenizatör cihazında mekanik olarak 3 saat boyunca 3000 dev/dak ile karıştırılmıştır. Nanoakışkanın hazırlanmasında yapılan işlemlere ait resimler gösterilmektedir. Deney setinde kullanılan nanoakışkanın hazırlanmasında kullanılan nano partiküllerin ve suyun termodinamik özellikleri Tablo 2’de, nanoakışkan hazırlama işlemine ait fotoğraflar Şekil 3’de verilmiştir.

Tablo 2. TiO₂ nanopartikül ve suyun termofiziksel özellikleri. (23°C).

Özellikler	TiO ₂	Su
ρ (kg/m ³)	4157	996
C_p (J/kgK)	710	4182
k (W/mK)	6,5	0,618
μ (mPa.s)	-	0,62

**Şekil 3.** Nanoakışkan hazırlama işlemine ait fotoğraflar.

Hazırlanan nanoakışkanların termal özellikleri, yığın sıcaklığında baz sıvı ve nanopartikül özelliklerinden hesaplanabilmektedir. Nanoakışkan yoğunluğu Pak ve Choi modeli ile tahmin edilebilmektedir [15].

$$\rho_{nf} = \emptyset \cdot \rho_n + (1 - \emptyset) \cdot \rho_f \quad (1)$$

$$C_{p,nf} = \frac{\emptyset \cdot (\rho_n \cdot C_{p,n}) + (1 - \emptyset) \cdot (\rho_f \cdot C_{p,f})}{\rho_{nf}} \quad (2)$$

Hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliği Maxwell-Garnet modeli kullanılarak belirlenebilmektedir [16].

$$k_{nf} = k_f \frac{k_n + 2k_f - 2\emptyset(k_f - k_n)}{k_n + 2k_f + \emptyset(k_f - k_n)} \quad (3)$$

Burada ρ , C_p ve k sırasıyla yoğunluk, özgül ısı ve termal iletkenliktir. n, f ve nf alt simgeleri sırasıyla nanopartikülleri, temel sıvıyı ve nano sıvıyı temsil eder. \emptyset , aşağıdaki denklem ile hesaplanabilen baz sıvının süspansiyon çözeltisindeki nanopartiküllerin hacimsel oranıdır[6].

$$\emptyset = \frac{m_n / \rho_n}{m_n / \rho_n + m_f / \rho_f} \quad (4)$$

Burada m_n ve m_f sırasıyla nanopartiküllerin ve baz sıvının kütesidir.

Isı transferi incelemesinde konvektif ısı transfer katsayısı deneysel veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Plakalı ısı eşanjörünün toplam ısı transfer katsayısı, sıcak ve soğuk akış için plakalı ısı eşanjörü etrafındaki ortama ısı kayıpları ihmal edilerek aşağıda yazıldığı gibi belirlenmektedir.

$$Q_c = \rho_c \dot{V}_c C_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (5)$$

$$Q_h = \rho_h \dot{V}_h C_{p,h} (T_{h,o} - T_{h,i}) \quad (6)$$

$$Q_{av} = \frac{Q_h + Q_c}{2} \quad (7)$$

Burada Q_h sıcak akışkandan verilen ısı Q_c ise soğuk akışkan tarafından emilen ısıdır. Q_{av} , plakalı ısı değiştiricide oluşan ısı alışverişinin ortalama değeridir.

Plakalı ısı değiştirici geometrisi, akışkanların giriş ve çıkışlarındaki sıcaklık değerleri ve Q_{av} , kullanılarak, ısı iletim katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır [17].

$$U = \frac{Q_{av}}{AFAT_{LMTD}} \quad (8)$$

$$A = N_T HW \quad (9)$$

H ve W plakaların sırasıyla yüksekliği ve genişliğidir. A ısı eşanjörünün toplam yüzey alanı ve N_T toplam plaka sayısıdır. F, karşı akım akışı durumunda 1'e eşit olan sıcaklık düzeltme faktörüdür [18]. ΔT_{LMTD} , aşağıdaki denklem ile hesaplanır [19].

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,o} - T_{c,i}) - (T_{h,i} - T_{c,o})}{\ln \frac{(T_{h,o} - T_{c,i})}{(T_{h,i} - T_{c,o})}} \quad (10)$$

Soğuk akışkanın Nu sayısı, farklı Reynolds ve Prandtl sayıları için Kumar denklemi ile hesaplanır [20-21].

$$Nu = 0,306Re^{0,529}Pr^{0,33} \quad 20 < Re < 400 \text{ için} \quad (11)$$

$$Nu = 0,562Re^{0,326}Pr^{0,33} \quad Re < 20 \text{ için} \quad (12)$$

Uygun termo-fiziksel özellikler kullanılarak Prandtl sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (13)$$

Sıcak (su veya nanoakışkan) ve soğuk akışlar için Reynold sayıları aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Re_h = \frac{\rho_h G_h D_h}{\mu_h} \quad (14)$$

$$Re_c = \frac{\rho_c G_c D_c}{\mu_c} \quad (15)$$

$$Pe = RePr \quad (16)$$

Pe, Peclet sayısı ve D_h ise aşağıdaki denklemle belirlenen hidrolik çapıdır.

$$D_h = \frac{2Wb}{(W+b)} \quad (17)$$

Yukarıda kullanılan G_c ve G_h kanalların içindeki soğuk ve sıcak akışların yüzeyel hızı olup aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

$$G_h = \frac{\dot{V}}{N_h W_b} \quad (18)$$

$$G_c = \frac{\dot{V}}{N_c W_b} \quad (19)$$

Soğuk akışkanın ısı transfer katsayısı (h_c) aşağıdaki denklemle elde edilir. k_c soğuk akışkanın ısı iletkenliğidir.

$$h_c = \frac{Nu k_c}{D_h} \quad (20)$$

Ayrıca, ısı değiştiricinin genel ısı transfer katsayısı (sıcak ve soğuk akışlardaki konvektif ısı dirençlerinin toplamı ve plakaların iletim direnci), aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_h} + \frac{\Delta x}{k} \quad (21)$$

U genel ısı transfer katsayısı, k plakaların ısı iletkenliği, Δx plakanın kalınlığı, h_c ve h_h sırasıyla soğuk ve sıcak (nanoakışkan) akışların konvektif ısı transfer katsayılarıdır. Hem laminer hem de türbülanslı bölgeler için plakalı ısı değiştirici içinde hesaplanan basınç düşüşü aşağıdaki denklemle hesaplanır [22].

$$\Delta P = \left(\frac{2fL_v N_p G^2}{\rho D_h} \right) + 1.4 \left(\frac{N_p G_p^2}{2\rho} \right) + \rho g(L_v + D_h) \quad (22)$$

N_p ve L_v , sırasıyla plakanın kenarlarındaki geçiş sayısı ve portlar arasındaki dikey uzaklıktır. G_p , giriş / çıkış portlarındaki yüzeyel hızdır ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$G_p = \frac{4\dot{V}}{\pi D_p^2} \quad (23)$$

D_p , bağlantı noktalarının çapıdır. Fanning sürtünme faktörü (f) aşağıdaki eşitlikle belirlenir [23].

$$f = \frac{K_p}{Re^m} \quad (24)$$

3 Bulgular

Yapılan çalışmada üç farklı akışkan kullanılmış olup, bu akışkanlar su, su içerisine hacimce %0,25 ve %0,5 hacimsel oranlarda TiO₂ eklenerek oluşturulan nanoakışkanlardır. Tablo 3'te deneyde farklı hacimsel oranlarda kullanılan TiO₂/su nanoakışkanın özellikleri verilmiştir.

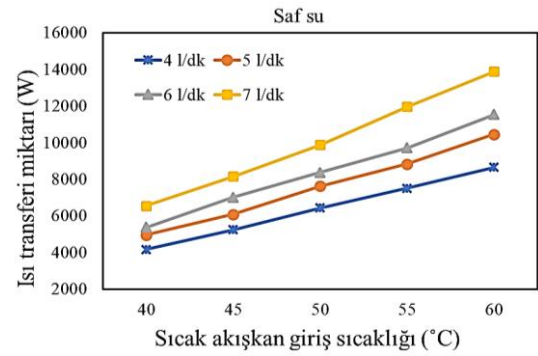
Tablo 3. TiO₂/su nanoakışkan özellikleri (23°C).

Φ	Isıl iletkenlik (W/mK)	Kinematik viskozite (mPa.s)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı kapasitesi (J/kgK)
0,25	0,620	0,64	1001	4095
0,5	0,627	0,66	1004	4105

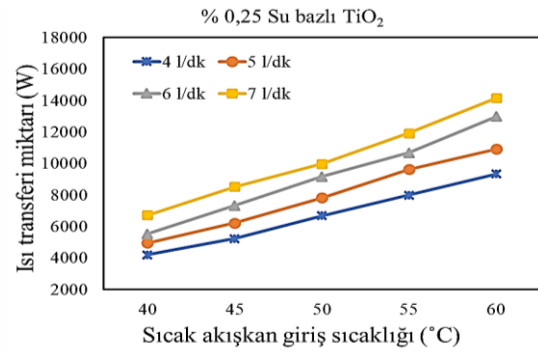
Deneyde soğuk akışkan debisi 4, 5, 6, 7 lt/dk olarak seçilmiştir. Her debi değeri için sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C, 45°C, 50°C, 55°C ve 60°C olduğu sabit sıcaklık değerlerinde ayrı ayrı deneyler yapılmış ve ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranları incelenmiştir. Toplam ısı transferinin hacimsel nanoakışkan oranına göre değişimi, farklı akışkan debileri için Şekil 4, Şekil 5 ve 6'da görülmektedir. Akışkan debisi 4, 5, 6 ve 7 lt/dk değerlerine ayarlanarak yapılan deneysel çalışmalarda hacimsel oranın artmasına bağlı olarak ısı transferi artmıştır. Ayrıca debinin artmasıyla da ısı transfer miktarı artmaktadır.

Suyla yapılan deneylerde en düşük ısı transferi miktarı, soğuk akışkanın debisinin 4 lt/dk olduğu, sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C olduğu deneyde 4156 W olarak hesaplanmış olup, en yüksek ısı transferi miktarı ise soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk olduğu ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C deneyde 13855 W olarak hesaplanmıştır. Hacimsel karışım oranı %0,25 olan

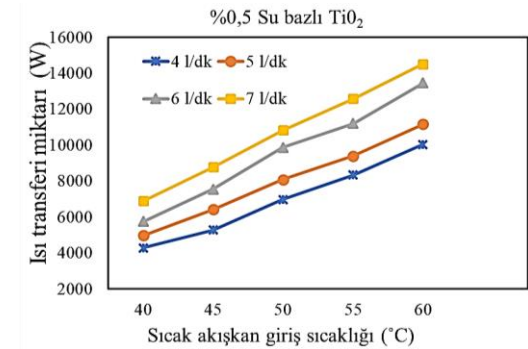
nanoakışkan ile yapılan deneylerde en düşük ısı transferi miktarı, soğuk akışkan debisinin 4 lt/dk olduğu ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C olduğu deneyde 4201W olarak hesaplanmış olup, en yüksek ısı transferi miktarı ise soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk olduğu ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C deneyde 14152W olarak hesaplanmıştır. Hacimsel karışım oranı %0,5 olan nanoakışkan ile yapılan deneylerde en yüksek ısı transferi miktarı soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk olduğu ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C deneyde 14508W olarak hesaplanmıştır. Literatür çalışmalarından elde edilen bilgilerle uyumlu olarak, nanoakışkanların ısı iletkenliğinin daha yüksek olması ısı transferi miktarının artmasına neden olmuştur [6].



Şekil 4. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında toplam ısı transferi miktarı değişimi (Su).

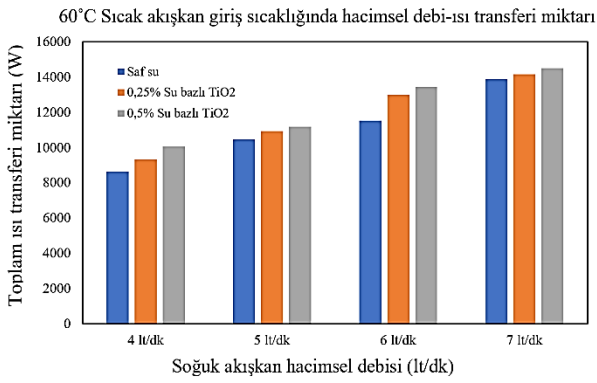


Şekil 5. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında toplam ısı transferi miktarı değişimi (%0,25 su bazlı TiO₂).



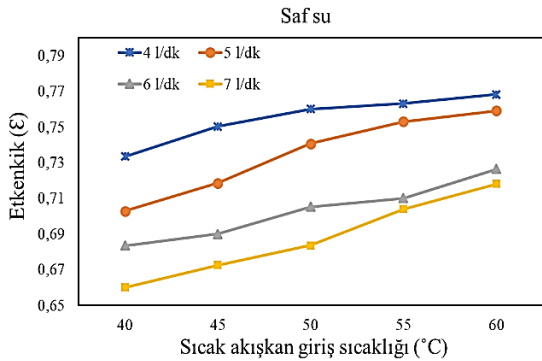
Şekil 6. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında toplam ısı transferi miktarı değişimi (%0,5 su bazlı TiO₂).

Şekil 7'de sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C, soğuk akışkan hacimsel debilerinin 4, 5, 6, 7 lt/dk olduğu durumda su bazlı akışkan, %0,25 ve %0,5 su bazlı TiO₂ için ısı transferi miktarları verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi en yüksek ısı transferi miktarları bütün debi değerlerinde %0,5 su bazlı TiO₂'de elde edilmiştir.



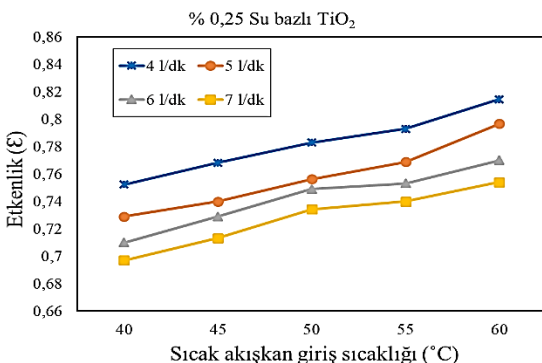
Şekil 7. 60°C Sıcak akışkan giriş sıcaklığı ve farklı soğuk akışkan debilerinde toplam ısı transferi miktarı değişimi.

Etkenlik değişimi, farklı akışkan debileri ve farklı hacimsel oranlar için Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 8'de suyun etkenliği incelendiğinde en yüksek etkenlik 4 lt/dk soğuk akışkan hacimsel debisinde ve sıcak akışkanın giriş sıcaklığının en yüksek olduğu 60°C değerinde ulaşılmıştır. En düşük etkenlik ise soğuk akışkanın hacimsel debisinin 7 lt/dk ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C olduğu durumda ulaşılmıştır. En yüksek ve en düşük değerler sırasıyla 0,660 ve 0,786 olarak hesaplanmıştır. Debi arttıkça etkenlik azalmaktadır.



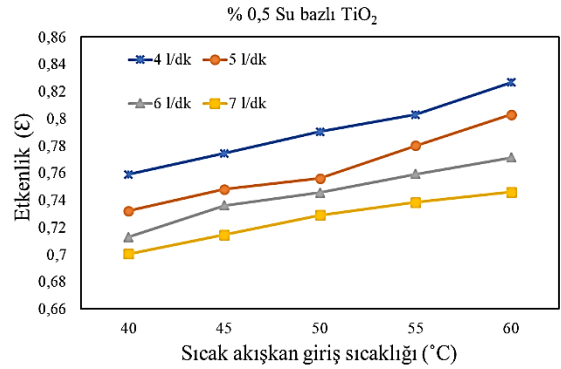
Şekil 8. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında etkenlik değişimi (Su).

Şekil 9'da görüldüğü gibi %0,25 hacimsel oranında su bazlı TiO₂ için yapılan deneylerde en yüksek etkenlik soğuk akışkanın hacimsel debisinin 4 lt/dk ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C olduğu değerde ulaşılmış olup bu değer 0,814 olarak bulunmuştur. En düşük değer ise 7 lt/dk soğuk akışkan debisinde ve sıcak akışkan sıcaklığının 40°C olduğu durumda 0,697 olarak tespit edilmiştir.



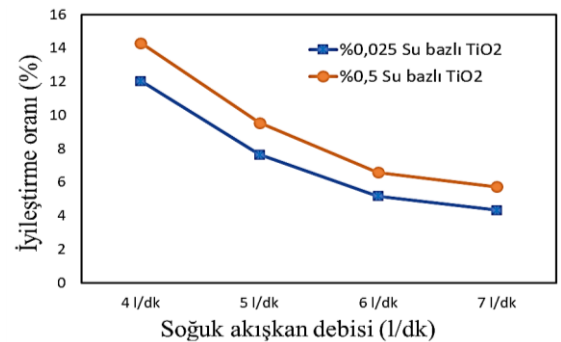
Şekil 9. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında etkenlik değişimi (%0,25 su bazlı TiO₂).

%0,5 hacimsel oranında su bazlı TiO₂ ile yapılan deneylerde Şekil 10 incelendiğinde en yüksek etkenlik soğuk akışkanın hacimsel debisinin 4 lt/dk ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C olduğu değerde ulaşılmış olduğu görülmekte olup ve bu değer 0,826 olarak hesaplanmıştır. En düşük değer ise 7 lt/dk soğuk akışkan debisinde ve sıcak akışkan sıcaklığının 40°C olduğu durumda 0,704 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 10. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında etkenlik değişimi (%0,5 su bazlı TiO₂).

Şekil 11'de soğuk akışkanın hacimsel debisinin farklı değerleri için %0,25 ve %0,5 hacimsel oranlı su bazlı TiO₂ için suya göre iyileştirme oranı verilmiştir. Hacimsel konsantrasyonu %0,5 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkan için soğuk akışkan debisinin 4 lt/dk olduğu durumda en yüksek iyileştirme oranı %14,3'tür. En düşük iyileştirme oranı 7 lt/dk hacimsel debi değerinde ve %5,72 olarak hesaplanmıştır. Hacimsel konsantrasyonu %0,25 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkan verileri incelendiğinde en yüksek değere soğuk akışkan debisinin 4 lt/dk olduğu durumda ulaşılmış olup bu değer %12,03'tür. En düşük değer ise soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk olduğu durumda %4,34 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 11. Farklı nanoakışkanlarda debiye bağlı iyileştirme oranı değişimi.

4 Sonuç

Yapılan bu çalışmada su içinde TiO₂ varlığının, ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla su içerisine hacimce %0,25 ve %0,5 oranında TiO₂ eklenmiş ve toplam ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek ısı transfer miktarına; nanoakışkanın hacimsel oranının %0,5, soğuk akışkanın hacimsel debisinin 7 lt/dk ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C olduğu deneylerde ulaşılmıştır. Etkenlik

ve iyileştirme oranları incelendiğinde ise ısı transferine paralel olarak en yüksek artışlar hacimsel karışım oranı %0,5 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkanının kullanıldığı deneylerde görülmektedir. Etkenlik için en yüksek değer 0,826 ve iyileştirme oranı için en yüksek değer % 14,3'tür.

Hacimsel karışım oranı %0,25 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkanının kullanıldığı deneylerde ise ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranı değerlerinde hacimsel karışım oranı %0,5 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkanla yapılan deneylere göre azalmalar, su ile yapılan deneylere göre iyileştirmeler görülmektedir.

Bu sonuçlara göre plakalı ısı değiştiricilerinde nanoakışkan kullanımının ısı performansını iyileştirdiği görülmektedir. Nanopartiküllerin maliyetlerinin yüksek olması ve nanoakışkanların hazırlık sürecinin hassas olması nanoakışkanların eşanjörlerde yaygın kullanılması önünde bir engeldir. Nanoakışkanların hazırlanması sürecinde baz akışkana eklenen nanopartikül miktarına göre yeterli sürfektan eklenmesi oldukça önemlidir. Ayrıca nanoakışkanlar hazırlanması işlemi çok önemli olup, karıştırma işleminin uygun yapılmaması nanopartiküllerin çökmesine neden olmaktadır. Bu nedenle kullanılacak nanoakışkanın özellikleri çok iyi araştırılmalıdır. Özellikle nanoakışkan üretiminde dikkat edilecek en önemli hususlardan biri hacimsel karışım oranı değerleridir. Bu değerlerin optimizasyonu için hem teorik olarak hem de deneysel çalışmalar yapılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışmayı (FYL-2020-2253) proje kodu ile destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Ateş, H. (2015). Nanoparçacıklar ve nano teller. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1),437-442.
- [2] Choi, S. U., & Eastman, J. A. (1995). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles* (No. ANL/MSD/CP-84938; CONF-951135-29). Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).
- [3] Kahveci, M., & Koca, T. (2021). Plaka tip ısı değiştiricide grafit/saf su nanoakışkan kullanımının ısı performansına etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 400-405.
- [4] Ahuja, A. S. (1982). Thermal design of a heat exchanger employing laminar flow of particle suspensions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 25(5), 725-728.
- [5] Taştan, G. (2022). *Dairesel borudaki zorlanmış taşınım ısı transferine nanopartikül şekil etkisinin sayısal olarak incelenmesi*. (Master's dissertation, Karabük University).
- [6] Kılıç, M., & Efeoğlu, M.(2022). Hareketli bir plakadan olan ısı transferinin farklı nanoakışkanlar ve çarpan jetle incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 115-127.
- [7] Karabulut, K., Buyruk, E., Kılınc, F. (2018). Grafen oksit parçacıkları içeren nanoakışkanın Isı transferi ve basınç düşüşü artışı üzerindeki etkisinin düz bir boruda deneysel olarak araştırılması. *Engineer and Machinery*, 690,45-67.

- [8] Haghshenas, F. M., Talaie, M. R., & Nasr, S. (2011). Numerical and experimental investigation of heat transfer of ZnO/water nanofluid in the concentric tube and plate heat exchangers. *Thermal Science*, 15, 183–94.
- [9] Kwon, Y., Kim, D., Li. C., Lee, J., Hong, D., & Lee, J. (2011). Heat transfer and pressure drop characteristics of nanofluids in a plate heat exchanger. *Journal of Nano Science and Nano Technology*, 11, 69–74.
- [10] Zamzamin, A., Oskouie, S. N., Doosthoseini, A., Joneidi, A., & Pazouki, M. (2011). Experimental investigation of forced convective heat transfer coefficient in nanofluids of Al₂O₃/EG and CuO/EG in a double pipe and plate heat exchangers under turbulent flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 495–502.
- [11] Varyenli, H. İ., & Sarı, Y. (2016). Magnezyum oksit ile saf suyun plaka tip ısı değiştiricideki ısı performanslarının deneysel incelenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(3), 147-170.
- [12] Selma, A., Ünal, A., Oktay, H., & Demiral, D. (2019). Boru demeti üzerinden geçen Al₂O₃-su nanoakışkanın pulsatif akışımın ısı transferine etkisi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 621-631.
- [13] Dan, H., Zan, W., & Bengt, S. (2016). Effects of hybrid nanofluid mixture in plate heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 72, 190-196.
- [14] Lee, J., Hwang, K.S., Jang, S. P., Lee, B. H., Kim, J. H., Choi, S. U. S., & Choi, C. J. (2008). Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al₂O₃ nanoparticle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, 2651-2656.
- [15] Pak, B.C., & Choi, Y. I. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particle. *Experimental Heat Transfer and International Journal*, 11 (2), 151–170.
- [16] Maxwell, J. C., & Garnett, J.C. (1904). Colours in metal glasses and in metallic films. *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 203, 385–420.
- [17] Hashmi, A., Tahir, F. and Hameed, U. (2011). Empirical Nusselt number correlation for single phase flow through a plate heat exchanger. *Recent Advances in Fluid Mechanics, Heat & Mass Transfer and Biology*, 2, 41–6.
- [18] Seyf, H. R., & Feizbakhshi, M. (2012). Computational analysis of nanofluid effects on convective heat transfer enhancement of micro-pin-fin. *International Journal of Thermal Sciences*, 58, 168–79.
- [19] Daungthongsuk, W., & Wongwises, S.A. (2007). Critical review of convective heat transfer of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5), 797–817.
- [20] Ayub, Z. H. (2003). Plate heat exchanger literature survey and new heat transfer and pressure drop correlations for refrigerant evaporators. *Heat transfer engineering*, 24(5), 3-16.
- [21] Kang, H. U., Kim, S. H., & Oh, M. (2006). Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle volume. *Experimental Heat Transfer*, 19, 181–91.
- [22] Amiri, A., Shanbedi, M., Amiri, H., Heris, Z., Kazi, S., & Chew, B. (2014). Pool boiling heat transfer of CNT/water nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 71 (1), 450–9.
- [23] Shokrgozar, M., Zeinali, H.S., Poorpharhang, S., Shanbedi, M., & Noie, S. (2014). Experimental study of heat transfer of a car radiator with CuO/ethylene glycol-water as a coolant. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 35, 677–85.



EFFECT OF INCREASED DOSES OF THREE MUSTARD OIL AND TWO TEA TREE OIL FORMULATIONS ON *CIMBEX QUADRIMACULATA*

Yunus Güral¹ , İnanç Özgen^{*2} , Errol Hassan³ , Mehmet Gürcan¹ 

¹Firat University, Faculty of Science, Department of Statistics, Elazığ, Turkey

²Firat University, Engineering Faculty, Bioengineering Department, Elazığ, Turkey

³School of Agriculture and Food Sciences, The University of Queensland Gatton, Queensland 4343, Australia

Abstract

Original scientific paper

The female of almond saw fly lays eggs in and on plant tissue in spring and summer time, once the eggs hatch the young larvae start to feed on the almond leaves, causing defoliation of the trees depending on the population levels. In this study; It is aimed to evaluate the effects of three mustard oil and two tea tree oil formulations used against larval stages of the almond insect pest *Cimbex quadrimaculata* (Müller, 1766) (*Hymenoptera: Cimbicidae*). The five botanical formulations were tested under laboratory conditions, using dipping method of 3 cm diameter almond leaves, which, were dipped five different doses and air dried before being offered to the first larval stages, including negative control using only water. Feeding and mortality rates of 240 larvae in total were followed up until the end of the pupal period and recorded. It was determined that the increased dose of the formulation containing mustard oil + allylthiocyanate monoethanolamine dissolved in non-ionic surfactants was more effective than other botanical formulations. The results of this study are important for almond organic pest management.

Keywords: *Cimbex quadrimaculata*, botanical formulations, increased dose, insecticidal effects.

ÜÇ HARDAL YAĞI VE İKİ ÇAY AĞACI YAĞI FORMÜLASYONLARININ ARTTIRILMIŞ DOZLARININ *CIMBEX QUADRIMACULATA* YA ETKİSİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Dişi badem yaprak arısı sineği, ilkbahar ve yaz döneminde, bitki dokusu içinde ve üzerinde yumurta bırakır, yumurtadan çıktıktan sonra genç larvalar badem yapraklarıyla beslenmeye başlar ve popülasyon seviyelerine bağlı olarak ağaçların yaprak dökülmesine neden olur. Bu çalışmada, badem böcek zararlısı *Cimbex quadrimaculata* (Müller, 1766) (*Hymenoptera: Cimbicidae*)'nin larva evrelerine karşı kullanılan üç hardal yağı ve iki çay ağacı yağı formülasyonunun etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Beş botanik formülasyon, laboratuvar koşullarında, sadece su kullanılarak negatif kontrol de dahil olmak üzere ilk larva aşamalarına sunulmadan önce beş farklı dozda daldırılan ve havayla kurutulan 3 cm çapında badem yaprakları daldırma yöntemi kullanılarak test edildi. Toplam 240 larvanın beslenme ve ölüm oranları pupa döneminin sonuna kadar takip edilerek kayıt altına alındı. İyonik olmayan sürfaktanlarda çözünmüş hardal yağı + allylthiocyanate monoethanolamine içeren formülasyonun artan dozunun diğer botanik formülasyonlara göre daha etkili olduğu belirlendi. Bu çalışmanın sonuçları badem organik zararlı yönetimi için önemlidir.

Anahtar Kelimeler: *Cimbex quadrimaculata*, botanik formülasyonlar, artan doz, böcek öldürücü etkiler.

1 Introduction

Almond production mostly is centered in Aegean, Mediterranean, Marmara, Southeast and Eastern Anatolia regions. There are major insect pests that affect yield and quality in almond orchards. Among these species, *C. quadrimaculata* was established as the major species causing about 51% damage to almond orchards (Figure 1). This polyphagous species being damages cherry, apricot, peach, pear, and especially almonds in the region

(Nizamlioğlu, 1961; Maçan, 1986; Russo et al., 1994). The larval stages chew the young leave margins first of the host plants, before feeding the other parts causing defoliation of the almond trees (Bolu et al., 2005; Bolu, 2016). There were yield differences between wild almond and cultivated almond varieties in eastern and southeastern Anatolia region (Özgen et al., 2021). The larvae given the same amount of fresh almond leaves for their daily diet changed their larval stage according to the effects of the initial doses of the herbal extract. As the

* Corresponding author.

E-mail address: inancozgen@gmail.com (İ. Özgen)

Received 17 March 2022; Received in revised form 27 September 2022; Accepted 03 October 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1081953>

larval stages develop further, the damage increases. It causes extensive damage to trees and effectively defoliates the trees in high populations (Bolu, 2016). Due to defoliation, unfortunately the next year's fruit buds do not develop and the damage is directly reflected on the next years' yield. Therefore, it can cause significant economic damage. Studies on pest control so far are limited. In controlling the pest, it is important to develop alternative methods to chemical control, especially to contribute to organic almond cultivation. For this purpose, the effectiveness studies of different formulations developed by BioAust and obtained from mustard oil and Australian tea trees were tested within the scope of The Scientific and Technological (TUBITAK) Research Project No: 118O124, and the results of this study are in the evaluation stage. To contribute to these studies, it is aimed to reveal what kind of change these formulations provide between pest nutrition and mortality parameters when mixed with each other. The results of the study are important in terms of almond integrated pest management studies. Due to botanical insecticides, do not affect the insect pests' parasitoids and their predators. Therefore, these formulations are easily can be used in IPM systems.



Figure 1. The Habitus of *Cimbex quadrimaculata* Müller,1766.

2 Material and Method

The studies were established with first larval stages collected from the non-sprayed almond orchards. Studies were carried out in a climate cabinet with 65% humidity and $25C \pm 2^{\circ}C$ and $30C \pm 2^{\circ}C$ temperature conditions, 16:8 lighting periods. These trials were carried out in the climate room of the Bioengineering Department between 01.09.2018 – 01.09.2021. The formulations used in the study and their codes are shown in Figure 2 and Table 1.



Figure 2. Plant extracts used in trials.

Table 1. F-Formulation Extracts used against *C. Quadrimaculata*.

Herbal Extract Code	Substance
F4	Mustard oil + monoethanolamine solubilized in nonionic surfactants
F7	Mustard oil + allylisothiocyanate monoethanolamine solubilized in nonionic surfactants
F8	Mustard oil+morpholene amid solubilized in nonionic surfactants
F9	Australian tea tree oil extracts + allylisothiocyanate + morpholene amid solubilized in nonionic surfactants
F10	Australian tea tree oil extracts + allothiocyante + monoethanolamine solubilized nonionic surfactants

In the study, leaf discs with a diameter of 3 cm were immersed in extract dilutions for 30 seconds and dried for 1-2 hours in a fume hood and placed on a filter paper (moist) in a plastic container (7 cm in diameter and 3 cm in height) in order not to dry the leaf. The extracts were obtained by mixing 6 different formulations at a certain rate. In the increase, the system in Table 2. was applied. 1 ml of each F insecticide was taken. Different formulations were obtained by increasing 1 ml in each formulation, and the differences of the mixture, which is prominent in the effectiveness of the drugs, compared to other formulations were revealed. Each formulation was mixed with 1 liter of distilled water and the solutions and times in which the leaves were soaked were adjusted equally. Leaf feeding areas were divided by the total area, and data on the percentage of the leaf on which the pest was fed were recorded. Five replications were used for each formulation. 10 1st instar *C. quadrimaculata* larvae were used in each replication and 10 controls were used for each formulation. Feeding and mortality rates of 240 larvae in total were followed up until the end of the pupal period and recorded.

Table 2. Increased formulation codes and doses.

Code	Dose
1	F9+F8+F7+F10+F4 (All of 1 ml)
2	F9 (2 ml), others 1 ml
3	F8 (2 ml), others 1 ml
4	F7 (2 ml), others 1 ml
5	F10 (2 ml), others 1 ml
6	F4 (2 ml), others 1 ml

3 Results and Discussion

It was shown that differences between formulations in Table 3. This is the first study on this pest. Therefore, the findings will contribute to the literature. The effects of the applied botanical formulations on the feeding behavior of *C. quadrimaculata* were investigated with the Kruskal-Wallis test. When Table 2. is examined, the statistical effect of botanical formulations on feeding behavior is significant ($p < 0.05$). The 4th formulation was statistically significantly higher than the 1st, 3rd, 5th, and 6th formulations ($p < 0.05$). The 2nd formulation was statistically significantly higher than the 5th formulation ($p < 0.05$).

Table 3. Kruskal-Wallis Test and Pairwise comparisons of formulation Grup.

Formulations	Mean \pm sd	N	Mean Rank	Test Statistic	p	Pairwise Comparisons	
						Sample 1- Sample 2	p
1	0.5 \pm 0.00	10	23,50	47,778	,000	1-4	,000 ^a
2	0.63 \pm 0.13	10	33,25			2-5	,000 ^a
3	0.5 \pm 0.00	10	23,50			3-4	,000 ^a
4	1 \pm 0.00	9	50,00			4-5	,000 ^a
5	0.13 \pm 0.05	6	3,50			4-6	,001 ^a
6	0.5 \pm 0.00	9	23,50				

a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests. The significant level is .05

Declaration

Ethics committee approval is not required.

References

- [1] Bolu, H., Özgen, İ., & Çınar, M. (2005). Dominancy of insect families and species recorded in almond orchards of Turkey. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 40(1-2), 145-157.
- [2] Bolu, H. (2016). Distribution, Life History and Biology of Almond Sawfly (*Cimbex quadrimaculata* (Müller, 1766), *Hymenoptera: Cimbicidae*). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 59, 219-222.
- [3] Özgen, İ., Bolu, H., & Güral, Y. (2021). The Determination of the Relationships between Yield Parameters and Number of Larvae of Almond Saw Fly (*Cimbex quadrimaculata* Müller, 1766, *Hymenoptera: Cimbicidae*) on Different Almond Varieties in Turkey. *Acta Entomology and Zoology*, 3(1), 26-29.
- [4] Maçan, G. (1986). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Bademlerde Zarar Yapan Böcek Türleri, Önemlilerinin Tanınmaları, Yayılışları ve Ekonomik Önemleri Üzerinde Araştırmalar. *Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Diyarbakır Bölge Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Araştırma Eserleri Serisi No:5*, Ankara, 82.
- [5] Nizamlıoğlu, K. (1961). Türkiye Ziraatinde Zararlı Olan Böcekler ve Mücadelesi. *Zirai Mücadele Enstitüsü*, İstanbul, 1-11, 510.
- [6] Russo, A, Siscaro G, Spampinato R.G. (1994). Almond Pests in Sicily. *Acta Horticulture (ISHS)*, 373, 309- 316.



INVESTIGATION OF APPLICATION TIME OF SOME INSECTICIDES USED AGAINST THE COMMON PISTACHIO PSYLLA AGONOSCENA PISTACIAE BURCKHARDT & LAUTERER, 1989 (HEMIPTERA: PSYLLIDAE)

Hakan Usanmaz^{*1}, M. Murat Aslan², İnanç Özgen³

¹Pistachio Research Institute, Gaziantep, Turkey

²Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Kahramanmaraş Sutcu İman University, Kahramanmaraş, Turkey

³Firat University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Turkey

Abstract

Original scientific paper

This study was carried out in Gaziantep (Oğuzeli) and Şanlıurfa (Birecik) provinces in 2016 in order to compare the application of the 4 most commonly used insecticides in the control of *Agonoscena pistaciae*, which has caused serious yield losses in the Southeastern Anatolia Region in recent years. In this study, which was carried out as biological activity trials, the trials were established in Gaziantep in may, and in Şanlıurfa in august. The standard pesticide trial method was used in the trials. In the study, the effective substances Deltamethrin, Thiamethoxam + Lambda-cyhalothrin, Cypermethrin and Lambda-cyhalothrin were tested. The trial was established with 3 replications and the license doses of the drugs and the control formed the characters of the trial. A parcel was taken as 3x3=9 trees. Nymph counts were made from the middle trees and were made before and on days 7, 14 and 21 after spraying. Counting results were evaluated according to the Henderson-Tilton formula over live nymph counts counted in each plot in leaf samples. While the same insecticides showed more than 90% biological activity in may; In the application in august, this rate fell below 90%. For an insecticide to be considered successful, it must have an effect of at least 90%. It is thought that the reason for this is the fumagin layer, which is densely present on the leaves in the second application.

Keywords: *Agonoscena pistaciae*, application time, biological activity, pesticide.

ANTEPFİSTİĞİ PSILLIDI AGONOSCENA PISTACIAE BURCKHARDT & LAUTERER, 1989 (HEMIPTERA: PSYLLIDAE)'NE KARŞI KULLANILAN BAZI İNSEKTİSİTLERİN UYGULAMA ZAMANININ ARAŞTIRILMASI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışma, antepfistiği bahçelerinde ciddi verim kayıplarına neden olan *Agonoscena pistaciae*'nin mücadelesinde en fazla kullanılan 4 insektisit farklı zamanlarda uygulanmasını karşılaştırmak amacıyla Gaziantep (Oğuzeli) ve Şanlıurfa (Birecik) illerinde 2016 yılında yürütülmüştür. Biyolojik etkinlik denemeleri şeklinde yürütülen bu çalışmada denemeler Gaziantep ilinde mayıs ayında kurulurken, Şanlıurfa ilinde ise ağustos ayında kurulmuştur. Biyolojik etkinlik denemeleri standart ilaç deneme metodlarına göre yapılmıştır. Çalışmada, Deltamethrin, Thiamethoxam + Lambda-cyhalothrin, Cypermethrin ve Lambda-cyhalothrin etkili maddeleri denemeye alınmıştır. Denemeler 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve ilaçların ruhsat dozları ve kontrol denemenin karakterlerini oluşturmuştur. Bir parsel 3x3=9 ağaç olarak alınmıştır. Nimf sayımları ortadaki ağaçlardan yapılmış ve ilaçlamadan önce, ilaçlamadan sonra ise 7, 14 ve 21. günlerde yapılmıştır. Sayım sonuçları, yaprak örneklerinde her parselde sayılan canlı nimf sayımları üzerinden Henderson-Tilton formülüne göre değerlendirilmiştir. Denemelerde kullanılan insektisitler mayıs ayında %90'ın üzerinde biyolojik etkinlik gösterirken; ağustos ayındaki uygulamada ise bu oran %90'ın altına düşmüştür. Bir insektisit başarılı sayılabilmesi için en az %90'lık bir etki göstermesi gerekmektedir. Bunun sebebinin ikinci uygulamada yapraklar üzerinde yoğun olarak bulunan fumajin tabakasının olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Agonoscena pistaciae*, biyolojik etkinlik, insektisit, uygulama zamanı.

* Corresponding author.

E-mail address: usanmazhakan@gmail.com (H. Usanmaz)

Received 05 April 2022; Received in revised form 27 September 2022; Accepted 06 October 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1098076>

1 Giriş

Pistacia türleri, kuzey ve güney yarım kürede 30-45° enlemleri arasındaki bölgelerde bulunmakta ve bu bölgelerin iklim koşullarına uygun mikroklimalarda yetişmektedir [1]. Antepfıstığı (*Pistacia vera* L.)'nin iki anavatanı olup, bunlardan birisi; Türkiye, Kafkasya, İran ve Türkmenistan'ın yüksek kısımlarını içine alan Yakın Doğu gen merkezi, diğeri ise Orta Asya gen merkezidir [2]. Ülkümen ve Özbek'e [3] göre ise, Antepfıstığının anavatanı ve kültür merkezi Türkiye, İran ve Afganistan'dır.

Dünyada Antepfıstığı'nın 2019 yılında üretimi 1.125.305 tondur. Amerika Birleşik Devletleri 474.004 ton üretim ile dünyada ilk sırada yer alırken, ülkemiz 296.376 ton ile ikinci sırada yer almaktadır. İran ise 190.000 ton üretimiyle üçüncü sıradadır [4]. Türkiye'de Antepfıstığı üretiminin %95'i ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılmaktadır [5].

Antepfıstığı alanlarında verim ve kaliteyi etkileyen faktörler içerisinde hastalık ve zararlıların önemli bir yeri vardır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, ülkemizde *Pistacia* türleri üzerinde önemli zararlara neden olan birçok böcek ve akar türünün olduğu tespit edilmiştir. Özer [6] Balıkesir ve Kütahya illeri yabancı Antepfıstığı alanlarında, Ulu ve ark. [7] Ege Bölgesi'nde, Çelik [8] Gaziantep'te, Günaydın [9] ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yaptıkları çalışmalarda 40'in üzerinde zararlı böcek ve akar türü olduğunu tespit etmişlerdir. Bu türlerden ancak 20 kadarının ekonomik anlamda zarar verdiği bilinmektedir. Bolu [10] Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yürüttüğü çalışmada antepfıstığı alanlarında toplam 30 familyaya ait 70 zararlı böcek türünden 8 tanesinin ekonomik önemde verim kayıplarına neden olduğunu bildirmiştir. Bu zararlı böcek türleri: *Agonoscena pistaciae* Burckhardt & Lauterer, 1989 *Sulamicerus (Idiocerus) stali* (Fieber), *Chaetoptelius vestitus* Mulsant & Rey, *Suturaspis pistaciae* Lindinger, *Pistacispis pistaciae* Archangelskaya, *Megastigmus pistaciae* Walker, *Kermania pistaciella* Amsel *Capnodis cariosa* Pallas olarak tespit etmiştir. Davatchi [11] İran'da, Antepfıstığı bahçelerinde yürüttüğü çalışmada ise zararlı böcek türlerinin %50 oranında ürün kayıplarına neden olduğunu bildirmiştir ve zararlı böcek türlerinin sebep olduğu kayıpların önemini ortaya koymuştur.

Bu söz konusu zararlı böcek türleri içerisinde Antepfıstığı psillidi, *Agonoscena pistaciae* Antepfıstığı üretilen alanlarda ana zararlı durumundadır. *Agonoscena pistaciae*'nin, ülkemizin yanısıra Afganistan, İran, Yunanistan, Ermenistan, Tacikistan, ülkelerinde de bulunan önemli bir zararlı böcek türü olduğu belirtilmiştir [12], [13], [14], [15], [16], [17]. Ülkemizde Antepfıstığı alanlarında zarar meydana getiren *A. pistaciae*'nin ayrı bir önemi vardır. Tokmakoğlu [18] *A. pistaciae*'nin Antepfıstığı alanlarının önemli bir zararlı olduğunu ve yapraklarda emgi yaparak beslendiğini belirtmektedir. Beslenme sonucunda yoğun yaprak dökülmelerine neden olmakla birlikte, bitkinin gelişimini yavaşlatmakta, aynı yılın verim kaybına neden olduğu gibi karagözleri dökerek bir sonraki yıl oluşacak ürüne de zarar vermektedir. Ayrıca Kaplan [19] yürüttüğü çalışmada önemli Psyllidae türlerinden olan *Euphyllura straminea* (Log.)'nin genellikle kimyasal mücadelenin yapılmadığı

zeytin bahçelerinde yoğunluğu ve zararının yıldan yıla arttığını ve sözkonusu zararlının ergin ve nimflerinin zeytin ağaçlarında sürgün, yaprak, tomurcuk, çiçek ve çiçek saplarındaki bitki özsuğunu sokup emerek bitki organlarının kurummasına ve dökülmesine neden olduğunu bildirmiştir. Amirzade ve ark. [20] İran'da neonicotinoid grubu 3 etkili maddenin *A. pistaciae* ve doğal düşmanları üzerine olan etkisi ile ilgili bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada acetamiprid, thiamethoxam ve imidacloprid etkili maddeleri ile biyolojik etkinlik denemeleri kurulmuş ve thiamethoxam'ın en iyi sonuçları verdiğini tespit etmişlerdir.

Antepfıstığı psillidi Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Antepfıstığı alanlarında ciddi zararlar meydana getirmiştir. Bu zararlı, 2000'li yıllarda tek ilaçlama ile kontrol altına alınabiliyorken popülasyonunun artması nedeniyle son yıllarda ilaçlama sayısı bazı yıllarda 6-7'ye kadar çıkmıştır. Fakat yapılan bu yoğun ilaçlamalara rağmen bazı bölgelerde *A. pistaciae* ile mücadelede başarı sağlanamamıştır. Üreticilerden gelen şikayetlerin başında, yapılan insektisit uygulamalarına rağmen zararlının popülasyonunda istenilen düşüşün sağlanmadığı gelmektedir.

Yapılan bu çalışma ile zararlıya karşı en çok kullanılan bazı insektisitler belirlenmiş, farklı zamanlarda uygulanarak etkili olup olmadıkları gözlemlenmiştir. Böylece üreticilerin uygulamayı zamanında yapıp yapmadıkları ve ilaçların zararlıya karşı etkisini yitirip yitirmediği belirlenmiştir.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Çalışmanın materyalini 25-30 yaşlarında verimdeki Antepfıstığı ağaçları, yapraklar üzerindeki *A. pistaciae* nimfleri, binoküler ve ilaçlama ekipmanları oluşturmuştur.

2.2 Metot

Denemelerin kurulacağı Antepfıstığı bahçeleri seçilirken toprak yapısı, ağaçların yaşı, çeşidi ve dikim aralıklarının homojen olmasına dikkat edilmiştir. Biyolojik etkinlik denemeleri kurulumunda zararlıya ait standart ilaç deneme metodu kullanılmıştır. Denemeler Gaziantep ilinin Oğuzeli ilçesi ile Şanlıurfa ilinin Birecik ilçesinde, zararlının popülasyonu ekonomik zarar eşiği olan bileşik yaprak başına 20-30 nimf ve üzerinde iken sabah rüzgarsız havada kurulmuştur. Birecik ilçesinde deneme 12.05.2016 tarihinde, Oğuzeli ilçesinde ise 05.09.2016 tarihinde kurulmuştur.

Denemeler tesadüf blokları deneme desenine göre kurulmuş ve 3x3=9 ağaç bir parsel olarak kabul edilmiştir. Çalışmada ilaçlamaların yapılmadığı kontrol parseli de oluşturulmuştur.

Tekerrür sayısı ise 4'tür. Denemede kullanılan insektisitler ile ilgili bilgiler ve uygulama dozları tablo 1'de verilmiştir. İnsektisitlerin seçiminde piyasada kullanım sıklıklarına dikkat edilmiştir. Nimf sayımları için her parselde ortadaki ağaçlardan uygun bulaşıklık gösteren, etiketli 10 sürgünde, 10 adet yaşlı ve 10 adet genç bileşik yaprak örneği alınmıştır.

Alınan yaprak örnekleri buz kutusu içerisinde laboratuvara getirilmiş ve canlı nimf sayımları yapılmıştır. Sayımlar, örneklerin alındığı gün yapılmış ve ilaçlamadan önce bir kez, ilaçlamadan sonra ise 7, 14 ve

21. günlerde olmak üzere toplam dört kez yapılmıştır. Sayım sonuçları, yaprak örneklerinde her parselde sayılan canlı nimf sayımları üzerinden Henderson-Tilton formülüne göre değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Denemelerde kullanılan insektisitlere ait bilgiler.

Ticari adı	Firması	Etkili Madde Adı ve Oranı	Formülasyonu	Doz
Decis 2.5	Bayer Türk	Deltamethrin 25g/l	EC	30 ml/ 100 ml su
Eforia 247	Syngenta	Thiamethoxam 141 g/l + Lambda cyhalothrin 106 g/l	SC	15 ml/ 100 ml su
Kung-Fu 5	Koruma Klor Alkali	Lambda-cyhalothrin 50g/l	EC	20 ml/ 100 ml su
İmparator	Syngenta	Cypermethrin 250 g/l	EC	25 ml/ 100 ml su

3 Bulgular ve Tartışma

Agonoscaena pistaciae'a karşı Şanlıurfa ili Birecik ilçesinde zararlının ilk çıkış yapmaya başladığı dönem olan Mayıs ayında kurulan biyolojik etkinlik denemelerinden elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Denemenin yürütüldüğü bahçede bulunan ağaçlar üzerinden henüz fumajin tabakası oluşmamıştır.

Tablo 2. incelendiğinde Thiamethoxam + Lambda cyhalothrin etkili maddesi 15 ml/100 l su dozunda

ortalama olarak 7. günde %93.1, 14. günde %94.4 ve 21. günde ise %92.8'lik bir etkinlik oranı göstermiştir.

Lambda cyhalothrin etkili maddesi 20 ml/100 l su dozunda ortalama olarak 7. günde %92.8, 14. günde %95, 21. günde %91.9 biyolojik etkinlik göstermiştir. Deltamethrin etkili maddesi 30 ml/100 l su dozunda ortalama olarak 7. günde %94.4, 14. günde %95.5 ve 21. günde ise %93.6'lık etkinlik göstermiştir. Cypermethrin etkili maddesi ise 25 ml/100 l su dozunda 7. günde %92.66, 14. günde %93.5 ve 21. günde %91.8'lik bir başarı oranı sağlamıştır.

Tablo 2. Birecik ilçesinde kurulan biyolojik etkinlik denemesine ait sonuçlar.

Kullanılan Etkili Madde	Tekerrür	Sayımlar				% Biyolojik Etki (Henderson-Tilton)		
		Ön Sayım (12.05)	7.gün (19.05)	14.gün (26.05)	21.gün (02.06)	7. Gün	14.Gün	21.Gün
Thiamethoxam 141 g/l + Lambda- cyhalothrin 106 g/l	1	639	47	38	52	93,14	94,54	92,6
	2	1272	89	77	99	92,72	94,29	92,83
	3	917	68	59	75	93,06	94,43	93,13
	4	1105	74	69	90	93,66	94,35	92,89
	Ort.	983,25	69,5	60,75	79	93,145	94,4025	92,8625
Lambda- cyhalothrin 50g/l	1	1132	81	69	96	93,33	94,4	92,29
	2	351	29	16	39	92,08	95,7	90,29
	3	1088	76	59	90	93,47	95,3	93,05
	4	1102	88	64	101	92,44	94,75	92
	Ort.	918,25	68,5	52	81,5	92,83	95,0375	91,9075
Deltamethrin 25g/l	1	1220	66	55	71	94,96	95,86	94,41
	2	1093	74	61	88	93,51	94,74	92,58
	3	517	34	29	44	93,85	95,14	92,85
	4	794	38	32	48	95,47	96,36	94,72
	Ort.	906	53	44,25	62,75	94,4475	95,525	93,64
Cypermethrin 250 g/l	1	904	66	60	71	93,19	93,9	92,86
	2	537	48	44	55	91,43	92,27	90,56
	3	965	66	59	84	93,6	94,71	92,68
	4	949	76	72	96	92,42	93,14	91,17
	Ort.	838,75	64	58,75	76,5	92,66	93,505	91,8175
Kontrol	1	1106	1186	1204	1216			
	2	964	1006	1022	1046			
	3	737	788	851	877			
	4	944	997	1044	1081			
	Ort.	937,75	994,25	1030,25	1055			

Birecik ilçesinde kurulan Biyolojik deneme sonuçlarına bakıldığında denemeye alınan tüm insektisitlerin %90 başarı kriterini geçtiği görülmektedir.

Agonoscaenapistaciae'ye karşı Gaziantep ili Oğuzeli ilçesinde ise ağustos ayında kurulan biyolojik etkinlik denemelerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3'te

verilmiştir. Denemenin kurulduğu Antepfıstığı bahçesinde zararlıya karşı daha önce herhangi bir ilaçlama yapılmadığı için yapraklarda fumajin madde birikimi mevcuttur.

Tablo 3 incelendiğinde Thiamethoxam + Lambda cyhalothrin etkili maddesi 15 ml-100 L. su dozunda ortalama olarak 7. günde %83.3, 14. günde %85.2 ve 21. günde ise %83.6'lık bir etkinlik oranı göstermiştir.

Lambda cyhalothrin etkili maddesi 20 ml-100 L. su dozunda ortalama olarak 7. günde %78.8, 14. günde, %81.5, 21. günde %79.2 biyolojik etkinlik göstermiştir.

Deltamethrin etkili maddesi 30 ml-100 L. su dozunda ortalama olarak 7. günde %75.7, 14. günde %80.3 ve 21. günde ise %79.1'lik etkinlik göstermiştir. Cypermethrin etkili maddesi ise 25 ml-100 L. su dozunda 7. günde %82.4, 14. günde %84.3 ve 21. günde %81.87'lik bir başarı oranı sağlamıştır.

Tablo 3. Oğuzeli ilçesinde kurulan biyolojik etkinlik denemesine ait sonuçlar.

Kullanılan Etkili Madde	Tekerrür	Sayımlar				% Biyolojik Etki (Henderson-Tilton)		
		Ön Sayım (12.05)	7.gün (19.05)	14.gün (26.05)	21.gün (02.06)	7. Gün	14.Gün	21.Gün
Thiamethoxam 141 g/l + Lambda- cyhalothrin 106 g/l	1	1262	166	137	171	87,38	89,84	87,62
	2	805	139	124	148	83,3	85,6	83,27
	3	1106	209	199	217	82,23	83,21	82,14
	4	1036	211	194	209	80,58	82,52	81,67
	Ort.	1052,25	181,25	163,5	186,25	83,373	85,29	83,68
Lambda- cyhalothrin 50g/l	1	1070	334	279	325	70,06	75,59	72,25
	2	1024	246	228	249	76,76	79,19	77,87
	3	1114	159	144	166	86,58	87,64	86,42
	4	1153	225	203	246	78,92	83,57	80,61
	Ort.	1090,25	241	213,5	246,5	78,08	81,5	79,29
Deltamethrin 25g/l	1	1273	305	269	296	77,02	80,21	78,75
	2	1219	227	204	231	78,02	84,36	82,75
	3	1040	283	244	256	74,41	78,11	77,57
	4	1022	288	232	254	73,41	78,81	77,41
	Ort.	1138,5	275,75	237,25	259,25	75,715	80,37	79,12
Cypermethrin 250 g/l	1	1475	304	286	311	80,23	81,85	80,73
	2	1007	152	133	177	85,4	87,66	84
	3	1297	259	241	274	81,22	82,66	80,75
	4	1139	206	179	226	82,76	85,33	81,98
	Ort.	1229,5	230,25	209,75	247	82,403	84,38	81,87
Kontrol	1	1176	1226	1256	1287			
	2	973	1006	1041	1069			
	3	1088	1157	1166	1194			
	4	1205	1264	1291	1326			
	Ort.	1110,5	1163,25	1188,5	1219			

Biyolojik etkinlik denemeleri sonuçlarında kullanılan tüm etkili maddelerin Antepfıstığı psillidine karşı kimyasal mücadelede kullanılabileceği ortaya konmuş olup Ağustos ayında kurulan denemede bahçedeki ağaçların yaprakları üzerinde fumajin birikmesi olduğundan dolayı denenen etkili maddelerin biyolojik etkinliği %90'ın altına düştüğü ortaya konulmuştur. Bu durum bize zararlı ile kimyasal mücadele yapılacaksa kesinlikle geç kalınmaması gerektiğini göstermiştir. Geç kalındığı takdirde yapraklar üzerinde zararlının oluşturduğu fumajin tabakasının insektisitlerin bitki bünyesine alınmasını azalttığı ya da zararlının nimfleri ile temasını azalttığı düşünülmektedir. Antepfıstığı psillidi ile aynı familyada yer alan Armut psillidi mücadelesinde de kimyasal mücadele mutlaka fumajin tabakasının oluşmasından önce tavsiye edilmekte ve fumajin oluşumundan sonra yapılan mücadelede insektisitlerin etkinliğinin çok düştüğü bildirilmektedir [21]. Kimyasal mücadeleye geç kalındığı takdirde eğer yapraklar üzerinde fumajin tabakasının olduğu durumlarda ilaçlama yapılmadan önce su ile yaprakların yıkanması tavsiye edilebilir. Mayıs ayından itibaren Antepfıstığı bahçelerinde haftalık olarak yapılacak gözlemlerde 100 bileşik yaprakta ortalama 20-30 nimf görüldüğü takdirde

ruhsatlı bir bitki koruma ürünü ile zararlının mücadelesinde başarı sağlanacağı belirlenmiştir. Hassani ve ark.[22] 'nın İran'da yürüttüğü bir çalışmada zararlının zarar eşliğinin yaprak başına 7.7-30.7/nimf olarak ortaya koymuş olup; bu değerlerin sıcaklık, nem, ürün fiyatı, verim gibi birçok değişkene bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Üreticilerimiz Nisan-Mayıs'ın gelmesiyle birlikte bazı bölgelerde doğada herhangi bir zararlı olmamasına rağmen ilaçlama yaptıkları gözlemlenmiştir. Yapılan bu gereksiz uygulamalar doğal dengeyi bozduğu gibi ekonomik anlamda da üreticilere külfet getirmektedir. Bu yüzden zararlılar ile mücadelede zararlıyı ya da etkilerini görmeden, ekonomik zarar eşğine ulaşmadan mücadele yapılmaması gerekmektedir. Tüm bunların yanında zararlı ile mücadelede kimyasal kullanımının azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla doğayla dost kimyasallar kullanımı ile biyolojik ve biyoteknik mücadele yöntemlerinin de zararlı popülasyonunu azalttığı bilinmektedir. Saour [23] yürüttüğü bir çalışmada kaolin parçacık filmi ve seçilen sentetik insektisitlerin fıstık psyllidi *A. targionii* mücadelesinde kullanım olanakları hakkında bir çalışma yürütmüştür. Çalışma sonunda, kaolin parçacık film teknolojisinin antepfıstığı psyllidine karşı alternatif yöntem olarak kullanılabileceğini ortaya

koymuştur. Özgen ve ark [24] antepfıstığı zararlısı olan *A. pistaciae*' ya karşı sarı renkli yapışkan tuzakların etkinliğini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre sarı renkli tuzakların farklı tonlarının farklı oranda çekim etkinliğine sahip olduğu ortaya konulmuştur. Bu sarı renkli yapışkan tuzakların zararlının mücadelesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

4 Sonuçlar

Gaziantep ve Şanlıurfa illerinde kurulan biyolojik etkinlik denemelerinde; Deltamethrin, Thiamethoxam + Lambda-cyhalothrin, Cypermethrin ve Lambda-cyhalothrin etkili maddelerini içeren insektisitlerin *A. pistaciae* mücadelesinde geç kalınmadığı takdirde başarılı olduğu bu çalışma ile tespit edilmiştir. Ayrıca zararlı ile en uygun mücadele zamanının yapraklar üzerinde fumajin tabakası oluşmadan önce olduğu belirlenmiştir. Mayıs ayından itibaren Antepfıstığı bahçelerinde haftalık olarak yapılacak gözlemlerde 100 bileşik yaprakta ortalama 20-30 nimf görüldüğü takdirde ruhsatlı bir bitki koruma ürünü ile zararlının mücadelesinde başarı sağlanacağı ortaya konmuştur. Üreticilerimiz Nisan – Mayıs aylarının gelmesiyle birlikte bazı bölgelerde bahçelerinde söz konusu zararlı olmamasına rağmen ilaçlama yaptıkları görülmüş olup, yapılan bu gereksiz uygulamaların doğal dengeyi bozduğu gibi ekonomik anlamda da üreticilere külfet getirdiği bilinmektedir. Bu yüzden zararlılar ile mücadelede zararlıyı görmeden ve zararlının popülasyonunun ekonomik zarar eşiğine ulaşmadan önce kimyasal uygulamalar yapılmaması gerekmektedir.

Ayrıca *A. pistaciae* ile mücadelede biyolojik ve biyoteknik mücadele yöntemlerinin kullanımı hakkında detaylı çalışmaların yapılması faydalı olacaktır.

Bilgilendirme

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

References

- [1] Bilgen, A. M. (1973). Antepfıstığı. *Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Yayını*, 123.
- [2] Ayfer, M. (1959). Antepfıstığının döllenme biyolojisi üzerinde araştırmalar. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 148, 103.
- [3] Ülkümen, I. S (1950). Modern Meyvecilik. *Ankara Üniversitesi Basımevi*, Ankara. s, 362.
- [4] Fao (2020). Retrieved January 30, 2022 from <http://www.fao.org/faostat/en/>.
- [5] TÜİK (2021). Retrieved January 11, from <https://Biruni.Tuik.Gov.Tr/Bitkiselapp/Bitkisel.Zul>.
- [6] Özer, M. (1958). Balıkesir ve Kütahya vilayetlerindeki yabani Antepfıstıklarında rastlanan bazı zararlılar üzerinde incelemeler. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı*, 8(2), 111-120.
- [7] Ulu, O., Zümreoğlu, A., & San, S. (1972). Ege Bölgesinde Antepfıstığı Zararlıları İle Bunların Parazit ve Predatörleri Üzerinde Ön Çalışmalar. *Zirai Mücadele Araştırma Yıllığı*, 6, 55.

- [8] Çelik, M. Y. (1992). Insecticide trials on (*Agonoscaena targioni* Licht.) injurious on pistachio trees in the Mediterranean region of Turkey. *Zirai Mücadele Araştırma Yıllığı*, (22-23), 49-50.
- [9] Günaydın, T. (1978). Investigations on Insect Species, Biology, Descriptions, *Spread and Economical Importation pistachio areas in Southeastern Anatolia Region Turkey* (E. Ü. Agricultural Faculty Plant Production).
- [10] Bolu, H. (2002). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Antepfıstığı Alanlarındaki Böcek ve Akar Faunasının Saptanması. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 26(3), 197-208.
- [11] Davatchi, G. A. (1958). Biology of the insect fauna of cultivated and wild Pistacia. *Revue de Pathologie Vegetale*, 37(1), 3-166.
- [12] Burckhardt, D., & Lauterer, P. (1993). The jumping plant-lice of Iran (Homoptera, Psylloidea). *Revue Suisse de zoologie*, 100(4), 829-898.
- [13] Mart, C., Erkilic, L., Bolu, H., Uygun, N., & Altın, M. (1994, September). Species and pest control methods used in pistachio orchards of Turkey. *International Symposium on Pistachio* 419 (pp. 379-386).
- [14] Lauterer, P., Broumas, T., Drosopoulos, S., Souliotis, C., & Tsourgianni, A. (1998). Species of the genus *Agonoscaena* (Homoptera, Psyllidae), pests on Pistacia and first record of *A. pistaciae* in Greece. *In Annales de l'Institut phytopathologique Benaki*, 18(2), 123-128.
- [15] Mehrnejad, M. R. (2001). The current status of pistachio pests in Iran. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 56(1), 315-322.
- [16] Mehrnejad, M. R. (2010). Potential biological control agents of the common pistachio psylla, *Agonoscaena pistaciae*, a review. *Entomofauna*, 31(21), 317-340.
- [17] Maryanska-Nadachowska, A. (2002). A review of karyotype variation in jumping plant-lice (Psylloidea, Sternorrhyncha, Hemiptera) and checklist of chromosome numbers. *Folia Biol*, 50(3-4), 135-152.
- [18] Tokmakoğlu, C. (1973). The studies on some features of biology and control methods of *Agonoscaena targionii* Licht. *Bitki Koruma Bülteni*, 13(2).
- [19] Kaplan, M. (2019). Mardin ili zeytin bahçelerinde zararlı olan böcek türleri, yayılışları ve yoğunlukları. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(4): 1901-1907.
- [20] Amirzade, N., Izadi, H., Jalali, M. A., Zohdi, H. (2014). Evaluation of three neonicotinoid insecticides against the common pistachio psylla, *Agonoscaena pistaciae*, and its natural enemies. *Journal of Insect Science*, 14(1), 35.
- [21] Anonymous, (2021). Antepfıstığı Entegre Mücadele Teknik Talimatı. *Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Bitki sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı*, Ankara.
- [22] Hassani, M. R., Nouri-Ganbalani, G., Izadi, H., Shojai, M., & Basirat, M. (2009). Economic injury level of the psyllid, *Agonoscaena pistaciae*, on pistachio, *Pistacia vera* cv. Ohadi. *Journal of Insect Science*, 9(1), 40.
- [23] Saour, G. (2005). Efficacy of kaolin particle film and selected synthetic insecticides against pistachio psyllid *Agonoscaena targionii* (Homoptera: Psyllidae) infestation. *Crop Protection*, 24(8), 711-717.
- [24] Özgen, İ., Ayaz, T., Mutlu, Ç., Bolu, H. 2013. The Capture Effects of Yellow Stuck Traps in The Different Wavelengths to The Adults of *Agonoscaena pıstaciae* Burc.&Laut. (Hemiptera: Psyllidae) From Turkey. *Mun. Ent. Zool*, 8 (1), 486-492.



OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS USING TAGUCHI METHOD IN PRODUCTION OF Ti6Al4V ALLOY BY SLM METHOD

Dilara Selma Aydın^{*1}, Arif Lütfi Özsoy¹, Çağrı Vakkas Yıldırım²

¹Erciyes University, Institute of Science and Technology, Kayseri, Turkey

²Erciyes University, Faculty of Aviation and Space Sciences, Kayseri, Turkey

Abstract

Original scientific paper

The additive manufacturing method offers significant improvements in the production of parts with complex geometries, which are difficult or impossible to produce with traditional manufacturing methods. However, the question of whether the output quality is at the desired level remains up-to-date. Therefore, obtaining the optimum production parameters is very important in order to increase the output quality. In this study, a series of experiments were carried out using different process parameters of Ti6Al4V alloy produced by Selective Laser Melting (SLM) method. Thus, it is aimed to examine the effect of four different parameters and their levels on the surface quality. During the analysis of the surface quality, the average surface roughness (Ra) was determined as the output parameter. Experimental design was carried out using the Taguchi L16 vertical array. ANOVA analysis was performed to show the effect of process parameters on the result. With the analysis of the test results, a surface roughness value of 7.773 μm was obtained by using the combination of 75 μm laser focal diameter, 60 μm scanning distance, 150 mm/s scanning speed and 250 W laser power for the best surface roughness value.

Keywords: Additive manufacturing, selective laser melting, surface quality, Ti6Al4V, Taguchi method.

Ti6Al4V ALAŞIMININ SLM YÖNTEMİYLE ÜRETİLMESİNDE TAGUCHİ METODU KULLANILARAK PROSES PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Özet

Orijinal bilimsel makale

Eklemeli imalat yöntemi, geleneksel imalat yöntemleriyle üretimi zor ya da mümkün olmayan, karmaşık geometriye sahip parçaların üretiminde önemli iyileştirmeler sunmaktadır. Ancak, çıktı kalitesinin istenilen seviyede olup olmadığı sorusu güncelliğini korumaktadır. Dolayısıyla, optimum üretim parametrelerinin elde edilmesi çıktı kalitesini artırmak adına oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Seçici Lazer Ergitme (SLM) yöntemiyle üretilmiş Ti6Al4V alaşımının farklı proses parametreleri kullanılarak bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Böylece, dört farklı parametre ve seviyelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yüzey kalitesinin analizi sırasında ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) çıktı parametresi olarak belirlenmiştir. Deney tasarımı, Taguchi L₁₆ dikey dizini kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Proses parametrelerinin sonuç üzerindeki etkisini göstermek için ANOVA analizi yapılmıştır. Deney sonuçlarının analiziyle birlikte, en iyi yüzey pürüzlülüğü değerinin 75 μm lazer odak çapı, 60 μm tarama mesafesi, 150 mm/s tarama hızı ve 250 W lazer gücü kombinasyonu kullanılarak 7.773 μm yüzey pürüzlük değeri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, seçici lazer ergitme, Ti6Al4V, Taguchi metodu, yüzey kalitesi.

1 Giriş

Titanyum, ilk olarak 1791 yılında William Gregor tarafından keşfedilen ve siyah kumlardan beyaz metal oksit ayrıştırılarak elde edilen bir metaldir [1,7,10]. Titanyum ve alaşımları, günümüzde havacılık ve uzay başta olmak üzere sağlık, kimya, denizcilik, spor gibi sektörlerde önemli bir yere sahiptir [1,4]. Titanyum alaşımları arasında en çok tercih edilen alaşım Ti6Al4V'dir [36]. Bu alaşımı diğer malzemelere nazaran ön plana çıkaran özellikleri yüksek

dayanım sağlarken yoğunluğunun düşük olması, düşük elastik modülü ve termal iletkenliği, yüksek sıcaklık dayanımı, mükemmel korozyon direnci ve kompozit yapı malzemeleriyle rekabet edici özelliklere sahip olması şeklinde sıralanabilir [1,4,23,37]. Ti6Al4V alaşımları genellikle geleneksel imalat yöntemleriyle üretilmektedir. Bu parçaların geleneksel imalatı, hammadde malzemenin dövme, döküm ve haddeleme işlemlerinin ardından son şekil ve boyutlandırılmasına kadar devam eden bir süreçtir. Ancak, bu yöntemde üretim sürecinde yüksek miktarda

* Corresponding author.

E-mail address: dilaraa801@gmail.com (D. S. Aydın)

Received 05 April 2022; Received in revised form 02 July 2022; Accepted 10 July 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1099019>

atık malzeme oluşmakta ve üretimin maliyeti artmaktadır [4,18]. Üretimde geleneksel imalatın getirdiği dezavantajların yanı sıra, işlenmesi de oldukça zor bir metaldir. Bu durumun sebebi alaşımın zayıf termal iletkenliği ve mukavemetinin yüksek olmasından kaynaklı parça ve kesici uç arasında yüksek sıcaklıkların meydana gelmesidir. Böylelikle, plastik deformasyon ve malzemenin şekillendirilmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca, yüksek sıcaklık değerlerinde bu alaşımlar kesici uç ile kimyasal tepkimeye girmekte ve takım ucunda yüksek sıcaklık değerleri oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durumun sonucunda kesici uçta hız aşınma meydana gelmekte ve talaşlı imalat sırasında oluşan titreşimler parçanın yüzey kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir [7,9,18,26]. Geleneksel imalatta karşılaşılan bu zorluklar neticesinde alternatif bir üretim yöntemi olan eklemeli imalat yöntemi kullanılmaktadır.

Eklemeli imalat ham malzemenin katmanlar halinde biriktirilerek üretildiği yeni nesil bir imalat yöntemidir [11,34,36]. Bu yöntemde ham malzemedan talaş kaldırmak yerine toz malzeme üst üste eklenerek birleştirilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Bu durum, eklemeli imalat yöntemini geleneksel imalattan ayıran en önemli faktördür [3,13,20]. Eklemeli imalat yöntemi karmaşık geometrik şekilli parçaların üretimini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, tasarım özgürlüğü sağlamakta, hafif yapıların üretimine imkân vermekte ve parçalar bütün olarak üretildiğinden montaj gereksinimini ortadan kaldırarak önemli iyileştirmeler sunmaktadır. Eklemeli imalat, geleneksel imalat yöntemleriyle karşılaştırıldığında sağladığı avantajlar nedeniyle tercih edilebilir bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [11,25,34]. Eklemeli imalat yöntemleri arasında seçici lazer ergitme (SLM), metal tozların tamamen ergitilmesiyle yüksek yoğunluğa sahip parçaları üretmek için oldukça uygun bir yöntemdir. Üretilen parçaların yoğunluğu ergimiş toz tanelerinin iyi bir şekilde birleştirilmesine bağlıdır. Ayrıca, geleneksel imalat yöntemleriyle karşılaştırılabilir mekanik özelliklere ulaşılabilir. Bu nedenle eklemeli imalat yöntemleri arasında en çok tercih edilen yöntemdir [14,28,33,35,39]. SLM yöntemi, yüksek yoğunluklu lazer güç kaynağı yardımıyla metal toz malzemenin katman katman ergitilip birleştirilerek üç boyutlu parçanın net şekle yakın üretilmesi prensibine dayanmaktadır [24,36]. Yöntem, yüksek mekanik özelliklere, yüksek yoğunluğa ve karmaşık geometrik yapı parçalarının üretiminde verimli olduğu kadar malzeme ve maliyet açısından da önemli iyileştirmeler sağlamaktadır [8]. Bu yöntemin sunduğu en ilgi çekici özelliklerden biri, işlem parametrelerini ayarlayarak parçanın mikro yapısının belirli bir oranda uyarlanmasına imkân sağlamaktır. SLM yönteminde üretilen parçalara hızlı bir şekilde soğutma işlemi uygulanmaktadır. Bu durum, üretilen parçaların mekanik özelliklerini iyileştirmektedir [14,32]. Ayrıca SLM yöntemi, yüksek ölçü hassasiyeti gerektiren parçaların üretimine de olanak sağlamaktadır [22]. Yöntemin getirdiği dezavantaj ise, yüksek sıcaklık değişim ve yoğunlaştırma oranı, yüksek miktarda iç gerilmelere ya da parça bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir [16]. Sürece özgü meydana gelen pürüzlü yüzey parçaların kullanımına sınırlamalar getirmektedir [8]. Yüzey pürüzlülüğünü kullanılan toz malzemenin partikül boyutu, üretim

sırasında parçanın katman kalınlığı, uygulanan lazerin gücü ve tarama parametreleri etkilemektedir. Bu nedenle malzemenin ve işlem parametrelerinin doğru belirlenmesi üretim kalitesi açısından oldukça önemlidir [16]. İşlem parametreleri arasında tarama hızı, ergitme esnasında verilen enerji miktarını belirlemekte, bu nedenle parçanın yüzey kalitesini etkilemektedir. Lazer gücü, işlem sırasında oluşan sıcaklık farkının şiddetini belirlemekte ve sıcaklığın artmasıyla toz malzeme ergitilmektedir. Dolayısıyla, parçanın yüzey kalitesi uygulanan lazer gücünün seviyesinden etkilenmektedir. Katman kalınlığı ve inşa yönü parametrelerinin optimum olmayan değerleri, işlenen parça yüzeyinde ‘merdiven etkisine’ yol açabileceğinden yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir. Tarama mesafesinin de işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu görülmektedir [8,21]. Ayrıca bir parçanın yüzey pürüzlülüğü, toplanma olarak adlandırılan olaydan da etkilenebilmektedir. Toplanma, eriyik havuzunda küçük kürelerin meydana gelerek bölünmesi olayıdır. Bu durum katmanların birleşmesinde ciddi sorun oluşturmaktadır. İşlenen parçanın yoğunluğunu azaltmakta, yan/üst yüzeylerin pürüzlülüğünü arttırmaktadır [21]. Literatürde SLM yöntemi kullanılarak üretilen Ti6Al4V alaşımının yüzey kalitesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin; Sadalı M. ve diğ. [29] SLM ile üretilen Ti6Al4V numuneler için tarama hızı parametresinin mikro gözenekler, yüzey morfolojisi ve pürüzlülük üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Tarama hızı olarak 695, 775 ve 853 mm/sn’lik değerleri kullanmışlardır. Deney sonuçlarının analizinde, 775 mm/sn’lik tarama hızı, 175 W lazer gücü, 0.12 mm tarama mesafesi ve 30 µm katman kalınlığı kullanılarak işlenen numunelerin yüzey morfolojisi ve mikro yapının yüksek kalitede olduğu gözlemlenmiştir. Yaptıkları çalışmada, 0.506 µm ile minimum yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerine ulaşıldığını belirtmişlerdir. Król M. ve diğ. [16] SLM ile üretilen Ti6Al4V numunelerin işlem parametrelerinin ve eğim açısının yan/üst yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. İşlem parametrelerini lazer gücü, tarama mesafesi, tarama hızı ve maruz kalma süresi olarak belirlemişlerdir. Deney sonuçlarını analiz eden araştırmacılar, 150 W lazer gücü, 290 mm/sn tarama hızı, 25 µs maruz kalma süresi, 25 µm tarama mesafesi kullanılarak en az yüzey pürüzlülük değerine ulaşmışlardır. Ayrıca, yan/üst yüzeylerde eğimli modeller için alt tabaka referans alınarak yaklaşık 10-20 derece eğilerek üretmenin daha düşük yüzey pürüzlülüğüne imkân sağlayacağını ileri sürmüşlerdir. Shi X. ve diğ. [31] SLM ile üretilen Ti6Al4V alaşımıyla yaptıkları çalışmada yüksek tabaka kalınlığının işlem sırasında çekme özelliklerinden ziyade yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Eyzat Y. ve diğ. [6] SLM ile üretilen Ti6Al4V numuneler üzerinde ısıtma işleminin etkisi ve çeşitli özellikler ile yüzey mekanik yıpratma işleminin etkisini incelemişlerdir. Deney sonuçlarını analiz eden araştırmacılar, yüzey mekanik yıpratma işleminin numunelerin yüksek yüzey pürüzlülüğünü %80 oranında azalttığını, mekanik özelliklerinin de iyileştirilebileceğini gözlemlenmişlerdir. Li Y. ve diğ. [17] kısmen ergimiş toz tanelerinin parçanın dış yüzeyine yapışması ve oksidasyonun yüzey kalitesini etkileyen en önemli faktörler olduğu kanısına varmışlardır. Farklı eklemeli imalat yöntemleri kullanılarak üretilen Ti6Al4V

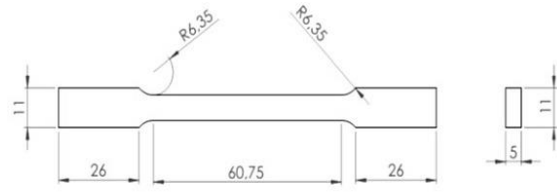
parçalarında meydana gelen yüzey pürüzlülüğünde yönlendirilmiş enerji biriktirme (DED) yönteminde en pürüzsüz yüzeyin elde edildiği ardından seçici lazer ergitme (SLM) ve elektron ışın ergitme (EBM) yöntemleri gelmektedir. Ayrıca direkt metal lazer sinterleme (DMLS) yöntemiyle üretilen numunelerinde EBM yöntemine ile karşılaştırıldığında daha düşük yüzey pürüzlülük değeri elde edilmektedir. Bu durumun nedeni DMLS yönteminde, tamamen erimiş lazer izleri ile karakterize edildiğinden yüzey pürüzlülüğü daha düşüktür. DED yönteminde ise kullanılmayan tozlar ortamdaki uzaklaştırıldığından, DED işleminde kısmen erimiş tozların yapışması SLM ve EBM yöntemlerine göre çok daha düşüktür, çünkü SLM ve EBM yöntemleri kullanılmayan tozları toz yatağında tutmaktadır [5,18]. Rafi H. ve diğ. [27] SLM ve EBM yöntemleri ile Ti6Al4V numuneleri kullanılarak yaptıkları çalışmada farklı tarama hızlarının, katman kalınlıklarının ve toz boyutlarının yüzey pürüzlülüğüne yol açtığını belirtmişlerdir. Ayrıca, SLM ile üretilen numunelerin yüzeylerinin EBM ile üretilen numunelerle kıyaslandığında çok daha pürüzlü olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Yüzey kalitesi mühendislik uygulamalarında yer alan bileşenler için önemli bir çıktı parametresidir. Bu nedenle, imalatta kullanılan yöntemlerde yüzey kalitesinin iyileştirilmesi için optimum parametre grubunun belirlenmesi risk teşkil etmektedir. Söz konusu durum, eklemeli imalat ile üretilen parçalar için de oldukça önem arz etmektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmaların bazıları ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Fakat, kendi içerisinde birçok alt yöntemi olan eklemeli imalat, bu yöntemlere ait değişken girdi parametrelerini ve seviyelerini bulundurmaktadır. Bu değişkenlerle elde edilen ya da elde edilecek olan yüzeylerin kalitelerinin incelenmesi oldukça önemli bir husustur. Yapılan çalışmada, SLM yöntemiyle üretilen Ti6Al4V alaşımının üretimi sırasında farklı proses parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir dizi deney yapılmıştır. Deneylerde girdi parametresi olarak dört ana parametre ve bu parametrelere ait dört farklı seviye belirlenmiştir. Çıktı parametresi olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) incelenmiştir. Deney tasarımında Taguchi L_{16} ortogonal dizisi kullanılmıştır. Ayrıca en küçük yüzey pürüzlülük değerini elde etmek amacıyla deney sonuçları Taguchi'nin S/N oranına dönüştürülerek değerlendirilmiştir. Çalışmaya ait kullanılan malzeme, deney tasarıma ait detaylar ve ölçümler, deneysel bulgular, elde edilen sonuçlar ve tartışılmasına yönelik detaylar aşağıda bölümler halinde sunulmuştur.

2 Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımı numuneler seçici lazer ergitme (SLM) yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu alaşımın yüksek mukavemet ve korozyona karşı dirençli olması sebebiyle tercih edilmiştir. Numunelerin üretiminde maksimum lazer gücü 500 W ve sürekli dalga iterbilyum fiber lazerle donatılmış Ermaksan Enavision 250 modeli bir eklemeli imalat makinesi kullanılarak ASTM E 8M çekme standardına göre 16 adet çekme numunesi üretilmiştir. Numunelerin üretimi Ar (argon) gazı atmosferinde yapılmıştır. Deney numunelerine ait teknik

ölçüler ve üretim sonucu numunelerin genel görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney numunelerine ait teknik ölçüler ve üretim sonucu numunelerin genel görünümü.

Yüzey pürüzlülüğü, üretilen iş parçasının mekanik özelliklerini etkileyen önemli bir kalite kriteridir [30]. Bu amaçla çalışmada işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri analiz edilecektir. Sabit ve değişken parametrelerin belirlenmesinde literatür bilgisi, araştırmacıların önceki çalışmaları ve deneyleri etkili olmuştur. Değişken parametreler lazer gücü (W), tarama mesafesi (μm), tarama hızı (mm/s), lazer odak çapı (μm) ve bu parametrelere ait farklı seviye değerleri ile üretilen numunelerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Değişken parametrelere ait değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tablo 1. SLM yönteminde kullanılan değişken işlem parametre ve değerleri.

Proses Parametreleri	Parametre Seviyeleri
Lazer Gücü (W)	190, 210, 230, 250
Tarama Mesafesi (μm)	60, 90, 120, 150
Tarama Hızı (mm/s)	150, 300, 450, 600
Lazer Odak Çapı (μm)	75, 80, 85, 90

Ortalama yüzey pürüzlülük ölçümleri ISO 4287 standartlarına uygun olarak Mahr Marsurf PS10 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ortalama Ra değeri belirlenirken üretilen numunenin malzeme işleme yönü dikkate alınarak baştan ortadan ve sondan olmak üzere 3 farklı noktada ölçümler yapılmıştır. SLM işlem parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesinde ve deneysel sürecini olumsuz yönde etkileyen zaman ve maliyet faktörlerini en aza indirmek amacıyla Taguchi L_{16} dikey dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmıştır. Bu deney tasarımında belirlenen parametrelerin optimize edilmesi, kararlı olması ve minimum süreç değişkenliği sağlamak amacıyla sinyal-gürültü (S/N) oranı kullanılmıştır ve deneysel sonuçlar S/N oranına çevrilerek değerlendirilmiştir. S/N değerlerini tanımlamak için kullanılan kriterler arasında “en küçük en iyi” yaklaşımı, en küçük ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için kullanılmıştır. Bu yaklaşımın sonuçları Eşitlik 1'deki formül ile hesaplanmıştır.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

Taguchi L₁₆ dikey dizin deney tasarımında kullanılan kontrol faktörleri ve bu faktörlerin seviye değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Deney tasarımında kullanılan kontrol faktörleri ve bu faktörlerin seviye değerleri.

Kontrol Faktörleri	Birim	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Lazer Odak Çapı	µm	A	75	80	85	90
Tarama Mesafesi	µm	B	60	90	120	150
Tarama Hızı	mm/s	C	150	300	450	600
Lazer Gücü	W	D	190	210	230	250

Tablo 3. Taguchi L16 deney tasarımı.

Deney Sayısı	Kontrol Faktörleri ve Seviye Değerleri				Deneysel Sonuçlar	
	A	B	C	D	Ra (µm)	S/N Oranı
1	75	60	150	190	7.773	17.76471
2	75	90	300	210	10.020	20.01735
3	75	120	450	230	15.024	23.53571
4	75	150	600	250	11.894	21.50656
5	80	60	300	230	11.157	20.95095
6	80	90	150	250	10.719	20.60309
7	80	120	600	190	14.739	23.36936
8	80	150	450	210	12.496	21.93542
9	85	60	450	250	9.382	19.44591
10	85	90	600	230	11.512	21.22302
11	85	120	150	210	16.067	24.11870
12	85	150	300	190	14.620	23.29895
13	90	60	600	210	10.691	20.58037
14	90	90	450	190	13.471	22.58800
15	90	120	300	250	13.790	22.79129
16	90	150	150	230	13.288	22.46919

Tablo 4'de yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu verilmiştir. Bu tabloda optimum proses parametre değerleri için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri görülmektedir.

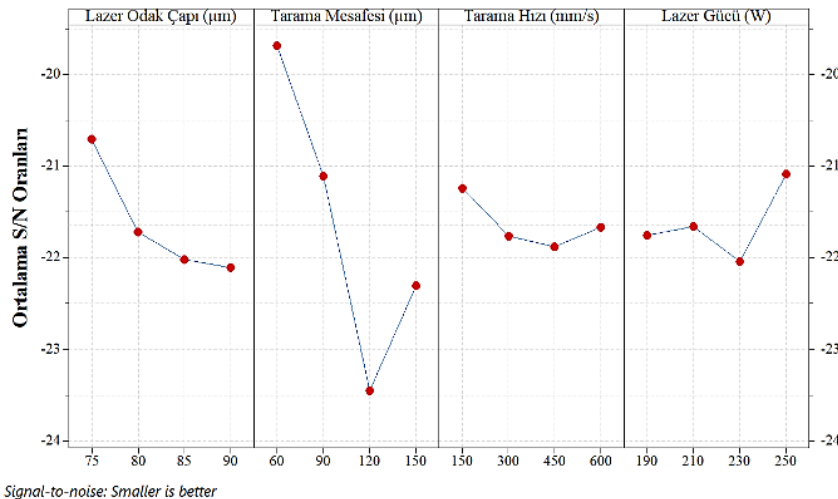
Tablo 4. S/N yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol Faktörleri			
	A	B	C	D
1	20.71	19.69	21.24	21.76
2	21.71	21.11	21.76	21.66
3	22.02	23.45	21.88	22.04
4	22.11	22.30	21.67	21.09
Delta	1.40	3.77	0.64	0.96

3 Deney Sonuçlarının Analizi

SLM yöntemiyle Ti6Al4V alaşımının üretimi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ve bu değerlere ait S/N oranları Tablo 3'de listelenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğüne ait S/N oranları ana etki grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri grafiğe göre ilgili faktörün en üst noktasında yer almaktadır. Dolayısıyla, lazer odak çapı için optimum S/N oranı 20.71 ile en iyi sonuca 75 µm seviyesinde ulaşılmaktadır. Tarama mesafesi için S/N oranı 19.69 ile en iyi sonuca 60 µm seviyesinde ulaşıldığı görülmektedir. Tarama hızı için S/N oranı 21.24 ile en iyi sonuç 150 mm/s seviyesinde elde edilmektedir. Aynı analiz lazer gücü için yapıldığında S/N oranı 21.09 ile en iyi sonucu 250 W seviyesinin verdiğini göstermektedir. Bu durumda en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 75 µm lazer odak çapı, 60 µm tarama mesafesi, 150 mm/s tarama hızı ve 250 W lazer gücü kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin S/N oranına etkisi.

Yüzey pürüzlülüğü, lazer gücü, lazer odak çapı, tarama mesafesi, tarama hızı gibi faktörler tarafından kontrol edilebilmektedir [2]. Seçici lazer ergitme işleminde elde edilen sonuçlara göre kontrol faktörlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini değerlendirmek gerekirse lazer gücünün yüzey pürüzlülüğü üzerinde oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır. Lazer gücünün artması ile iyileşen yüzey pürüzlülüğü, bir önceki katmanın yeniden ergimesini sağlayarak eriyik havuzun daha homojen bir hal almasına imkân sağladığı düşünülmektedir. Tarama mesafesinin artması ise, eriyik havuz boyutunu artırmakta ve bu durum pürüzlü bir yüzey ile sonuçlanmaktadır. Şekil 2 incelendiğinde tarama hızının artması ortalama yüzey pürüzlülüğünün de artmasına neden olmuştur. Ayrıca, SLM işlemi sırasında toz malzemeyi eritecek miktarda lazer gücünün sağlanamaması numunelerin yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

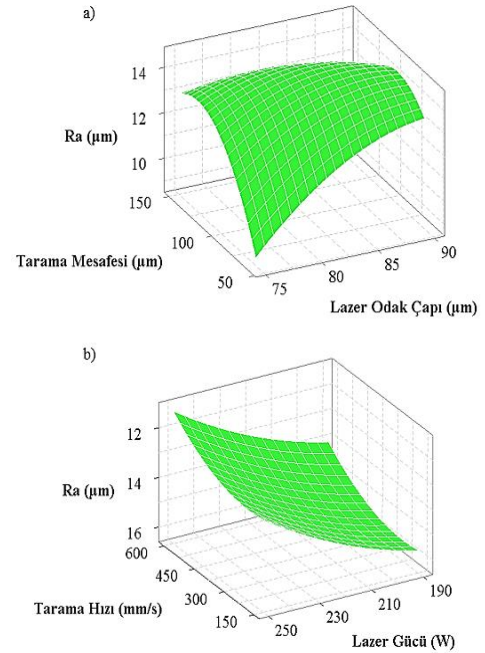
Şekil 3a'da tarama mesafesi ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi gösteren 3D yüzey grafiği, en düşük yüzey pürüzlülüğünün 60 µm kullanılarak elde edildiğini göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü sırasıyla 150, 120, 90, 60 µm tarama mesafesi kullanımıyla azalma eğilimi göstermiştir. Metal tozu eritecek lazer gücünü dalga boyuyla birlikte odak çapı da etkilemektedir. Odak çapı azaltılarak lazer gücünün artırılması yüzey pürüzlülüğü açısından daha olumlu sonuçlar vermektedir. Koutiri I. ve diğ. [15] yüksek seviyede lazer gücü kullanılarak lazer odak çapının artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünün belirgin bir miktarda arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Şekil 3b'de tarama hızının ve lazer gücünün yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi gösterilmektedir. 150 mm/s tarama hızı ve 250W lazer gücü kullanılarak üretilen numunelerde yüzey pürüzlülüğünün önemli miktarda azaldığı gözlemlenmiştir.

Tarama hızının artırılması daha pürüzlü bir yüzey ile sonuçlanmaktadır. Bu durumun nedeni tarama hızının artmasıyla toz malzemenin ergimesi için yeterli sürenin sağlanamaması ve katılma hızının azalması nedeniyle yüzey kalitesini olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Sadali M. ve diğ. [29] yaptıkları çalışmada tarama hızının artmasıyla yüzeyin bozulduğunu ancak tarama hızının daha da artmasıyla yüzey kalitesinin iyileştiğini belirtmişlerdir. Shi X. ve diğ. [31] tarama hızının azaltılmasıyla sürekli tarama hızları elde edilerek yüzey pürüzlülüğünün azaltılacağını ileri sürmüşlerdir. Wang Z.

ve diğ. [38] benzer sonuçlar elde ederek düşük lazer gücü ve artan tarama hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirtmişlerdir. Maamoun A. ve diğ. [19] belirttiği gibi tarama hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasında önemli bir ilişki vardır. Sonuç olarak, deney sonuçları literatürle de paralellik göstermiştir.

Kontrol faktörlerinin ve seviyelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranlarının belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Bu analiz %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. Taguchi L₁₆ dikey dizini kullanılarak gerçekleştirilen yüzey pürüzlülüğü deneylerinin ANOVA sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. Tarama mesafesi, lazer odak çapı, lazer gücü ve tarama hızı faktörlerinin yüzey pürüzlülüğüne katkı yüzdeleri sırasıyla %74.17, %9.57, %5.26 ve %1.13 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan elde edilen bilgilere göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör tarama mesafesidir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için hata oranı %9.94 seviyesinde gerçekleşmiştir. Güvenilir bir istatistiksel analiz için bu oranın %20'den küçük olması gerekmektedir [12]. Elde edilen sonuçlar analizin güvenilirliğini kanıtlar niteliktedir.



Şekil 3. SLM parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi: (a) tarama mesafesi ve lazer odak çapı, (b) tarama hızı ve lazer gücü.

Tablo 5. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları.

Faktörler	SD	KT	KO	F	P	PCR (%)
Lazer Odak Çapı (µm)	3	7.5897	2.5299	0.96	0.512	9.57
Tarama Mesafesi (µm)	3	58.7744	19.5915	7.46	0.067	74.10
Tarama Hızı (mm/s)	3	0.8986	0.2995	0.11	0.946	1.13
Lazer Gücü (W)	3	4.1705	1.3902	0.53	0.693	5.26
Hata	3	7.8814	2.6271	-	-	9.94
Toplam	15	79.3146	-	-	-	100

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, SLM yöntemi kullanılarak üretilen Ti6Al4V parçalarının ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde proses parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Taguchi dikey dizini kullanılarak deney tasarımı ve sonuçların analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Çalışma sonucunda parametre seviyelerinin farklı kombinasyonları ortalama yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür.
- Ortalama yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre %74.10 katkı oranıyla tarama mesafesi olmuştur.

- Tarama mesafesinde 60 µm üzerindeki seviyelerde yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak, 120 µm'den daha yüksek bir tarama hızının kullanılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde bir miktar azalma gözlemlenmiştir.
- Lazer gücünün artmasıyla daha pürüzlü bir yüzey elde edilmiştir. Ancak, lazer gücünün daha da artması yüzeyi iyileştirerek yüzey pürüzlülüğünün azalmasını sağlamıştır.

S/N analizi yapılarak gerçekleştirilen optimizasyon da en düşük yüzey pürüzlülüğünü veren işlem parametreleri 75 µm lazer odak çapı, 60 µm tarama mesafesi, 150 mm/s tarama hızı ve 250 W lazer gücü olarak bulunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje kodu: FYL-2021-11339).

Bilgilendirme

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Bayrak, Ö. (2013). *Plazma oksitleme işleminin Ti6Al7Nb ve Ti45Nb alaşımlarının tribolojik, elektrokimyasal ve biyouyumluluk özelliklerine etkisi*. (Doctoral dissertation, Atatürk University).
- [2] Bean, G. E., Witkin, D. B., McLouth, T. D., Patel, D. N., & Zaldivar, R. J. (2018). Effect of laser focus shift on surface quality and density of Inconel 718 parts produced via selective laser melting. *Additive Manufacturing*, 22, 207–215.
- [3] Çelik, K., & Özkan, A. (2017). Eklemeli imalat yöntemleri ile üretim ve onarım uygulamaları. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1), 107–121.
- [4] Çelik, Y. H., & Kılıçkap, E. (2018). Titanyum ve alaşımlarının işlenmesinde karşılaşılan zorlukların araştırılması: Derleme. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1), 163–175.
- [5] Çevik Z. A., Özsoy K., Erçetin A. (2021). The Effect of Machining Process on The Physical and Surface Morphology of Ti6Al4V Specimens Produced Through Powder Bed Fusion Additive Manufacturing” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 5(2), 187-194.
- [6] Eyzat, Y., Chemkhi, M., Portella, Q., Gardan, J., Remond, J., & Reira, D. (2019). Characterization and mechanical properties of as-built SLM Ti-6Al-4V subjected to surface mechanical post-treatment. *Procedia CIRP*, 81, 1225–1229.
- [7] Güner, Ç. (2019). *Ti-6Al-4V Sacların mikroyapı değişimi ve geri yaylanma davranışının incelenmesi*. (Master's dissertation, Bursa Uludağ University).
- [8] Günther, J., Leuders, S., Koppa, P., Tröster, T., Henkel, S., Biermann, H., & Niendorf, T. (2018). On the effect of internal channels and surface roughness on the high-cycle fatigue performance of Ti-6Al-4V processed by SLM. *Materials & Design*, 143, 1–11.
- [9] Huang, R., Riddle, M., Graziano, D., Warren, J., Das, S., Nimbalkar, S., Cresko, J., & Masanet, E. (2016). Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft components. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1559–1570.

- [10] İşler, Ö. (2017). *Titanyum ve alaşımlarının elektrokimyasal davranışları*. (Master's dissertation, Cukurova University).
- [11] Kaya, M. (2021). *Eklemeli imalat ile üretilen inconel 718 parçalarının ezerek parlatma yöntemiyle yüzey iyileştirme sürecinin modellenmesi ve deneysel doğrulanması*. (Master's dissertation, Marmara University).
- [12] Kıvak, T. (2014). Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts. *Measurement*, 50(1), 19–28.
- [13] Koç, O. O. (2021). *Eklemeli üretim yöntemiyle üretilen parçaların farklı yazdırma parametrelerinin akustik özelliklere etkisinin incelenmesi*. (Master's dissertation, Necmettin Erbakan University).
- [14] Kong, C.-J., Tuck, C. J., Ashcroft, I. A., Wildman, R. D., & Hague, R. (2011). High density Ti6Al4V via slim processing: microstructure and mechanical properties. *2011 International Solid Freeform Fabrication Symposium*.
- [15] Koutiri, I., Pessard, E., Peyre, P., Amlou, O., & De Terris, T. (2018). Influence of SLM process parameters on the surface finish, porosity rate and fatigue behavior of as-built Inconel 625 parts. *Journal of Materials Processing Technology*, 255, 536–546.
- [16] Król, M., & Tański, T. (2016). Surface quality research for selective Laser melting of Ti-6Al-4V alloy. *Archives of Metallurgy and Materials*, 61(3), 1291–1296.
- [17] Li, Y., Yang, H., Lin, X., Huang, W., Li, J., & Zhou, Y. (2003). The influences of processing parameters on forming characterizations during laser rapid forming. *Materials Science and Engineering: A*, 360(1–2), 18–25.
- [18] Liu, S., & Shin, Y. C. (2019). Additive manufacturing of Ti6Al4V alloy: A review. *Materials & Design*, 164, 107552.
- [19] Maamoun, A., Xue, Y., Elbestawi, M., & Veldhuis, S. (2018). Effect of selective laser melting process parameters on the quality of Al alloy parts: powder characterization, density, surface roughness, and dimensional accuracy. *Materials*, 11(12), 2343.
- [20] Memu, F. (2019). *Katmanlı imalat yöntemiyle üretilmiş Ti-6Al-4V alaşımının mekanik özelliklerinin incelenmesi*. (Master's dissertation, TOBB Economy and Technology University).
- [21] Mumtaz, K. A., & Hopkinson, N. (2010). Selective laser melting of thin wall parts using pulse shaping. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(2), 279–287.
- [22] Özer, G. (2020). Eklemeli üretim teknolojileri üzerine bir derleme. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 606–621.
- [23] Pişken, B. (2007). *Titanyum ve alaşımlarının termal oksidasyon özelliklerine tin kaplamanın etkilerinin incelenmesi*. (Master's dissertation, Istanbul Technical University).
- [24] Popovich, A., Sufiiarov, V., Borisov, E., & Polozov, I. (2015). Microstructure and Mechanical Properties of Ti-6Al-4V Manufactured by SLM. *Key Engineering Materials*, 651–653, 677–682.
- [25] Poyraz, Ö. (2018). *Metallerin lazer katmanlı imalatında kullanılan proses parametrelerinin etkisinin, modelleme ve simülasyon yöntemleri kullanılarak incelenmesi*. (Doctoral dissertation, Eskisehir Osmangazi University).
- [26] Prasad, A. V. S. R., Ramji, K., & Datta, G. L. (2014). An experimental study of wire EDM on Ti-6Al-4V Alloy. *Procedia Materials Science*, 5, 2567–2576.
- [27] Rafi, H. K., Karthik, N. V., Gong, H., Starr, T. L., & Stucker, B. E. (2013). Microstructures and mechanical properties of Ti6Al4V parts fabricated by selective laser melting and electron beam melting. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(12), 3872–3883.

- [28] Roudnicka, M., Bigas, J., & Vojtech, D. (2020). Tuning porosity and mechanical properties of Ti6Al4V alloy additively manufactured by SLM. *Key Engineering Materials*, 865, 1–5.
- [29] Sadali, M. F., Hassan, M. Z., Ahmad, F., Yahaya, H., & Rasid, Z. A. (2020). Influence of selective laser melting scanning speed parameter on the surface morphology, surface roughness, and micropores for manufactured Ti6Al4V parts. *Journal of Materials Research*, 35(15), 2025–2035.
- [30] Sangwan, K. S., Saxena, S., & Kant, G. (2015). Optimization of Machining Parameters to Minimize Surface Roughness using Integrated ANN-GA Approach. *Procedia CIRP*, 29, 305–310.
- [31] Shi, X., Ma, S., Liu, C., Chen, C., Wu, Q., Chen, X., & Lu, J. (2016). Performance of high layer thickness in selective laser melting of Ti6Al4V. *Materials*, 9(12), 975.
- [32] Simonelli, M., Tse, Y. Y., & Tuck, C. (2012). Microstructure of Ti-6Al-4V produced by selective laser melting. *Journal of Physics: Conference Series*, 371, 1–5.
- [33] Simonelli, M., Tse, Y. Y., & Tuck, C. (2014). Effect of the build orientation on the mechanical properties and fracture modes of SLM Ti-6Al-4V. *Materials Science and Engineering: A*, 616, 1–11.
- [34] Solakoğlu, E. U. (2018). *Lazerle metal toz ergitme (SLM) prosesi sonrası proses parametrelerinin yüzey kalitesine olan etkisinin incelenmesi*. (Master's dissertation, Eskisehir Osmangazi University).
- [35] Song, B., Dong, S., Liao, H., & Coddet, C. (2012). Process parameter selection for selective laser melting of Ti6Al4V based on temperature distribution simulation and experimental sintering. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(9–12), 967–974.
- [36] Taftalı, M. (2018). *Seçici lazer ergitme (SLM) yöntemi kullanılarak farklı yüzey geometrilerinde üretilmiş metal destekli dental seramik alt yapıların statik ve dinamik davranışlarının belirlenmesi*. (Master's dissertation, Erzurum Technical University).
- [37] Toptan, F., Alves, A. C., Carvalho, Ó., Bartolomeu, F., Pinto, A. M. P., Silva, F., & Miranda, G. (2019). Corrosion and tribocorrosion behaviour of Ti6Al4V produced by selective laser melting and hot pressing in comparison with the commercial alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 266, 239–245.
- [38] Wang, Z., Xiao, Z., Tse, Y., Huang, C., & Zhang, W. (2019). Optimization of processing parameters and establishment of a relationship between microstructure and mechanical properties of SLM titanium alloy. *Optics & Laser Technology*, 112, 159–167.
- [39] Yadroitsev, I., & Smurov, I. (2011). Surface morphology in selective laser melting of metal powders. *Physics Procedia*, 12(1), 264–270.



INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GLASS SAND USED IN SCC ON THE BEHAVIOR OF THE SCC STRESS - STRAIN RELATIONSHIP

Serkan Etlî*¹ 

¹Department of Emergency Aid and Disaster Management, Munzur University, Tunceli, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Glass, who is found as a waste in nature, seems to be among the causes of fires in forest areas and landfills, especially with the increase in temperature in recent years. Within the scope of the study, waste soda glass bottles collected from waste sites and natural environment were separated by passing through 0.25-0.5 mm sieves after grinding. The self-compacting concrete (SCC) produced with this glass sand were replaced with the natural sand inside. Natural sand and glass sand were substituted in increments of 5% between 5% and 35% by volume. SCC were tested with fresh feature tests where it provides regulatory standards. Stress-strain relationships were obtained for 7- and 28-days old samples from the mixtures obtained. These relations were evaluated by comparing them with the concrete model, which is frequently used in the literature. It was observed that the resulting stress-strain relations converged well to the model chosen especially at the age of 7 days but diverged from the model used at the age of 28 days, especially in the initial part.

Keywords: Glass sand, stress-strain relationship, waste glass, self compacting concrete.

KYB'DE KULLANILAN CAM KUMUN KYB YÜK-DEPLASMAN İLİŞKİSİNİN DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Doğada atık olarak bulunan cam, özellikle son yıllarda sıcaklığın artmasıyla birlikte ormanlık alanlarda ve düzenli depolama alanlarında çıkan yangınların sebepleri arasında görünmektedir. Çalışma kapsamında atık sahalarından ve doğal ortamdan toplanan atık soda cam şişeleri öğütüldükten sonra 0.25-0.5 mm arasında eleklerden geçirilerek ayrıştırılmıştır. Bu cam kum ile üretilen kendiliğinden yerleşen beton (KYB), içindeki doğal kum ile değiştirilmiştir. Doğal kum ve cam kumu, hacimce %5 ila %35 arasında %5'lik artışlarla ikame edilmiştir. KYB, yönetmeliklerle ilgili standartları sağladığı taze özellik testleri ile test edilmiştir. Elde edilen karışımlardan 7 ve 28 günlük numunelerde gerilme-şekil değiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Elde edilen bu ilişkiler literatürde sıklıkla kullanılan beton modeli ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan yük-deplasman ilişkilerinin özellikle 7 günlük yaşta iyi bir şekilde seçilen modele yakınsadığı ancak özellikle başlangıç kısmında 28 günlük yaşta kullanılan modelden ayrıldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atık cam, cam kumu, kendiliğinden yerleşen beton, stress-deformaasyon ilişkisi.

1 Introduction

There has been an increasing interest in the use of recycled material-based products in the construction industry, especially in the last century, to ensure sustainable green construction production and to promote production [1–6]. Concrete, which is the most preferred building material during structural production, is the most consumed man-made material for construction in the world. For 2007, it was reported that concrete production in the USA was approximately 800 million tons, and worldwide consumption was approximately 11 billion tons. In addition, it is estimated that there is an average of

1.7 tons of concrete consumption for every person living in the world [7]. Glass bottles and containers are often preferred by people for the storage and preservation of food and beverages. In addition, the containers and bottles left behind after the materials in these products are consumed are generally left to nature as household waste. In this case, the products pose a great threat to the natural environment. Especially after visiting forest areas for camping or recreational purposes, such glass-based wastes cause fires at high temperatures in the summer months when the sun is intense. Therefore, it is thought that removing such wastes from the natural environment or collecting them for recycling will have a significant impact in this context. In

* Corresponding author.

E-mail address: serkanetli@munzur.edu.tr (S. Etlî)

Received 25 April 2022; Received in revised form 22 August 2022; Accepted 03 October 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1108476>

addition, as mentioned above, it is important to control the usability during the production of high consumption concrete and its derivatives and to determine the maximum glass powder content to be used, if any.

Waste glass materials produced in mixed colors not only improve the chemical stability of concrete, but also increase its durability along with moisture resistance. This shows that waste glass materials have the desired chemical composition and reactivity to be used as a binder material with high potential to provide benefits with proper use. For this potential behavior to occur, waste glass must be ground to a microscale particle size to accelerate chemical reactions in concrete and chemical reactions that can beneficially improve these properties [8–10].

In addition to this rapid superstructure formed in the construction sector, increasing concrete consumption occurs due to rapid infrastructure development. As a result of this development, the amount of natural aggregate used is increasing in parallel with the acceleration of concrete production in the world. In addition, this consumption causes the consumption of natural resources to a large extent and indirectly harms the nature. The production and consumption of sand and gravel, which accounted for 79% of the annual production from natural resources in 2010, is growing in parallel and is the most extracted natural resource worldwide with 28.6 giga tons. The purpose of use of the study, on the other hand, aims to show a method for reducing the use of these standards with the purpose of use. [11, 12]. Natural river sand used in concrete production has been included in mixtures as fine aggregate for centuries. Although the amount of sand in the world seems unlimited, considering the concrete consumption rate, it appears as a limited natural resource that can be consumed in a short time. Excessive removal of sand from its source not only causes sand pollution, but also damages aquatic ecosystems, water stress and turbidity. Worse, it harms the climate, along with a reduction in the supply of nutrients produced from water sources. Additionally, excessive sand production can aggravate damage from floods, tsunamis and storms as it accelerates the erosion of shorelines and riverbanks. On the other hand, the lowering of the water table and the supply of sand and the intrusion of salt water into the soil affect the groundwater supply and, worse, can damage river basins, bridge piers and civil infrastructures. [11, 12].

Extracting sand and then transporting it from the collection site to the construction site for production is related to the increase in greenhouse gas emissions. Due to the negative impact of this situation, the construction industry is in a general search for the use of alternative materials that can replace recycled waste glass and natural sand in the concrete to be used in the field [13]. However, the availability of plastic containers, metals and accompanying materials such as waste glass, inconsistencies in the chemical composition of different

types of glass, and the difficulty of separating different colored glass are the biggest challenges in the recycling process. The use of waste glass, which has the potential to be used instead of sand in concrete, can be an attractive method for removing waste glass from nature and reducing the use of sand. Therefore, it is thought that these studies can help not only to remove natural sand, but also to reduce the amount of waste glass formed in landfills [12]. In recent years, waste glass bottles for concrete production have been recycled using recycled and various studies have been carried out to investigate the use of glass sand [14–17]. Considering the chemical composition and physical properties of crushed glass, it is obtained as a better alternative to sand to be used in concrete [15]. In addition, the presence of smooth surfaces in ground glass and relatively lower water absorption capacities than sand suggested that glass sand could improve the production properties of fresh concrete [18]. Glass sand, on the other hand, increases the chloride ion penetration resistance, but sometimes has conflicting results in the mechanical and durability properties of hardened concrete [14–16, 19–23].

In the study carried out within the scope of the article, it is aimed to facilitate the disposal of waste materials and to evaluate the appropriate uses based on glass sand production. Considering the mechanical properties of glass, it is aimed to evaluate its use as sand and particles close to sand. In this context, besides the effects of glass materials on possible natural disasters, a study was conducted to reduce the damages caused using glass materials during concrete production. Since the sand used in concrete and used in high amounts is obtained by the disposal of nature, it leads to the deterioration of the ecological environment. It is aimed to evaluate the use of waste glass as an alternative to partially reducing the use of sand in concrete. In addition, the evaluation of how glass sand affects the mechanical behavior of concrete in mechanical calculations using stress-strain curves is also presented in the study. In this context, within the scope of the article, besides the disposal of glass and derivative wastes, its effect on the matrix it is in was compared with traditional models and the evaluation of the effect on its use was presented.

Within the scope of this study, an experimental study of the use of glass sand, which is sieved in the range of 0.25-0.5 mm after grinding and sifting the soda bottles collected from nature, is presented. In the study, 7 mixtures were created, including the control mixture, by substituting glass sand and natural sand from 5% to 35% in increments of 5%. The mixtures obtained were produced as SCC (self-compacting concrete) in EFNARC [24] standards. The load-displacement behaviors of the 7- and 28-day samples were compared with the Mander [25] concrete model accepted in the literature and the results were examined. A brief flowchart of the workflow was shown in the Figure 1.



Figure 1. Workflow.

2 Materials and Experimental Campaign

Information on the materials used in the mixtures produced within the scope of the study and the methodological processes used in their proportions are included in this section under sub-headings. A brief flowchart of the study methodology was shown in Figure 1. In the mixtures produced, waste glass ground with natural sand was replaced by 5% between 5% and 35% by volume. Binder dosages with a total binder content of 600 kg/m³ were used in each mixture group. In the mixtures produced, 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% and 35% glass sand (0.25-0.5 mm) by volume was used instead of natural sand (0-4 mm). As a result, a total of 7 mixtures were produced, including those substituted with ground glass, within the scope of the study. In the group mixtures produced, 100×100×100 mm³ cube samples were produced for mechanical testing for each mixture. Mechanical properties tested at 7 and 28 days old. Meanwhile, charge-displacement relationships were recorded. The Mander [25] concrete model, which is widely used in the literature, was used with the obtained data.

2.1 Materials

Within the scope of the study, CEM-I 42.5R Portland cement was used as a binder in the production of the mixtures. Natural washed sand and coarse aggregate obtained from the river in Tunceli province were used in the mixtures. Chemical properties of ground glass aggregate and cement were given in Table 1. Glass bottles as frosted glass aggregate, especially soda/mineral water bottles recycled as domestic waste in nature, were collected and then these bottles were ground and used as glass aggregate. Sieve analyzes for natural sand and medium aggregate obtained by sieving were shown in Figure 2.

Table 1. Chemical composition of Portland Cement and glass powder dust.

Chemical composition (%)	Portland Cement	Glass sand (0.25-0.5 mm)
SiO ₂	19.84	70.85
Al ₂ O ₃	3.75	0.85
Fe ₂ O ₃	4.15	0.23
CaO	63.87	8.84
MgO	3.15	3.8
K ₂ O	0.81	0.24
Na ₂ O	0.41	14.41
SO ₃	3.15	0.23
P ₂ O ₅	-----	0.55
Loss of ignition	0.87	-----
Blaine (cm ² /g)	3260	-----

In addition, to obtain the required workability capacity of the mixtures produced as SCC, the

superplasticizer should be used in sufficient amount with low water/binder ratio in the mixture. For this purpose, a polycarboxylate ether-based chemical additive (HRWR), which reduces water at a high rate, was used. In addition, it is aimed to provide the desired homogeneity in the mixtures produced and to have a high fluidity capacity. The specific gravity values used for cement, natural sand, coarse aggregate, glass powder and HRWR, which are the materials used in the mixtures produced as SCC, were calculated as 3.1, 2.668, 2.664, 2.523 and 1.04, respectively.

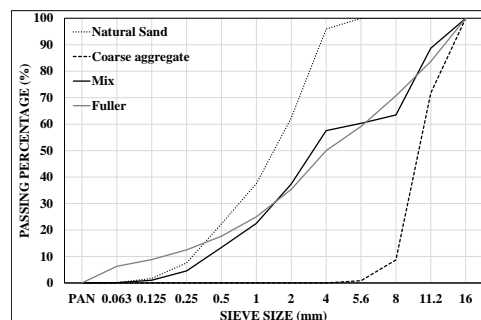


Figure 2. Sieve analysis of natural sand and coarse aggregate.

2.2 Mix Design

The SCCs produced within the scope of the study were produced homogeneously with the help of a standard mortar mixer meeting the current standard EFNARC [24] requirements until the dry mix components were prepared, and then the total homogeneity of the fresh mix was observed. As given in Table 2, the water/binder (w/b) ratio was used in the mixtures at a constant value of 0.38.

While preparing the SCC mixtures, aggregate, glass sand and cement were mixed dry for 1 minute at the mixing ratios determined during the design (Figure 3a). Then, 1/3 of the mixing water was mixed with the HRWR calculated in the SCC design and added to the dry mixture obtained in the first step. In the case of this mixture, it was mixed for 1 more minute. Afterwards, the remaining mixing water (2/3 of the mixing water) was added, and the concrete mixer was operated for 1 more minute (Figure 3b). The produced fresh SCC mixtures were mixed for 1 more minute after resting for 1 minute. The preparation time of the mixture in the mixer was 5 minutes in total. The amounts of materials used in the design of SCC mixtures are given in Table 2. "SCCGPx" name format was used in naming the mixtures. "GPx" is used in the nomenclature of the mixture and "x" indicates the volume substitution ratio between glass sand and natural sand. Compliance with the SCC classification of the mixtures prepared using the EFNARC [24] standard was tested in the laboratory by slump flow test and V-funnel test (Figure 3c and d).

Table 2. Mix design of SCCs.

Mix ID	Cement (kg/m ³)	Glass Sand (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Natural Sand (kg/m ³)	Coarse Aggregate (kg/m ³)	HRWR (kg/m ³)
SCCGP0	600	0.00	228.00	970.35	577.02	9
SCCGP5	600	48.52	228.00	921.83	574.09	9
SCCGP10	600	97.04	228.00	873.32	571.43	9
SCCGP15	600	145.55	228.00	824.80	568.50	9
SCCGP20	600	194.07	228.00	776.28	565.83	9
SCCGP25	600	242.59	228.00	727.76	562.90	9
SCCGP30	600	291.11	228.00	679.25	560.24	9
SCCGP35	600	339.62	228.00	630.73	557.58	9



Figure 3. Laboratory fresh mixing, workability testing stages and curing.

In the hardened concrete tests, 48 samples produced from SCC mixtures as cubes were used. In fresh concrete tests, these cube samples were produced from mixes produced as SCC in accordance with EFNARC [24]. Cube samples were produced by placing them in molds of $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ made of fiberglass material. Axial pressure tests were carried out on the samples obtained with these cubic molds (Figure 3e). Meanwhile, charge-displacement relations were obtained. Concrete samples were removed from the molds 24 hours after they were placed in the molds and cured in 28-day tanks at $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ with lime water (Figure 3f). Although each experiment consisted of 3 samples for each mixture, the results were calculated as the average of these three samples.

3 Results and Discussion

3.1 Fresh State Test Results

In Figure 4, the flowing diameter and V-cone results from the fresh concrete test results made in the mixtures produced within the scope of the study are given. The control mix meets the requirements of the SF3 class Slump-flow class according to EFNARC [24] ($\geq 760 \text{ mm}$, $\leq 500 \text{ mm}$). In addition, the blends of SCCGP5, SCCGP10 and SCCGP15 meet the requirements of the SF2 class Slump-flow class ($\geq 660 \text{ mm}$, $\leq 750 \text{ mm}$), while the remaining mixtures meet the requirements of the SF1 class Slump-flow class ($\geq 550 \text{ mm}$, $\leq 650 \text{ mm}$). It was determined that the SCC reached a lower flow diameter as the glass sand replacement ratio increased (Figure 4).

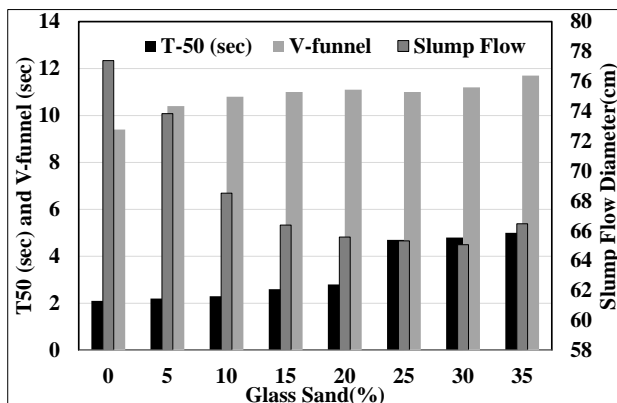


Figure 4. Workability testing results.

As the glass sand replacement rate used in the flow times measured with the V-funnel increases, an increase in the time is observed. On the other hand, when the v-funnel classes determined by EFNARC [24] were examined, it was determined that all mixtures were V-

funnel class VS2/ VF2 ($\geq 9 \text{ s}$, $\leq 25 \text{ s}$). In addition, T50 times $> 2 \text{ s}$ indicate that the mixtures fit this class (Figure 4).

3.2 Mander Concrete Model

Mander et al. [25], the theoretical stress-strain model developed for confined concrete is also valid for unconfined concrete if the confining effect is not taken into account (Figure 5).

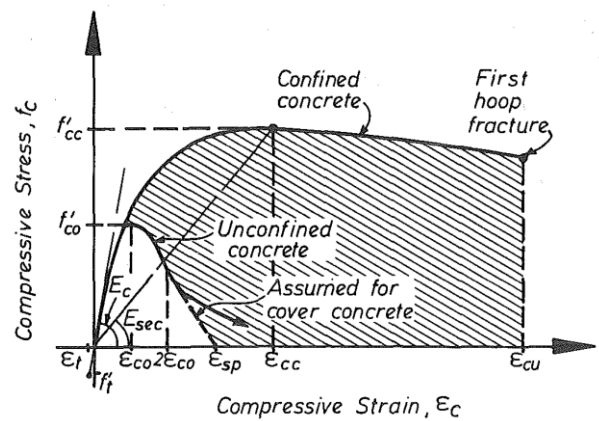


Figure 5. Stress-Strain model proposed for monotonic loading of confined and unconfined concrete [25].

The Mander [25] model for confined concrete is discussed in detail in literature. For the unconfined concrete, the effective confinement pressure for the confined concrete model is $f_c=0$ and $\lambda_c=1$ from Equation 1. Since $\lambda_c=1$, the values $f_{cc}=f_{co}$ and $\epsilon_{cc}=\epsilon_{co}$ are obtained from Equation 2 and Equation 3. The equations for the curve are given below.

$$\lambda_c = \left[2.254 + \sqrt{\frac{7.94 \times f_e}{f_{co}} - \frac{2 \times f_e}{f_{co}}} - 1.254 \right] \quad \epsilon_c > \epsilon_{cu} \quad (1)$$

$$f_{cc} = f_{co} \times \lambda_c \quad \epsilon_c > \epsilon_{cu} \quad (2)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \times [1 + 5 \times (\lambda_c - 1)] \quad (3)$$

The function definitions of the curve are evaluated in two parts. The first part is given in Equation 8 of the curve in the part defined for the pre-maximum stress point. The boundary condition for this curve is given as ($\epsilon_c \leq 2 \times \epsilon_{co}$). The other curve part is given in Equation 9. The conditions for this part are given with ($2 \times \epsilon_{co} < \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$). The equations for the curves of unconfined concrete are given below.

$$E_c = 5000 \times \sqrt{f_c} \quad (4)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (5)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (6)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \quad (7)$$

$$\sigma_c = \frac{f_{co} \times x \times r}{r - 1 + 2^r} \quad (8)$$

$$\sigma_c = f_{co} \times \left(\frac{2 \times r}{r - 1 + 2^r} \right) \times \left(1 - \frac{\varepsilon_c - 2 \times \varepsilon_{co}}{\varepsilon_{ctu} - 2 \times \varepsilon_{co}} \right) \quad (9)$$

Here, ε_{cc} is the deformation value at which the wrapped concrete reaches maximum stress; ε_{ctu} is the final unit deformation in unconfined concrete after pouring the shell concrete; f_{cc} is the compressive strength of the wrapped concrete; f_{co} , compressive strength of uncoated concrete; E_{sec} is the secant modulus of the concrete section.

In Figure 5, the use of the Mander [25] concrete model for unconfined concrete and confined concrete is given comparatively. In the unconfined concrete model, the unit strain value (ε_{co}) at which the concrete reaches the maximum stress is taken as 0.002. The unconfined concrete curve reaches its final strain linearly, assuming that the shell concrete is poured after $2\varepsilon_{co}$. Considering that the shell concrete is not poured, the unit strain will increase a little more.

3.3 Hardened Test Results

The mechanical test results of cube samples with dimensions of $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ obtained within the scope of the study are presented in this section. In the study, samples from two different age groups and 8 different mixtures were tested. 7 mixtures obtained by replacing the natural sand volume with a control mixture of glass sand in the range of 5-35% were examined within the scope of the study. First group samples and second group samples were left in the curing tank to cure at the same time. The first batch of samples were taken from the tanks at 7-days of age and tested. The second group was taken from the curing tanks and tested at 28 days of age. The load displacement values of these samples were obtained by testing them under axial pressure using a test device with a load capacity of 3000 kN. 7-day results were shown in Figure 6 and 28-day samples were shown in Figure 7. While axial strain is shown on the horizontal axis in the graphs, stresses are obtained on the vertical axis. The stress-strain results of 3 samples from each test mixture were used while plotting the graphs. The mean

curves obtained are the polynomial mean curves of 3 samples obtained using the MATLAB [26] program. The resulting AVE curve obtained and presented in the graphs are mathematical functional curves produced using experimentally obtained stress-strain curves. The maximum compressive strength of this curve, defined as AVE, was evaluated as the average compressive strength for these three curves. For the Mander [25] concrete model for unconfined concrete in the graphics, this value is used as the compressive strength value, ie f_{cc} (Figure 6 and 7). The compressive strength capacities of each sample are shown with the symbol "C" on the graphs (Figure 6 and 7). In addition, the mixing curves of the Mander [25] concrete model are presented in the graphs for each mixture using the capacity of the average curve obtained.

In general, the results of all mixture samples obtained for 7 days of age ranged from 65 to 73 MPa. On the basis of the samples, the lowest compressive strength was obtained from 35% by volume glass sand replacement, and the highest compressive strength was obtained from 30% volume glass sand replacement. It is also stated in other studies in the literature that some inconsistencies were observed in the results obtained. In the case of 10% to 25% glass sand replacement, the mean values of the mixture groups in the mean curves fitting the resulting stress-strain curves are almost the same. Moreover, results were calculated as 68 MPa. With 30% and 35% glass sand substitution by volume, the values were calculated as 67 and 64 MPa, respectively, as a result of this fitted average curve (Figure 6).

The results of all mixture samples obtained for 28 days of age ranged from 65 to 80 MPa. Based on the sample, the lowest compressive strength was obtained from 35% by volume glass sand replacement, and the highest compressive strength was obtained from 5% volume glass sand replacement. Within the scope of the study, which includes ground glass with different low fineness values examined in the literature, a similar change is observed in the materials defined as glass sand [27–29]. It was seen that the size of the glass sand used has a more specific surface than the extracted sand. For this reason, more cement meets the specific surface in the concretes produced. This can cause a reduction in compressive strength. In addition, the fact that the compressive strength of the glass sand used is weaker than the cement paste was predicted as another negative effect. In the case of 10% to 25% glass sand change, the mean values of the mixture groups in the mean curves matching the resulting stress-strain curves are almost the same. In addition, the average results were calculated as 68 MPa. With 30% and 35% glass sand substitution by volume, the values were calculated as 69 and 68 MPa, respectively, because of this fitted average curve (Figure 7).

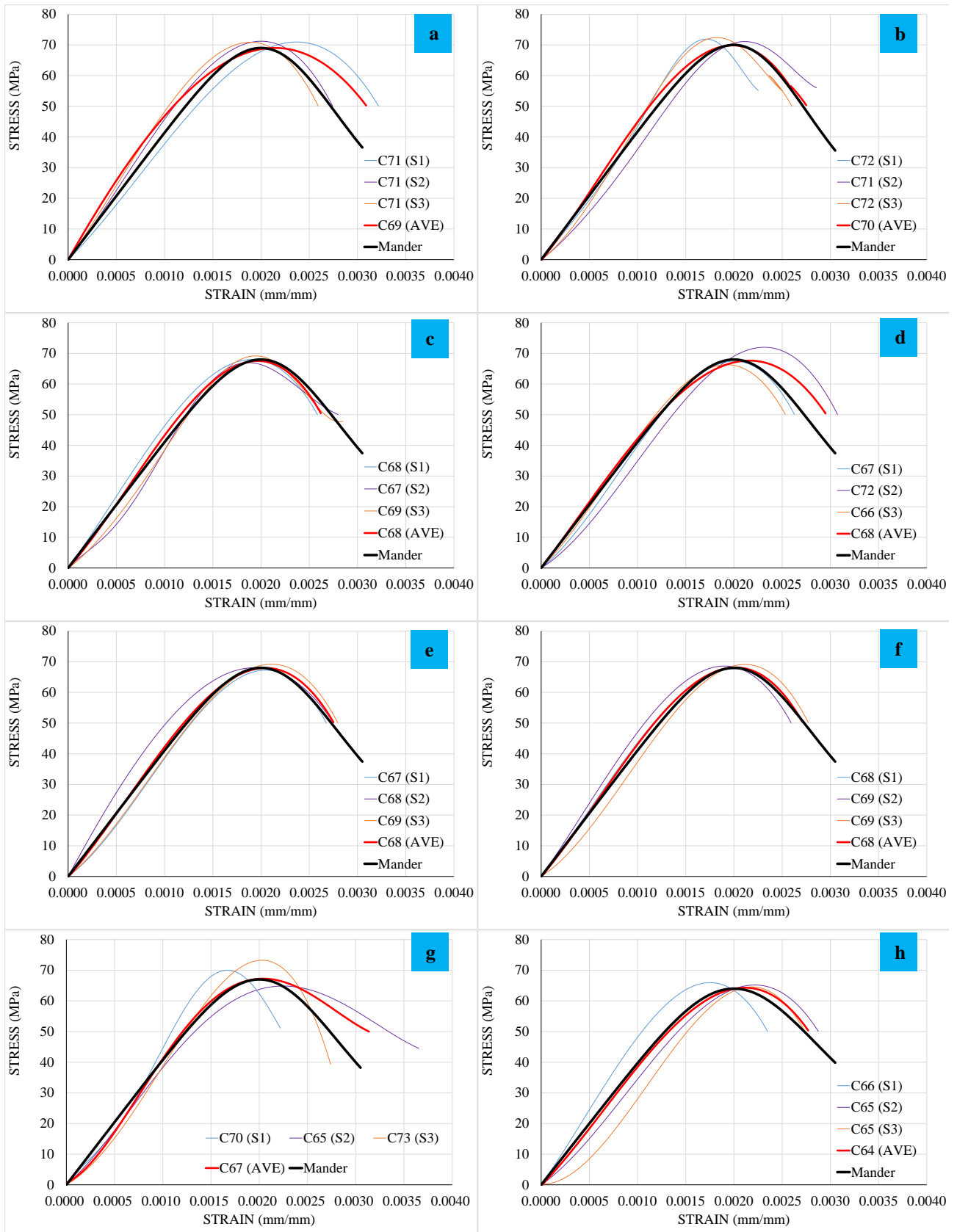


Figure 6. SCCs stress-strain results for the replacement level of a)%0, b)%5, c)%10, d)%15, e)%20, f)%25, g)%30 and h)%35 at 7-day age.

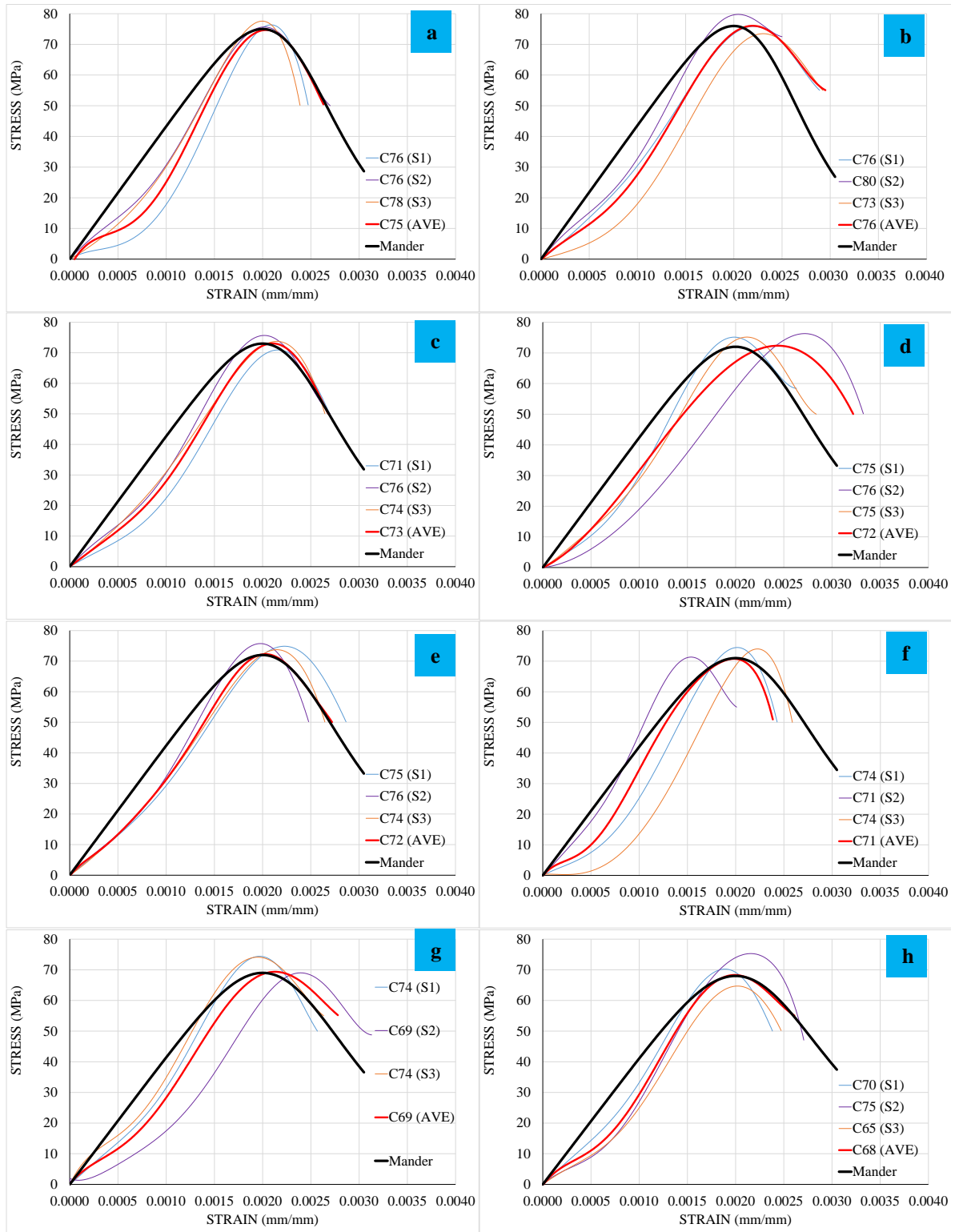


Figure 7. SCCs stress-strain results for the replacement level of a)%0, b)%5, c)%10, d)%15, e)%20, f)%25, g)%30 and h)%35 at 28-day age.

4 Conclusion

Within the scope of the study, waste soda glass bottles collected from waste sites and natural environment were separated by passing through 0.25-0.5 mm sieves after grinding. This glass sand produced by volume has replaced the natural sand in SCC. Natural sand and glass sand were substituted in increments of 5% between 5% and 35% by volume. SCC has been tested with new feature tests where it meets regulatory standards. Stress-

strain relationships were obtained for 7- and 28-days age samples from the mixtures obtained. These relationships were evaluated by comparing them with the Mander concrete model, which is frequently used in the literature. The results obtained are summarized below.

- It is seen that the load-displacement relations are in good harmony with the Mander concrete model, especially in the 7-day samples.

- Although the initial curves of the Mander concrete model did not match with the initial curves of the 28-day samples, it was observed that the Mander model used in particular approached the maximum compressive strength as it converged.
- The replacement of natural sand with 5% glass sand by volume slightly increased the compressive strength.
- Replacing natural sand with 10% to 20% by volume glass sand resulted in a slight reduction in compressive strength. Although the decrease in the average compressive strengths obtained is the same, it is seen that the stress-strain behaviors that occur are different from each other on the basis of the sample.
- The most significant compressive strength changes occur at 30-35% glass sand replacement. It is possible that the effectiveness of the specific surface area increased by glass sand with low compressive strength is even more effective with increased glass sand.

Declaration

Ethics committee approval is not required.

References

- [1] Arulrajah, A., Disfani, M. M., Haghghi, H., Mohammadinia, A., & Horpibulsuk, S. (2015). Modulus of rupture evaluation of cement stabilized recycled glass/recycled concrete aggregate blends. *Construction and Building Materials*, 84, 146–155.
- [2] Liu, F., Meng, L. Y., Ning, G. F., & Li, L. J. (2015). Fatigue performance of rubber-modified recycled aggregate concrete (RRAC) for pavement. *Construction and Building Materials*, 95, 207–217.
- [3] Silva, R. V., Neves, R., De Brito, J., & Dhir, R. K. (2015). Carbonation behaviour of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 62, 22–32.
- [4] Shang, H. S., Zhao, T. J., & Cao, W. Q. (2015). Bond behavior between steel bar and recycled aggregate concrete after freeze-thaw cycles. *Cold Regions Science and Technology*, 118, 38–44.
- [5] López-Gayarre, F., Blanco Viñuela, R., Serrano-López, M. A., & López-Colina, C. (2015). Influence of the water variation on the mechanical properties of concrete manufactured with recycled mixed aggregates for pre-stressed components. *Construction and Building Materials*, 94, 844–850.
- [6] Lotfi, S., Eggimann, M., Wagner, E., Mróz, R., & Deja, J. (2015). Performance of recycled aggregate concrete based on a new concrete recycling technology. *Construction and Building Materials*, 95, 243–256.
- [7] Naik, T. R., & Moriconi, G. (2005). Environmental-friendly durable concrete made with recycled materials for sustainable concrete construction. *CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development of Cement and Concrete*, 2.
- [8] Islam, G. M. S., Rahman, M. H., & Kazi, N. (2017). Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 37–44.
- [9] Jin, W., Meyer, C., & Baxter, S. (2000). “Glascrrete” - Concrete with glass aggregate. *ACI Structural Journal*, 97(2), 208–213.
- [10] Federico, L. M., & Chidiac, S. E. (2009). Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete - Critical review of treatment methods. *Cement and Concrete Composites*, 31(8), 606–610.
- [11] Torres, A., Brandt, J., Lear, K., & Liu, J. (2017). A looming tragedy of the sand commons. *Science*, 357(6355), 970–971.
- [12] Tamanna, N., Tuladhar, R., & Sivakugan, N. (2020). Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete. *Construction and Building Materials*, 239.
- [13] Isler, J. W. (2012). Assessment of concrete masonry units containing aggregate replacements of waste glass and rubber tire particles, 66, 37–39.
- [14] De Castro, S., & De Brito, J. (2013). Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 41, 7–14.
- [15] Du, H., & Tan, K. H. (2013). Use of waste glass as sand in mortar: Part II - Alkali-silica reaction and mitigation methods. *Cement and Concrete Composites*, 35(1), 118–126.
- [16] Ismail, Z. Z., & AL-Hashmi, E. A. (2009). Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 29(2), 655–659.
- [17] Sharifi, Y., Houshiar, M., & Aghehati, B. (2013). Recycled glass replacement as fine aggregate in self-compacting concrete. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 7(4), 419–428.
- [18] Zhao, H., Poon, C. S., & Ling, T. C. (2013). Utilizing recycled cathode ray tube funnel glass sand as river sand replacement in the high-density concrete. *Journal of Cleaner Production*, 51, 184–190.
- [19] Malik, M. I. (2013). Study of Concrete Involving Use of Waste Glass as Partial Replacement of Fine Aggregates. *IOSR Journal of Engineering*, 3(7), 08–13.
- [20] Ali, E. E., & Al-Tersawy, S. H. (2012). Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 35, 785–791.
- [21] Terro, M. J. (2006). Properties of concrete made with recycled crushed glass at elevated temperatures. *Building and Environment*, 41(5), 633–639.
- [22] Limbachiya, M. C. (2009). Bulk engineering and durability properties of washed glass sand concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 1078–1083.
- [23] Oliveira, L. A. P. D., Gomes, J. C., & Santos, P. (2008). Mechanical and durability properties of concrete with ground waste glass sand. *Artigo em encontro científico internacional*.
- [24] EFNARC, & The European Project Group. (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use. *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, (May), 63.
- [25] Mander, J. B., & Priestley, M. J. N. (1989). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *J. Struct. Eng*, 114(8), 1804–1826.
- [26] MATLAB. (2010). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- [27] Harrison, E., Berenjian, A., & Seifan, M. (2020). Recycling of waste glass as aggregate in cement-based materials. *Environmental Science and Ecotechnology*, 4.
- [28] Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., & Rodriguez, D. (2000). Studies on concrete containing ground waste glass. *Cement and Concrete Research*, 30(1), 91–100.
- [29] Letelier, V., Henriquez-Jara, B. I., Manosalva, M., Parodi, C., & Ortega, J. M. (2019). Use of waste glass as a replacement for raw materials in mortars with a lower environmental impact. *Energies*, 12(10)



A HYBRID ANDROID FRONTEND DEVELOPMENT APPROACH WITH TRADITIONAL NESTING LAYOUTS AND CONSTRAINT LAYOUT

Yusuf Özçevik*¹ 

¹Department of Software Engineering, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Android operating system is a mobile platform that draws attention with the variety of devices it supports and its widespread use. On the other hand, devices with different sizes and screen resolutions require application developers to consider multi-screen support. For this, different layout objects in the Android Software Development Kit (Android SDK) are used by dividing them into parts in certain proportions. While using traditional nested layouts in old Android SDK versions; it is recommended to use constraint layout in the recent versions. On the other hand, converting structures in existing projects to entirely constraint layouts creates both a maintenance cost for the project lifecycle and a learning cost for the developers. Accordingly, this study proposes a hybrid multi-screen support approach using traditional nested layouts and the constraint layout, together. The performance of the proposed approach is compared with the screen loading times of the traditional method and the contemporary method. As a result, it is observed that there is no significant performance difference, especially on new generation devices with up-to-date hardware; whereas it is revealed that devices with old generation hardware experience performance problems when the number of nested layouts used increases. Thus, appropriate use cases for the proposed hybrid approach are discussed.

Keywords: Android programming, multi-screen support, traditional nested layouts, constraint layout.

GELENEKSEL İÇ İÇE YERLEŞİMLER VE KISIT YERLEŞİMİ İÇEREN MELEZ ANDROID ÖN YÜZ GELİŞTİRME YAKLAŞIMI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Android işletim sistemi, desteklediği cihaz çeşitliliği ve yaygın kullanım oranı ile dikkat çeken bir mobil platformdur. Öte yandan, farklı boyut ve ekran çözünürlüğüne sahip cihazlar, uygulama geliştiricilerin çoklu ekran desteğini dikkate almalarını gerekli kılar. Bunun için, Android Yazılım Geliştirme Kiti (Android YGK) içerisinde bulunan farklı ön yüz nesnelere belirli oranlarda parçalara bölünerek kullanılmaktadır. Eski Android YGK sürümlerinde geleneksel iç içe yerleşimler kullanılırken; güncel sürümlerde ise kısıt yerleşimi kullanımı tavsiye edilmektedir. Öte yandan, mevcut projelerdeki yapıların tamamen kısıt yerleşimi içeren ön yüzlere dönüştürülmesi, hem proje yaşam döngüsü için bakım maliyeti hem de geliştiriciler için öğrenme maliyeti oluşturmaktadır. Buna göre, bu çalışmada, geleneksel iç içe yerleşimler ile kısıt yerleşiminin kullanıldığı melez bir çoklu ekran desteği yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen yaklaşımın performansı, geleneksel yöntemin ve güncel yöntemin ekran yükleme süreleri ile kıyaslanmaktadır. Sonuç olarak, özellikle güncel donanıma sahip yeni nesil cihazlarda kayda değer bir performans farklılığı yaşanmadığı görülürken; kullanılan iç içe yerleşimlerin sayısı arttıkça, eski nesil donanıma sahip cihazlarda performans sorunları yaşandığı ortaya konmaktadır. Böylece, önerilen melez yaklaşım için uygun kullanım durumları tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Android programlama, çoklu ekran desteği, geleneksel iç içe yerleşimler, kısıt yerleşimi.

1 Giriş

Modern bilişim teknolojilerindeki gelişmeler geçtiğimiz yüzyılda hızlanarak günümüzde kullanılan bilgisayar destekli sistemlerin temelini oluşturmuştur [1]. Yirminci yüzyılın ortalarında tanıtılan ilk genel kullanım amaçlı bilgisayardan bu yana donanım bileşenlerinin

boyutu hızla küçülürken, sahip oldukları işlem yeteneği son derece artmıştır [2]. Donanım teknolojilerindeki bu gelişmeler kişisel bilgisayar kavramını ortaya çıkararak önce sabit konumlu daha sonra taşınabilir bilgisayarların yaygınlaşmasına neden olmuştur. Günümüzde ise taşınabilir bilgisayar donanımları daha da küçülerek cepte taşınabilir, giyilebilir hatta insan vücuduna yerleştirilebilir

* Corresponding author.

E-mail address: yusuf.ozcevik@cbu.edu.tr (Y. Özçevik)

Received 13 May 2022; Received in revised form 14 September 2022; Accepted 15 November 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1116222>

hale gelmiştir [3]. Bilgisayar donanımları ile ilgili yaşanan teknolojik gelişmeler bilgisayar yazılımlarının hedef platformunu, teknik özelliklerini ve mimari yapısını büyük oranda değiştirmiştir. Başlangıçta hantal ve büyük iş istasyonları için geliştirilen yazılımlar genelde bir konsol ekranı üzerinden son kullanıcı etkileşimi sağlarken, kişisel bilgisayarların hayatımıza girmesiyle masaüstü yazılım uygulamaları yaygınlaşmıştır. Diğer yandan, iletişim teknolojilerindeki gelişmeler ve yirminci yüzyılın sonlarına doğru kişisel kullanım için yaygınlaşan internet kavramı ile yazılım uygulamalarının tarihsel seyri tamamen değişmiştir [4]. İnternet kavramının günlük hayatta kullanılmasıyla birlikte son kullanıcı uygulamaları büyük oranda web platformlarına kaymıştır. Ayrıca, iletişim teknolojilerinin yarattığı bu değişim donanım teknolojileri için yeni hedefler belirlemiştir. Yirmi birinci yüzyılın başlarında akıllı telefonların ve mobil işletim sistemlerinin tanıtılmasıyla yazılım uygulamaları için yeni bir hedef platform ortaya çıkmıştır [5]. Dahası, mobil işletim sistemlerinin yaygınlaşmasıyla, bilgisayar sistemlerinde süregelen donanımsal değişim akıllı telefonlarla sınırlı kalmayıp; giyilebilir donanımlar, otomobiller, akıllı ev aletleri gibi günlük hayatta insan etkileşimine konu olan birçok nesneye yansımıştır.

1.1 Android İşletim Sistemi ve Android Uygulamaları

Android işletim sistemi, farklı tür donanımlara yazılım geliştirmek için kullanılan en yaygın platformlardan biridir [6]. 2008 yılında yayımlanan ilk kararlı sürümüyle birlikte başlangıçta akıllı telefonlara yönelik uygulama geliştirmeye olanak sağlasa da, ilerleyen yıllarda desteklediği donanım çeşitliliği artmıştır [7]. Akıllı telefonlar için günümüzde sağlıktan, eğitime; eğlenceden, finans sektörüne kadar birçok farklı alanda Android uygulamaları mevcuttur. Akkara vd. göz doktorları için klinik veri toplamak ve hasta takibi yapmak üzere kullanılan Android telefon uygulamalarını inceleyerek farklı teknoloji seviyesinde yönlerini ortaya koymaktadır [8]. Venkataraman vd. öğretmen eğitimi müfredatının yürütülmesi ve takip edilmesi için eğitim alanında bir Android cep telefonu uygulaması geliştirmektedir [9]. Sweidan vd. eğitim ve oyun kavramlarını birleştiren sanal gerçeklik tabanlı bir telefon uygulaması önermektedir [10]. Dieter vd. bankacılık uygulamaları için geliştirilen mobil uygulamaların özelliklerine ilişkin bir çalışma ortaya koymaktadır ve güvenlik tehditlerinin nasıl önleneceğine vurgu yapmaktadır [11].

Telefon uygulamalarının yanı sıra, Android işletim sistemine sahip akıllı tabletler için geliştirilen birçok mobil uygulama mevcuttur. Matic vd. akıllı tablet ile kalem kullanmadan, sadece insan parmağı ile çizim yapmak üzere bir çizim uygulaması geliştirmiştir [12]. Papadakis vd. çocuklar için geliştirilen eğitici tablet uygulamalarının sosyal, duygusal ve bilişsel gelişime uygunluğunu araştırmaktadır [13]. Maher vd. bir Android tablet uygulamasıyla ormanların gerçek zamanlı izlenmesi ve orman sağlığı için aykırı durumların yönetilmesine ilişkin bir uygulama önermektedir [14].

Donanım sektöründeki gelişmelere paralel olarak, 2014 yılından bu yana Android işletim sistemine sahip televizyonlar için uygulama geliştirme imkânı ortaya

çıkıştır. Bu yönden, farklı amaçlarla akıllı televizyon uygulamaları geliştirmek mümkündür. Aafer vd. akıllı televizyonlarda yer alan uygulamalar için anomali tespiti yaparak güvenlik açıklarını ortaya çıkarmaya yarayan bir akıllı televizyon uygulaması önermektedir [15]. Skorupska vd. ise, TEDx çeviri sisteminde yer alan hataların tespitini kitle kaynak kullanımı ile sağlamak amacıyla, özellikle yaşlı bireylerin kullanımını hedefleyen, bir akıllı televizyon uygulaması ortaya koymaktadır [16].

2015 yılından bu yana ise, giyilebilir cihazlar ve otomobiller için uygulama geliştirmek üzere Android uygulama geliştirme araçları yaygın olarak kullanılmaktadır. Jisha vd. tarafından geliştirilen uygulamada, çocukların ebeveynler tarafından uzaktan takip edilmesi için, okul servisinin ve öğrencilerin konumu bir saat ile izlenmektedir [17]. Pajic vd. çalışmalarında, Android uygulamalar ile bilgi ve eğlence tabanlı yeni nesil otomobil tasarımının mümkün olduğunu göstermektedir [18]. Ayrıca, Android işletim sistemi ile geliştirilen ve farklı uygulama alanları için dağıtılan uygulamalar, tüm bu donanımlarla sınırlı kalmayarak nesnelerin interneti kavramına yönelik gömülü yazılım ürünlerini de içermektedir [19]. Dahası, Android uygulamalar her çeşit donanıma ayrı ayrı geliştirilebileceği gibi, bulut tabanlı bir ekosistemde farklı istemciler üzerinde koşturmak üzere geliştirilebilir [20].

1.2 Çoklu Ekran Desteği Problemi

Android işletim sistemi koşan ve Android uygulama çalıştırmayı destekleyen donanımların bu denli çeşitliliğe sahip olması, yazılım geliştiriciler için bazı zorluklar ortaya çıkarmıştır. Bu zorlukların en başında çoklu ekran desteği gelmektedir. Çoklu ekran desteği bir Android uygulamasının, farklı çözünürlük ve boyuta sahip cihazlarda, aynı kullanıcı ön yüzü ile gösterilerek aynı kullanıcı deneyimini yansıtmaması anlamına gelmektedir [21]. Profesyonel bir yazılım ürününün, farklı boyut ve çözünürlükte ekranlar içeren her donanımda uygun şekilde görüntülenmesi gerekir. Apple şirketi tarafından sunulan iOS yazılımları sadece Apple tarafından desteklenen standart bir donanım kümesi üzerinde çalışırken; açık kaynak kodlu Android işletim sistemi çok sayıda dağıtıcı tarafından kullanılmaktadır ve geniş bir donanım kümesinde yer alan cihazlarla desteklenmektedir.

Android platformunda çoklu ekran desteği probleminin üstesinden gelmek için literatürde farklı yaklaşımlar yer almaktadır. Bunlardan biri çapraz platform uygulama geliştirme olarak bilinen yaklaşımdır. Bu yaklaşım kullanılarak, tek bir kaynak kodu tabanı ile farklı platform ve donanımlara uygulama çözümleri geliştirmek mümkündür. Biörn-Hansen vd. çalışmalarında, çapraz platform uygulama geliştirme performansını incelemiştir [22]. Yazarlar, bu yaklaşımın performans olarak tatmin edici uygulamalar geliştirmeye olanak sağladığını belirtmiştir. Diğer yandan, çapraz platform uygulama geliştirme kütüphanelerinin kullanıcı deneyimi konusunda aynı başarıya sahip olup olmadığı tartışılabilir. Google, Android platformu için tasarlanan uygulamalarda *Material Design* adı verilen yerel tasarım kalıplarını önermektedir [23]. Benzer şekilde, Apple, iOS

uygulamalarda kullanıcı deneyimini belirleyen *Cupertino* tasarım kalıplarını ön plana çıkarmaktadır [24]. Yerel kütüphanelerde yer alan bu tasarım kalıplarının, en yüksek kullanıcı deneyimi için oluşturulduğu göz önüne alındığında; çapraz platform uygulama geliştirme yaklaşımlarının, yerel uygulama geliştirme yaklaşımları kadar kullanıcı deneyimi sunamadıkları bilinmektedir. Android uygulamaların çoklu ekran desteği sorununun çözümü olarak uygulanan bir diğer yaklaşım, profesyonel yazılım uygulamalarının sadece belirli cihazlar tarafından çalıştırılmasını koşullandırmaktır. Diğer bir deyişle, uygulama, geliştirilen tasarımın uygun şekilde görüntülediği cihazlara yüklenebilirken; diğer cihazlara yüklenmesi engellenmektedir. Guan vd. çalışmalarında, ekran kısıtlarıyla ilgili koşullandırmaların *Manifest.xml* dosyasında gerçekleştirilebileceğine değinmektedir [25]. Oysaki, bu durum, çoklu ekran desteği problemini tam anlamıyla çözmek yerine, uygulamanın dağıtılabildiği donanım sayısını kısıtlayarak, sorunu yokmuş gibi göstermektedir. Daha uygun bir yaklaşım ise, uygulamanın hedeflediği tüm cihazların ekran özellikleri göz önüne alınarak, ön yüz tasarımının her bir cihaz için en yüksek kullanıcı deneyimi ile son kullanıcılara sunulmasıdır. Bu yaklaşım, zaman ve kaynak maliyetinin yönetimi açısından uygulanabilir görülmesi de otomatik ön yüz oluşturan bazı araçlar ile daha verimli hale getirilebilir. Chen vd. farklı ekran boyut ve çözünürlüğüne sahip donanımlar için otomatik ön yüz oluşturan bir araç tanıtmaktadır [26]. Ne var ki, bu tür araçların lisanslı kullanımı bir ücretlendirmeye tabi olup, üstüne öğrenme maliyeti de eklenmektedir. Android çoklu ekran desteği için en yaygın kullanılan yaklaşımın, oransal bir ekran tasarımı ile sağlandığı söylenebilir. Bu yaklaşımda, geleneksel sırasal yerleşim ve bağıl yerleşim nesnelere ile uygulama ekranı belirli oranlara bölünerek, her bir yerleşim içerisinde boyutları cihaz ekranına oransal olarak sınırlandırılmış bir ön yüz nesnesi eklenmektedir. Bu durum, iç içe yerleşim sayısı arttıkça bileşen ağacı derinliğini artmasına sebep olmaktadır ve Android işletim sistemi tarafından ön yüzün ekrana yüklenme süresini artırmaktadır. Mondal vd. birçok donanımda karşılaşılan ön yüzün yavaş oluşturulma probleminin sebebi olarak çok sayıda iç içe sırasal ve bağıl yerleşimler kullanılmasını göstermektedir [27]. İç içe yerleşimler sebebiyle uygulama ön yüzlerinin ekrana yavaş yüklenmesi problemi, 2018 yılında tanıtılan AndroidX sürümündeki kısıt yerleşimi ile ortadan kaldırılmıştır [28]. Kısıt yerleşimi, bileşen ağacının aynı düzeyinde yer alan bileşenler arasında bazı nitelikler tanımlayarak oransal çalışmaya olanak sağlamaktadır. Böylece, iç içe yerleşimler kullanıldığında ortaya çıkan bileşen ağacı derinliğinin artması durumu önlenmektedir. Bielik vd. kısıt yerleşimleri ile hızlı, güvenli ve çoklu ekran desteği sağlayan ön yüzler tasarlanabileceğini belirtmektedir [29]. Kısıt yerleşimleri, çoklu ekran desteği sorununa büyük oranda çözüm oluştururken; öğrenme maliyeti ve mevcut projeler için ön yüzlerin kısıt yerleşimi kullanarak tekrar oluşturulması sorununa yol açmaktadır.

Yukarıda belirtilen motivasyonlara göre, Android işletim sisteminin yaygın kullanımı ve çoklu ekran desteğine ilişkin zorluklar dikkate alındığında bu çalışmada önerilen fayda aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çoklu ekran desteği için geleneksel iç içe yerleşimler ve kısıt yerleşimi içeren melez bir ön yüz geliştirme yaklaşımı önerilmektedir.
- Önerilen melez yaklaşımın performansı geleneksel iç içe yerleşimlere göre ve kısıt yerleşimine göre ayrı ayrı kıyaslanmaktadır.
- Farklı cihaz donanımları ve farklı sayıda bileşen içeren ön yüz nesnelere oluşan bir değerlendirme ortamı hazırlanarak değerlendirme sonuçları ortaya konmaktadır.

Çalışmanın geri kalanında ilk olarak Android ön yüz geliştirme yaklaşımları ve karşılaşılan performans probleminin açık tanımına yer verilmektedir. Sonrasında önerilen yaklaşımın detayları ve performans değerlendirmesine ilişkin bulgular ortaya konarak çalışma sonlandırılmaktadır.

2 Android Ön Yüz Geliştirme Yaklaşımları

Android uygulama geliştirirken tasarlanan ön yüzler için farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Bu durumu somutlaştırmak için Şekil 1 ile gösterilen örnek bir uygulama ön yüzü tasarımı tanıtılmaktadır. Şekilde yer alan tasarımın kullanıcı girişi sağlayan bir Android ekranı için geliştirildiği düşünülebilir. Bu tasarımın en üst kısmında logo içeren bir resim görünümü, onun altında başlık bilgisi içeren bir metin, orta kısımda kullanıcı adı ve şifre bilgilerini almak için iki adet metin kutusu ve en alt kısımda giriş yapmak için bir buton yer almaktadır. Şeklin sol tarafında yer alan tasarım penceresi ile sağ tarafında yer alan ve ön yüz bileşenlerinin konumlanmasını gösteren pencere Android Studio tümeşik geliştirme ortamından (TGO) bir ekran görüntüsü ile elde edilmiştir. Bu tasarımın geliştirilmesi için sadece kısıt yerleşimi kullanılabileceği gibi, geleneksel yerleşimler içeren iç içe bileşenler de kullanılabilir. Kullanılan yaklaşım, bileşen ağacı derinliğini değiştireceği için uygulama performansını etkilemektedir.

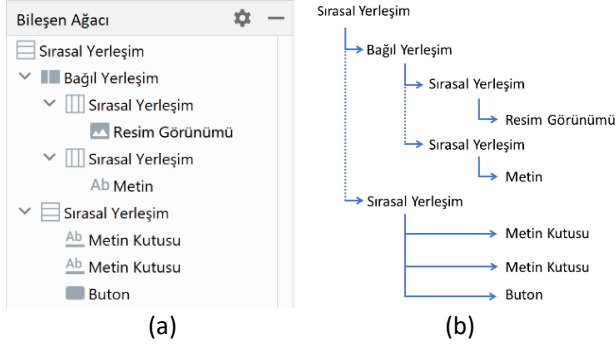


Şekil 1: Bir Android uygulaması için hazırlanan örnek ön yüz tasarımına ilişkin Android Studio ortamından alınan ekran görüntüsü.

2.1 Geleneksel Yerleşimler

Geleneksel yerleşimler, Android YGK'nın erken sürümlerinden itibaren kullanılan yerleşim bileşenlerinden oluşmaktadır. Sırasal yerleşim ve bağıl yerleşim yaygın kullanılan geleneksel yerleşimlerden ikisidir. Sırasal yerleşim, içerisinde bulunan bileşenleri

yatayda veya dikeyde sıralayarak bir görünüm oluşturur. Bağlı yerleşim ise, içerdiği bileşenleri kendisine göre veya birbirlerine göre bağlı olarak konumlandırmak için kullanılmaktadır. Bu iki yerleşim bileşenini kullanarak herhangi bir ön yüz tasarımı geliştirmek mümkündür. Çoklu ekran desteğine yönelik olarak oransal çalışmak için sırasal yerleşimlerin ve bağlı yerleşimlerin iç içe kullanılması gerekebilir.

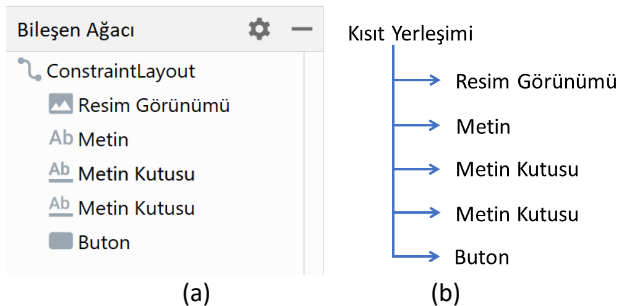


Şekil 2: Geleneksel iç içe yerleşimler ile oluşturulan bir ekran tasarımının bileşen ağacına ilişkin (a) Android Studio geliştirme ortamından alınan ekran görüntüsü (b) bileşenlerin mantıksal dizilimi.

Şekil 1 ile verilen tasarımı geleneksel iç içe yerleşimler kullanarak gerçekleştirmeyi göz önüne alırsak, Şekil 2 ile gösterilen bir bileşen ağacı elde edilebilir. Şekil 2.a Android Studio TGO üzerinden alınan ekran görüntüsünü yansıtırken; Şekil 2.b bu ön yüzde bulunan bileşenlerin mantıksal hiyerarşisini göstermektedir.

2.2 Kısıt Yerleşimler

AndroidX sürümü ile birlikte geleneksel yerleşimlere alternatif olarak kısıt yerleşimi kavramı ortaya çıkmıştır. Buna göre, iç içe yerleşimlere gerek kalmadan, bileşenleri bazı kısıtlar tanımlamak suretiyle konumlandırmak mümkündür. Kısıt yerleşimleri için, çoklu ekran desteği, bileşenlerin en ve boy niteliklerine oranlar atayarak elde edilmektedir. Şekil 1 ile verilen ön yüz tasarımı, geleneksel iç içe yerleşimler yerine sadece kısıt yerleşimi kullanarak geliştirilirse, Şekil 3 ile gösterilen bir bileşen ağacı elde edilebilir.



Şekil 3: Kısıt yerleşimi ile oluşturulan bir ekran tasarımının bileşen ağacına ilişkin (a) Android Studio geliştirme ortamından alınan ekran görüntüsü (b) bileşenlerin mantıksal dizilimi.

Şekil 3.a Android Studio TGO üzerinden alınan ekran görüntüsünü yansıtırken; Şekil 3.b bu gerçekleştirimin mantıksal hiyerarşisini göstermektedir. Buna göre, kısıt yerleşimi kullanıldığında elde edilen bileşen ağacı,

geleneksel yerleşimler kullanıldığında elde edilen ağaca göre daha az bileşene sahiptir ve bileşen ağacı derinliği daha azdır. Ayrıca, yerleşim dosyalarında kullanılan içerik sayısı azaldığı için kaynak kodun boyutu da azalmaktadır.

Kısıt yerleşiminin geleneksel yerleşimlere göre avantajlı görünmesinin yanı sıra, özellikle karmaşık ön yüz tasarımlarının kısıt yerleşimleri kullanılarak dönüştürülmesi maliyetli bir operasyondur. Bu maliyet, mevcut projeler için hem zaman maliyetini içermektedir. Öte yandan, Android TGO tarafından sunulan otomatik bazı ön yüz dönüştürücülerinin mevcuttur. Bu araçlar kullanılarak, geleneksel yerleşimlerle hazırlanmış bir ön yüz, kısıt yerleşimine dönüştürülebilir. Ancak, çoklu ekran desteğinin kapsamı göz önüne alındığında, kısıt yerleşimi kullanarak, aynı tasarımı farklı bileşen ağaçlarıyla ifade etmek mümkündür. Bu nedenle, bu tür dönüşüm araçları, bileşenlerin yerleşimini olası dönüşümlerden birini seçerek gerçekleştirir. Sonuçta, dönüştürülen kodların mutlaka tekrar incelenmesi ve gerekirse düzenlenmesi gerekir.

2.3 Problem Tanımı

Android işletim sistemi, bir ön yüzde bulunan bileşenleri ekranda göstermek üzere ölçüm, yerleşim ve çizim adında üç temel adım çalıştırmaktadır. Bu adımlarda ele alınan işlemler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

Ölçüm: Her bir bileşenin ve içerdiği alt bileşenlerin ölçülerini belirlemek için bileşen ağacı kökten yapraklara doğru taranır ve ölçüler hesaplanarak kaydedilir.

Yerleşim: Bileşen ağacında kökten yapraklara doğru bir tarama daha gerçekleşir ve her bir ön yüz bileşeni için ölçüm aşamasında hesaplanan boyutlar kullanılarak nesnelere ve içerdikleri alt nesnelere konumları belirlenir.

Çizim: İşletim sistemi bileşen ağacı üzerinde kökten yapraklara doğru bir tarama daha yapar. Bileşen ağacındaki her nesne için, GPU'ya bir çizim komutları listesi göndermek üzere bir Canvas nesnesi oluşturulur. Bu komutlar, sistemin önceki 2 aşamada belirlediği bileşenlerin boyutlarını ve konumlarını içerir. Böylece, bu adımın sonunda, tasarımda yer alan her bir bileşen ekranda belirir.

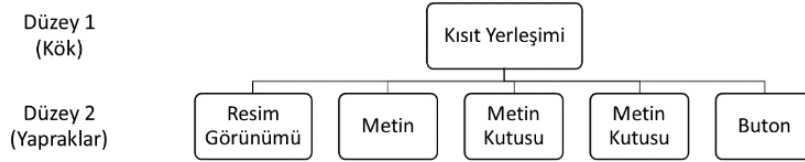
İşletim sistemi ön yüz nesnelere ekrana yüklerken, yukarıda belirtilen her bir adım için bileşen ağacını tekrar taradığı için, bileşen ağacı derinliği uygulama performansını etkilemektedir. Bu durumu, çalışmada ele aldığımız örnek üzerinden somutlaştırmak gerekirse, Şekil 4 ile verilen bileşen ağacı kökten yapraklara doğru uzanan ön yüz düğümlerinden oluşmaktadır. Kök düğümü ekrana saran bir sırasal yerleşim nesnesidir. Yapraklar, ekranda görüntülenen resim görünümü nesnesi, metin nesnesi, metin kutusu nesnesi (2 adet) ve buton nesnesinden oluşmaktadır. Arada yer alan diğer düğümler ise çoklu ekran desteği için oranlamaların yönetildiği yerleşim nesnelere temsil etmektedir. Ele alınan bu yapıda, bileşen ağacının derinliği 4 olarak hesaplanabilir. Bu ön yüzde yer alan her bir bileşen çizim adımları sırasında işletim sistemi tarafından üçer kez taranmaktadır.



Şekil 4: Geleneksel yerleşimlerle oluşturulan örnek ön yüzün ekranda görüntülenmesi sırasında işletim sistemi tarafından taranan bileşen ağacı.

Çalışmada ele alınan örnek ön yüz tasarımı sadece kısıt yerleşimi kullanılarak çizdirildiğinde, bileşen ağacı Şekil 5 ile gösterilen yapıda olmaktadır. Kısıt yerleşimi ile tasarlanan ön yüzde, çoklu ekran desteği için fazladan yerleşim nesnelere gerek duyulmamaktadır. Bu nedenle, kök düğümü doğrudan yapraklarla ilişkilendirilebilir.

Oransal düzenlerin oluşturulması içinse kısıt tanımlamalarından faydalanılır. Sonuç olarak, ağacın derinliği 2 olacağı için, içerisinde yer alan tüm bileşenlerin işletim sistemi tarafından ekrana yüklenmesi sırasında ağaç taraması sebebiyle meydana gelen zaman kaybı azalacaktır.

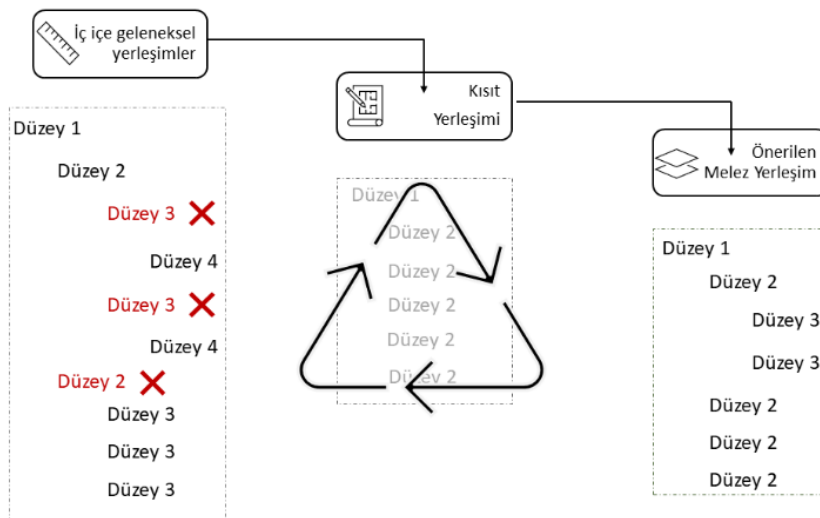


Şekil 5: Kısıt yerleşimi ile oluşturulan örnek ön yüzün ekranda görüntülenmesi sırasında işletim sistemi tarafından taranan bileşen ağacı.

Kısıt yerleşiminin geleneksel yerleşimlere göre performans üstünlüğü, ön yüz bileşenlerinin işletim sistemini tarafından ekrana çizdirilme süreciyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, bileşen ağacı derinliğinin belirli düzeyin üstüne çıkması, uygulamalarda ön yüzün yavaş yüklenmesi sorununu doğurmaktadır. Bu durum, özellikle düşük işlem yeteneğine sahip cihazlarda, kullanıcı deneyimi için bazı olumsuzlar ortaya çıkarmaktadır. Öte yandan, mevcut projeler için kısıt yerleşimi uygulanırken ortaya çıkan öğrenme maliyeti olabildiğince düşük düzeyde tutulmalıdır. Böylece, uygulama ile sağlanan kullanıcı deneyimi ve geliştirme maliyeti arasında uygun bir denge kurulabilir.

3 Önerilen Yaklaşım

Bu çalışmada, geleneksel iç içe yerleşimler ile modern kısıt yerleşimini birlikte kullanarak her iki yaklaşımın avantajlarına sahip melez bir yaklaşım önerilmektedir. Bu sayede, kısıt yerleşimlerinin uygulanması sırasında karşılaşılan maliyetlerin azaltılması ve geleneksel yerleşimlerin performans sorununun aşılması hedeflenmektedir. Bu amaçla, ele alınan yaklaşımın farklı karmaşıklıkta ön yüz tasarımlarına uygulanması ve farklı donanımlarda ne gibi performans farklılıklarının ortaya çıktığını gözlemlemek üzere Şekil 6'daki blok diyagram ile verilen süreç takip edilmektedir.



Şekil 6: Önerilen melez ön yüz geliştirme yaklaşımının uygulanmasına ilişkin blok diyagram.

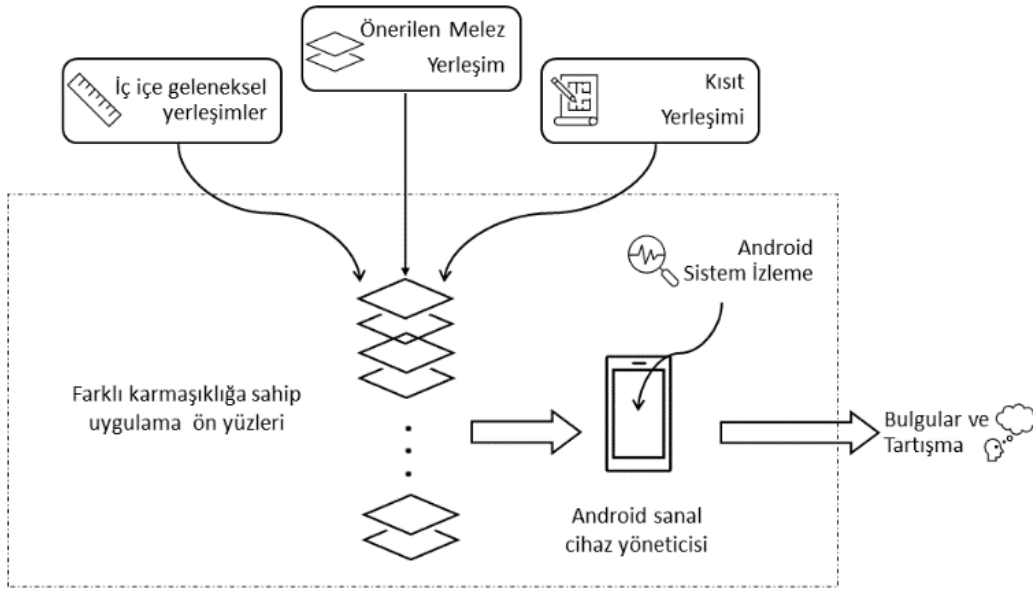
Şekilde yer alan blok diyagram için önceki bölümlerde tanıtılan örnek ekran tasarımı ele alınmaktadır. Buna göre, ilgili ekran tasarımında sadece geleneksel iç içe yerleşimler kullanmak yerine; geleneksel yerleşimlerin kısıt yerleşimi ile birlikte kullanılması önerilmektedir. Böylece, önerilen melez ön yüz geliştirme yaklaşımında oluşan bileşen ağacının derinliğinin azaltılması hedeflenmektedir. Bu durumu Şekil 6 üzerinde somutlaştırmak gerekirse, sadece geleneksel yöntem ile elde edilen ve iç içe bileşenlerden oluşan soldaki ön yüz tasarımında yer alan yapraklar en fazla dördüncü düzeyde yer almaktadır. Diğer bir deyişle, ekrana çizdirilen ön yüz bileşenlerinin tutulduğu bileşen ağacı derinliği dörttür. Bu yapıda yapraklardan hemen önce yer alan ve kırmızı renk ile belirtilen *Düzye 3* ve *Düzye 2* bileşenleri, kısıt yerleşiminin tasarıma dahil edilmesiyle birlikte bileşen ağacından kaldırılabilir. Bu sayede, en sağda gösterilen ve melez yaklaşım ile elde edilen bir ön yüz tasarımında yaprakların sahip olduğu en yüksek düzey üçüncü düzey olarak belirlenmektedir. Böylece, bileşen ağacının derinliği dörtten üçe düşürülerek azaltılmaktadır.

Önerilen melez yaklaşımda, geleneksel iç içe yerleşimlerin çoklu ekran desteği için oransal çalışma özelliği ve kullanım kolaylığından faydalanılır. Diğer

yandan, kısıt yerleşimlerinin farklı geleneksel yerleşimler içerisinde parçalı olarak kullanılmasıyla performans kazancı elde edilmeye çalışılır. Sonuç olarak, hem geleneksel yerleşimlerin hem de kısıt yerleşiminin avantajlı yanlarını ortaya çıkaran melez bir ön yüz geliştirme yaklaşımı elde edilir.

4 Performans Değerlendirmesi

Çalışmada önerilen melez ön yüz geliştirme yaklaşımı ile, geleneksel iç içe yerleşimleri ve kısıt yerleşimini birlikte kullanarak elde edilen ön yüz tasarımlarının performans kıyaslaması ele alınmaktadır. Performans ölçümleri için hazırlanan değerlendirme ortamı ve içerdiği bileşenler Şekil 7 ile gösterilmektedir. Buna göre, her bir yöntemle farklı sayıda bileşen içeren ve farklı bileşen ağaçları ile temsil edilen ön yüz tasarımları oluşturularak bir dizi deney tekrarlanmaktadır. Her bir deneyde, çalışmada ele alınan üç yaklaşım ile ayrı ayrı tasarlanan ön yüzlerin ekrana yüklenme süreleri ölçülmektedir. Böylece, farklı ön yüz karmaşıklıklarına sahip ön yüz tasarımları için hangi yöntemin daha verimli çalıştığı araştırılmaktadır.



Şekil 7: Performans değerlendirme ortamı ve bileşenleri.

Performans değerlendirme için hazırlanan deneyler Android sanal cihaz yöneticisi tarafından yönetilen farklı donanım performansına sahip 3 adet cihaz üzerinde koşturulmaktadır. Böylece, kullanılan yaklaşım ve ön yüz tasarım karmaşıklığının farklı donanımlar üzerinde nasıl bir performans değişimi gösterdiğinin araştırılması hedeflenmektedir. Performans değişiminin incelenmesi için Android TGO'da yer alan sistem izleme özelliğinden faydalanılmaktadır. Android sistem izleme, bir uygulamanın bir cihaza yüklenmesiyle birlikte bir izleme oturumu başlatmaktadır. Bu izleme oturumunda, uygulamanın cihaz üzerinde nasıl bir performans sergilediğini gözlemek üzere bellek kullanımı, çalışma süresi, enerji tüketimi gibi farklı performans kriterleri takip edilebilmektedir. Ayrıca, uygulamanın çalışması sırasında görev alan her bir proses ve iplik detaylıca incelenebilmektedir. Bu nedenle, çalışmada bir

tasarımın yüklenmesi sürecini yöneten iplikler takip edilmektedir. Android işletim sisteminde yer alan *UiThread* ve *RenderThread* iplikleri ön yüz tasarımlarının ekrana yüklenmesine ilişkin operasyondan sorumludur. Sistem izlemesi sırasında bu ipliklerin çalışma süreleri takip edilerek her bir tasarımın ekrana ne kadar sürede yüklendiği ayrı ayrı kaydedilmektedir. Sonuçta, farklı donanımlar üzerinde farklı tasarımlar için elde edilen bulgular birbirleriyle karşılaştırılarak ortaya konmakta ve tartışılmaktadır.

4.1 Değerlendirme Ortamı

Değerlendirme ortamı için 3 farklı cihaz donanımı ve 8 farklı ön yüz tasarımı ele alınmaktadır. Farklı ön yüzlerin her biri, çalışmada incelenen yaklaşımlara göre ayrı ayrı tasarlanarak her bir cihazda koşturulmaktadır.

Performans deneylerinin ele alındığı ortam 16 GB RAM, 3.70 GHz işlemci hızı ve 64-bit adresleme yeteneği olan Windows 10 işletim sistemine sahip bir bilgisayar ortamıdır. Ön yüz tasarımlarının geliştirilmesi ve performans incelemesi için Android Studio TGO kullanılmıştır. Android sanal cihaz yöneticisi tarafından oluşturulan 3 farklı cihazın teknik özellikleri Tablo 1 ile gösterilmektedir.

Tablo 1: Değerlendirme ortamı için ekran çizim sürelerinin hesaplandığı farklı Android cihazların teknik özellikleri.

Cihaz donanımı	CPU sayısı	RAM miktarı	Heap boyutu
Eski nesil	2	1 GB	128 MB
Standart	4	4 GB	256 MB
Yeni nesil	8	8 GB	512 MB

Tablo 1'e göre, çalışmada kullanılan cihazlar eski nesil, standart ve yeni nesil olmak üzere üç farklı işlem yeteneği ile ele alınmaktadır. Eski nesil cihaz donanımında 2 CPU, 1 GB RAM ve 128 MB Heap boyutu bulunmaktadır. Standart donanıma sahip cihazda 4 CPU, 4 GB RAM ve 256 MB Heap boyutu bulunurken; yeni nesil donanıma sahip cihaz ise 8 CPU, 8 GB RAM ve 512 MB Heap boyutu içermektedir. Farklı yaklaşımlar ile tasarlanan ön yüzlerin ekrana yüklenme süreleri her bir cihaz üzerinde ayrı ayrı ölçülerek elde edilen bulgular paylaşılmaktadır.

Performans değerlendirmesi için farklı sayıda bileşen içeren farklı ön yüz tasarımları ile 8 farklı deney tekrarlanmaktadır. Bu ön yüz tasarımlarının her biri 3 farklı yöntem ile ayrı ayrı geliştirilerek 3 farklı cihaz donanımı için ekrana yüklenme süreleri incelenmektedir. İç içe geleneksel yerleşimler kullanıldığında elde edilen bileşen ağacı özellikleri Tablo 2 ile belirtilmektedir.

Tablo 2: Değerlendirme ortamında ele alınan farklı karmaşıklığa sahip ön yüz tasarımları için geleneksel iç içe yerleşimler kullanıldığında oluşan bileşen ağacı özellikleri.

	Yaprak sayısı	Düğüm Sayısı	Ağaç Derinliği
Deney 1	4	10	5
Deney 2	6	20	7
Deney 3	9	30	8
Deney 4	11	40	10
Deney 5	13	50	11
Deney 6	14	60	13
Deney 7	16	70	14
Deney 8	19	80	15

Tablo 2'ye göre, her bir deney için bileşen ağacındaki yaprak sayısı, ön yüzde görüntülenen nesne sayısına karşılık gelmektedir. Düğüm sayısı, iç içe yerleşimler oluştururken kullanılan ara düğümleri de içeren toplam bileşen ağacı düğümlerini gösterirken, ağaç derinliği ise ilgili bileşen ağacındaki en yüksek düzey değerine sahip nesnenin düzeyini göstermektedir.

Kısıt yerleşimi kullanıldığında elde edilen bileşen ağacı özellikleri Tablo 3 ile belirtilmektedir. Her bir deney için, farklı yaklaşımlarla aynı ön yüz tasarımı ele alındığından, yaprak sayıları Tablo 2'de belirtilen değerler ile aynıdır. Diğer yandan, kısıt yerleşimi tasarımında yer alan her bir ön yüz nesnesi birbirlerine göre veya ekrana göre kısıtlar kullanılarak konumlandırılmaktadır. Bu nedenle, kısıt yerleşim

nesnesi hariç, her bir nesnenin düzey sayısı ve dolayısıyla ağaç derinliği 2 değerini almaktadır. Toplam düğüm sayısı ise yaprak sayısının bir fazlasına eşittir.

Tablo 3: Değerlendirme ortamında ele alınan farklı karmaşıklığa sahip ön yüz tasarımları için kısıt yerleşimi kullanıldığında oluşan bileşen ağacı özellikleri.

	Yaprak sayısı	Düğüm Sayısı	Ağaç Derinliği
Deney 1	4	5	2
Deney 2	6	7	2
Deney 3	9	10	2
Deney 4	11	12	2
Deney 5	13	14	2
Deney 6	14	15	2
Deney 7	16	17	2
Deney 8	19	20	2

Kısıt yerleşimi ve geleneksel iç içe yerleşimleri birlikte kullanan melez yaklaşıma ilişkin her bir deneyde elde edilen bileşen ağacı özellikleri Tablo 4 ile verilmektedir. Buna göre, yaprak sayıları diğer iki yöntemde karşılık gelen her bir deneydeki yaprak sayıları ile aynı iken; düğüm sayısı ve ağaç derinliği değerleri, diğer iki yöntemde yer alan değerlerin arasında değerler almaktadır. Böylece, önerilen melez yaklaşım ile geleneksel yerleşim tasarımında yer alan ara düğümlerin bir kısmı kaldırılırken, bileşen ağacının derinliği azaltılmaktadır.

Tablo 4: Değerlendirme ortamında ele alınan farklı karmaşıklığa sahip ön yüz tasarımları için önerilen melez yaklaşım kullanıldığında oluşan bileşen ağacı özellikleri.

	Yaprak sayısı	Düğüm Sayısı	Ağaç Derinliği
Deney 1	4	8	3
Deney 2	6	14	4
Deney 3	9	18	5
Deney 4	11	26	5
Deney 5	13	33	6
Deney 6	14	41	6
Deney 7	16	49	7
Deney 8	19	58	7

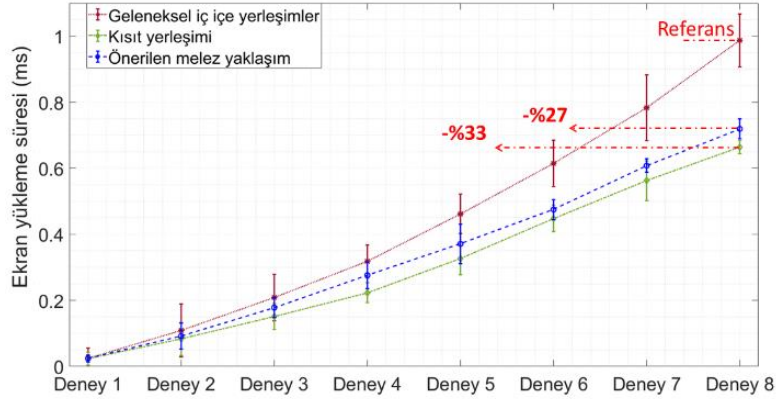
Yukarıda tanıtılan değerlendirme ortamı dikkate alındığında 8 farklı ön yüz tasarımı, 3 farklı yaklaşım ile hazırlanarak, ekrana yüklenme süreleri 3 farklı cihaz donanımında ayrı ayrı ölçülmüş ve elde edilen değerlendirme bulguları paylaşılmıştır. Ölçülen süreler cihazın o anki toplam işlem yüküne bağlı olduğundan, her bir durum için deneyler 100 kez tekrarlanmaktadır. Tekrarlar sonucu elde edilen ekrana yüklenme sürelerinin ortalaması alınarak, incelenen yöntemler birbirleriyle kıyaslanmaktadır.

4.2 Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

Performans değerlendirmesi sonucu elde edilen bulgular farklı cihaz donanımları için ayrı ayrı ele alınmıştır. Böylece, işletim sisteminin kullandığı donanımın işlem yeteneği gözetilerek, farklı yaklaşımlar ile tasarlanan ekranların görüntülenme süreleri ölçülmüştür. Her bir deney için ortalama ekrana yüklenme sürelerinin yanı sıra standart sapma değerleri de göz önüne alınarak, sonuçlar görselleştirilmiştir.

İlk olarak, günümüz donanım teknolojileri göz önüne alındığında, eski nesil olarak kabul gören donanım özelliklerine sahip sanal bir Android cihaz ile elde edilen bulgular Şekil 9 ile gösterilmektedir. Buna göre, Deneysel için tasarlanan basit ve fazla bileşen içermeyen ön yüzün her üç yaklaşımda birbirine yakın sürelerde ekrana yüklendiği görülmektedir. Diğer yandan, ön yüzde bulunan eleman sayısı ve bileşen ağacının derinliği arttıkça, Deneysel 8'e doğru, yüklenme sürelerinin her üç yaklaşımda da arttığı gözlemlenmektedir. Bu artış,

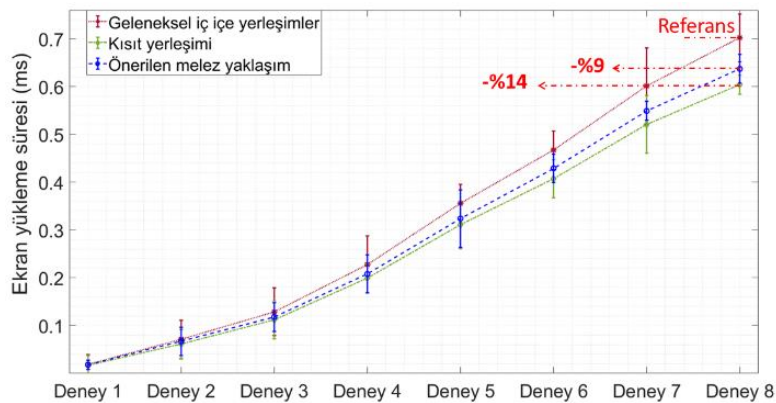
geleneksel iç içe yerleşimler kullanıldığında daha fazla olurken; Deneysel 8'de ön yüz yüklenme süreleri kısıt yerleşimi ile %33, önerilen melez yerleşimde ise %27 daha kısa sürmektedir. Ayrıca, her bir deney için 100 farklı çalıştırma sonucu elde edilen standart sapma değerleri, grafiklerde dikey çubuklar ile belirtilmektedir. Buna göre, farklı deneylerde elde edilen standart sapma miktarı karmaşık ön yüz tasarımlarında daha fazla olurken, deneyler boyunca %10 değerini aşmamaktadır.



Şekil 9: Farklı deneyler için eski nesil donanım özelliklerine sahip bir cihazda elde edilen ekrana yüklenme süreleri.

İkinci olarak, günümüzde standart donanıma sahip olduğu kabul edilen bir cihaz ile tekrarlanan deneylerde, ekran yüklenme süreleri Şekil 10 ile görselleştirilmektedir. Buna göre, cihaz donanımına ilişkin işlem gücü arttıkça, ekrana yüklenme sürelerine ilişkin farklı yaklaşımlar arasındaki performans boşluğu kapanmaktadır. Dahası, eski nesil cihazda tekrarlanan deneylerden Deneysel 3'te bariz bir performans farkı oluşmaya başlarken, standart donanıma sahip cihazda bu fark Deneysel 5 için tasarlanan ön yüzde ortaya çıkmaktadır. Diğer bir deyişle, geleneksel yaklaşım ile diğer yaklaşımlar arasında bir performans farkı gözlemlenmektedir.

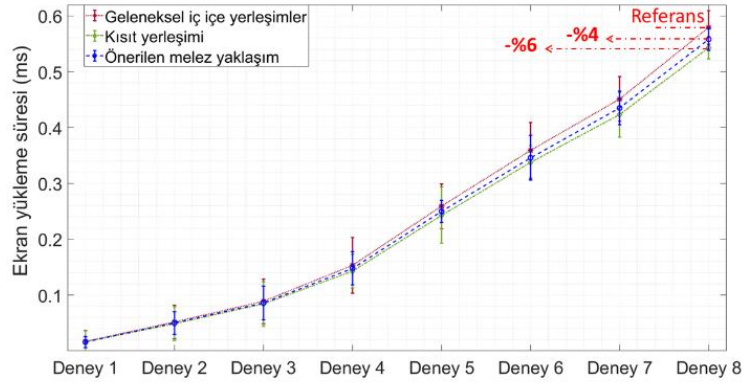
için daha karmaşık ön yüz tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Öte yandan, en karmaşık ön yüze sahip Deneysel 8 için, geleneksel yerleşimlere göre, kısıt yerleşimi ile %14; önerilen yerleşim ile %9 daha hızlı yüklenen ön yüzler geliştirmek mümkün olmuştur. Standart donanım üzerinde her bir deney için 100 kez tekrarlanan performans ölçümleri için hesaplanan standart sapma değerleri de, eski nesil donanım üzerinde tekrarlanan deneyler sırasında elde edilen standart sapma değerlerine göre azalmaktadır. Standart donanım üzerinde tekrarlanan deneylerde hesaplanan standart sapma en fazla %8 olarak Deneysel 7 sırasında hesaplanmıştır.



Şekil 10: Farklı deneyler için standart donanım özelliklerine sahip bir cihazda elde edilen ekrana yüklenme süreleri

Son olarak, yeni nesil donanım özelliklerine sahip bir cihazda tekrarlanan deneyler için her üç yaklaşım ile elde edilen ekrana yüklenme süresi ortalamaları ve standart sapmaları Şekil 11 ile gösterilmektedir. Buna göre, Deneysel 4'e kadar her bir yaklaşım birbirine son derece yakın sonuçlar üretirken; bileşen ağacı daha fazla derinleştikçe geleneksel iç içe yerleşimler ile tasarlanan ekranlar için yüklenme süresi diğer iki yaklaşım ile elde edilen

ekranların yüklenme süresine göre daha yavaş kalmaktadır. Ancak bu yavaşlık, daha düşük işlem yeteneğine sahip cihazlara göre çok daha az olup, kısıt yerleşimine göre en fazla %9; önerilen yerleşime göre ise en fazla %6 seviyesindedir. Bu nedenle, Deneysel 8'e kadar bariz bir fark oluştuğunu söylemek mümkün değildir. Tekrarlanan deneyler için hesaplanan standart sapma değeri %5'i aşmamaktadır.



Şekil 11: Farklı deneyler için yeni nesil donanım özelliklerine sahip bir cihazda elde edilen ekrana yüklenme süreleri.

Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, geleneksel iç içe yerleşimler kullanarak tasarlanan Android uygulama ön yüzlerinin düşük işlem yeteneğine sahip cihazlarda gecikmeli olarak yüklendiği savunulabilir. Bu yüzden, ekrana yüklenme süresinde yaşanan gecikmeler özellikle eski nesil donanımlarda daha fazla hissedilmektedir. Uygulama ekranı yüklenirken fark edilen bu durum kullanıcı deneyimini olumsuz etkilemektedir. Diğer yandan, kısıt yerleşimi kullanıldığında eski nesil donanımlarda %33'e kadar performans artışı gözlemlenirken, yeni nesil donanımlarda işlem gücü arttıkça performans farkı daha az belirginleşmektedir. Özellikle günümüzde kullanılan çok çekirdekli ve yüksek bellek donanımına sahip cihazlarda, kısıt yerleşimleri ile geleneksel iç içe yerleşimler arasındaki ön yüz yüklenme süresi farkı %6 seviyesine düşmektedir. Bu durumda, çoklu ekran desteği için yüksek donanım özelliklerine sahip bir grup cihazı destekleyen uygulamalarda, geleneksel yerleşimlerin kullanılması sonucu kullanıcı deneyiminde bir değişim gözlemlenmeyeceği savunulabilir. Diğer yandan, ön yüz tasarımı için önerilen melez yaklaşım kullanıldığında, ön yüz yüklenme süresinin geleneksel yaklaşıma göre ciddi oranda azaltıldığı savunulabilir. Bu nedenle, çoklu ekran desteği için hedeflenen donanım özellikleri göz önüne alındığında, önerilen melez yaklaşımın kısıt yerleşimi yaklaşımına tercih edilebileceği görülmektedir. Böylece, geliştiriciler için öğrenme maliyetinin, proje yaşam döngüsü için ise bakım maliyetinin azaltılması hedeflenir.

5 Sonuç

Bilgisayar donanımlarının küçülmesi ve işlem yeteneklerinin artmasıyla birlikte mobil işletim sistemleri yaygınlaşarak farklı donanım özelliklerine sahip cihazlarda kullanılmaya başlanmıştır. Android işletim sistemi farklı donanım özelliklerine sahip telefon, tablet, televizyon, saat gibi cihazlara uygulama geliştirmeye olanak sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan, Android işletim sisteminin koştuğu cihaz çeşitliliği son derece fazla iken, uygulama geliştiriciler için farklı cihazlarda aynı kullanıcı deneyimini sunabilmek adına çoklu ekran desteği sorunu ortaya çıkmaktadır. Bunun çözümüne yönelik kullanılan yaklaşımlardan biri geleneksel iç içe yerleşimler ile elde edilen oransal tasarımlardır. Ancak, bu yaklaşım, ön yüz tasarımlarının ekrana yüklenmesi sırasında bileşen ağacının birçok defa taranması sebebiyle, ağaç derinliği

arttıkça performans kaybına sebebiyet vermektedir. Öte yandan, 2018 yılında AndroidX sürümüyle tanıtılan kısıt yerleşimi, iç içe yerleşimlerde kullanılan fazlalık yerleşim nesneleri yerine, bileşenlerin birbirlerine göre konumlandırılmasına olanak sağlamaktadır. Kısıt yerleşimleri, ekran yüklemesi sırasında oluşan performans kaybına bir çözüm olarak görülse de, geliştiriciler için bir öğrenme maliyeti ve mevcut projelerin yaşam döngüsü için bir bakım maliyeti oluşturmaktadır. Çoklu ekran desteği ile ilgili yaklaşımların avantaj ve dezavantajları göz önüne alındığında, bu çalışmada, geleneksel iç içe yerleşimler ile kısıt yerleşimlerini birlikte kullanmayı öneren ve bileşen ağacı derinliğini belirli bir seviyede tutmayı hedefleyen melez bir ön yüz geliştirme yaklaşımı önerilmektedir.

Önerilen yaklaşım ile geliştirilen ön yüzlerin ekrana yüklenme süresi, farklı karmaşıklığa sahip 8 ön yüz tasarımı ile farklı işlem yeteneğine sahip 3 Android sanal cihazın oluşturduğu bir değerlendirme ortamında sınanarak mevcut yaklaşımlarla kıyaslanmaktadır. Elde edilen bulgulara göre, işlem yeteneği yüksek yeni nesil donanımlarda kısıt yerleşimi ile geliştirilen tasarımın, geleneksel yerleşim ile geliştirilen tasarıma göre %6 oranında daha kısa sürede ekrana yüklendiği tespit edilmektedir. Benzer şekilde, önerilen melez yaklaşım da geleneksel iç içe yerleşimlere göre %4 oranında daha hızlı ekran yüklenme süreleri üretmektedir. Öte yandan, yeni nesil donanıma sahip bir cihazda tekrarlanan deneyler için ölçüm süreleri gözle algılanamayacak kadar düşük değerler içerdiğinden, gözlemlenen bu farkın kullanıcı deneyimine etki etmediği savunulabilir. İşlem yeteneği düşük eski nesil donanımlarda ise, geleneksel iç içe yerleşimler ile tasarlanan ön yüzler, kısıt yerleşimi ile tasarlanan ön yüzlerle oranla %33; önerilen melez yaklaşıma göre ise %27 daha yavaş çalışmaktadır. Bu nedenle, eski nesil donanım bileşenlerine sahip cihazlarda, ön yüz yüklenme süreleri daha uzun olduğundan, bu farkın kullanıcı deneyimine doğrudan etki ettiği savunulabilir. Bu etki genelde ekranın yüklenmesi sırasında donmalar şeklinde gözlemlenmektedir. Buna göre, önerilen melez yaklaşımın, eski nesil donanımlar içeren çoklu ekran desteği için uygun bir kullanıma sahip olduğu ortaya konmaktadır. Nitekim, önerilen melez yaklaşım ile elde edilen ön yüz yüklenme süreleri, kısıt yerleşimine daha yakınken, tamamen kısıt yerleşimini kullanmaya göre daha az öğrenme ve uygulama maliyetine sahiptir.

Bilgilendirme

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Ensmenger, N. (2018). The environmental history of computing. *Technology and culture*, 59(4), S7-S33.
- [2] DeFranco, J. F. (2022). From Calculations to Computations: A Look Back at the First Computer. *Computer*, 55(1), 82-87.
- [3] Teshome, A. K., Kibret, B., & Lai, D. T. (2018). A review of implant communication technology in WBAN: Progress and challenges. *IEEE reviews in biomedical engineering*, 12, 88-99.
- [4] Comer, D. E. (2018). The Internet book: everything you need to know about computer networking and how the Internet works. *Chapman and Hall/CRC*.
- [5] Sharma, T. N., Beniwal, M. K., & Sharma, A. (2013). Comparative study of different mobile operating systems. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 2(3), 1-5.
- [6] Adekotoju, A., Odumabo, A., Adedokun, A., & Aiyeniko, O. (2020). A Comparative Study of Operating Systems: Case of Windows, UNIX, Linux, Mac, Android and iOS. *International Journal of Computer Applications*, 176, 16-23.
- [7] Sarkar, A., Goyal, A., Hicks, D., Sarkar, D., & Hazra, S. (2019). Android application development: a brief overview of android platforms and evolution of security systems. In *2019 Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC)* (pp. 73-79). IEEE.
- [8] Akkara, J. D., & Kuriakose, A. (2018). Innovative smartphone apps for ophthalmologists. *Kerala Journal of Ophthalmology*, 30(2), 138.
- [9] Venkataraman, S., & Rajkumar, J. (2019). Development of Cell phone-Android applications for the execution of Teacher Education Curriculum. *Think India Journal*, 22(4), 9284-9289.
- [10] Sweidan, S. Z., & Darabkh, K. A. (2018). VREG: A virtual reality educational game with arabic content using android smart phone. *Journal of Software Engineering and Applications*, 11(10), 500-520.
- [11] Dieter, M., & Tkacz, N. (2020). The patterning of finance/security: A designerly walkthrough of challenger banking apps. *Computational Culture*, (7).
- [12] Matic, A., & Gomez-Marin, A. (2019). A customizable tablet app for hand movement research outside the lab. *Journal of Neuroscience Methods*, 328, 108398.
- [13] Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2018). Educational apps from the Android Google Play for Greek preschoolers: A systematic review. *Computers & Education*, 116, 139-160.
- [14] Maher, C. T., Oja, E., Marshall, A., Cunningham, M., Townsend, L., Worley-Hood, G., ... & Larson, A. J. (2019). Real-time monitoring with a tablet app improves implementation of treatments to enhance forest structural diversity. *Journal of Forestry*, 117(3), 280-292.
- [15] Aafer, Y., You, W., Sun, Y., Shi, Y., Zhang, X., & Yin, H. (2021). Android {SmartTVs} Vulnerability Discovery via {Log-Guided} Fuzzing. In *30th USENIX Security Symposium (USENIX Security 21)* (pp. 2759-2776).
- [16] Skorupska, K., Núñez, M., Kopec, W., & Nielek, R. (2018). Older adults and crowdsourcing: Android tv app for evaluating tedx subtitle quality. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 2(CSCW), 1-23.
- [17] Jisha, R. C., Mathews, M. P., Kini, S. P., Kumar, V., Harisankar, U. V., & Shilpa, M. (2018). An android application for school bus tracking and student monitoring system. In *2018 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC)* (pp. 1-4). IEEE.
- [18] Pajic, N., & Bjelica, M. (2018). Integrating Android to Next Generation Vehicles. In *2018 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)* (pp. 152-155). IEEE.
- [19] Munasinghe, T., Patton, E. W., & Seneviratne, O. (2019). Iot application development using mit app inventor to collect and analyze sensor data. In *2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 6157-6159). IEEE.
- [20] Özçevik, Y. (2022). Human robot interaction as a service for combatting COVID-19: an experimental case study. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-10.
- [21] Septian, I., & Alianto, R. S. (2018). Comparison analysis of android gui testing frameworks by using an experimental study. *Procedia Computer Science*, 135, 736-748.
- [22] Björn-Hansen, A., Rieger, C., Grønli, T. M., Majchrzak, T. A., & Ghinea, G. (2020). An empirical investigation of performance overhead in cross-platform mobile development frameworks. *Empirical Software Engineering*, 25(4), 2997-3040.
- [23] Yang, B., Xing, Z., Xia, X., Chen, C., Ye, D., & Li, S. (2021). UIS-Hunter: Detecting UI Design Smells in Android Apps. In *2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings (ICSE-Companion)*. IEEE, 895-92.
- [24] Ismail, I. (2021). New iOS 15 to offer better user experience and on-device intelligence. *New Straits Times*.
- [25] Guan, J., Mao, B., & Jiang, X. (2020). The feature selection based on AndroidManifest.xml. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1634, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
- [26] Chen, S., Fan, L., Chen, C., Su, T., Li, W., Liu, Y., & Xu, L. (2019). Storydroid: Automated generation of storyboard for Android apps. In *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering (ICSE)* (pp. 596-607). IEEE.
- [27] Mondal, S. K., Pei, Y., Dai, H. N., Kabir, H. D., & Sahoo, J. P. (2020). Boosting ui rendering in android applications. In *2020 IEEE 20th International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C)* (pp. 285-286). IEEE.
- [28] Hunt, J. (2021). Android Layouts and Events. In *Beginner's Guide to Kotlin Programming* (pp. 485-501). Springer, Cham.
- [29] Bielik, P., Fischer, M., & Vechev, M. (2018). Robust relational layout synthesis from examples for Android. *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, 2(OOPSLA), 1-29.



INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TiN, NbN, AND VN COATING DEPOSITION ON THE Co-Cr-Mo ALLOY BY MAGNETRON SPUTTERING

Taha Çağrı Şenocak¹ , Oktay Yiğit^{*2} 

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 25070

²Firat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23019

Abstract

Original scientific paper

Co-Cr-Mo alloys have been used in biomedical applications for many years. However, it is important to improve the surface properties of materials due to their harmful properties, such as exposure to tribological and corrosive environments in the body and the release of toxic ions in the body. In this study, TiN-NbN and VN-based biocompatible nitride coating was grown on the Co-Cr-Mo alloy surface using the physical vapor deposition (PVD) magnetron sputtering. The structural and morphological properties of the grown coating were determined by SEM analysis, EDS, and XRD analysis. The corrosion behavior of the coating and substrate was determined by the potentiodynamic polarization test in a 3.5% NaCl solution. Finally, the adhesion strength of the coating to the surface was examined with the scratch test. In the light of the data obtained, it was seen that the coating showed a homogeneous distribution on the surface. The nitride-based coating produced as a result of the corrosion test increased the corrosion resistance approximately 2.5 times. The post-corrosion SEM image of the obtained coating also shows that corrosion damage is significantly prevented. The scratch test results of the coating showed that the critical bond strength value of the coating was approximately 42 mN. No significant increase in friction coefficient and friction force was observed in the tests performed with lower loads. In the light of these data, TiN, NbN, and VN-based coating obtained on the surface of Co-Cr-Mo alloy is a suitable candidate for biomedical applications.

Keywords: Co-Cr-Mo, corrosion, magnetron sputtering, Nitride coatings, PVD.

MANYETİK ALANDA SIÇRATMA TEKNİĞİYLE Co-Cr-Mo ALAŞIMI YÜZEYİNDE BÜYÜTÜLEN TiN, NbN ve VN KAPLAMASININ, YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Co-Cr-Mo alaşımları uzun yıllardan beri biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak malzemelerin vücut içerisinde hem tribolojik, hem de korozif ortamlara maruz kalması ve vücuda zararlı iyon salınımı gibi olumsuz özellikleri sebebiyle yüzey özelliklerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada fiziksel buhar biriktirme (PVD) manyetik alanda sıçratma tekniği kullanılarak Co-Cr-Mo alaşımı yüzeyine TiN-NbN ve VN esaslı biyouyumlu nitrür kaplama büyütüldü. Büyütülen kaplamanın yapısal ve morfolojik özellikleri XRD ve SEM analizi ile, kimyasal kompozisyonu EDS analizi ile gerçekleştirildi. Kaplama ve taban malzemenin korozyon davranışı potansiyodinamik polarizasyon testi ile %3,5'lik NaCl çözeltisiyle belirlendi. Son olarak çizilme testi ile kaplamanın yüzeye yapışma (adezyon) mukavemeti incelendi. Elde edilen veriler ışığında kaplamanın yüzeyde homojen bir dağılım gösterdiği görüldü. Korozyon testi sonucunda üretilen nitrür esaslı kaplama korozyon direncini yaklaşık olarak 2,5 kat arttırmıştır. Elde edilen kaplamanın korozyon sonrası SEM görüntüsü de korozyon hasarının önemli oranda engellendiğini göstermektedir. Kaplamanın çizilme testi sonuçları ise kaplamanın kritik yapışma mukavemeti değerinin yaklaşık 42 mN olduğunu göstermiştir. Daha düşük yükler ile yapılan testlerde sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvvetinde önemli bir artış gözlemlenmemiştir. Bu veriler doğrultusunda Co-Cr-Mo alaşımı yüzeyinde elde edilen TiN, NbN ve VN esaslı kaplama biyomedikal uygulamalarda kullanılabilir bir adaydır.

Anahtar Kelimeler: Co-Cr-Mo, korozyon, manyetik alanda sıçratma, Nitrür kaplamalar, PVD.

1 Introduction

İnsan vücudunda kullanılan metalik implantların birçoğu korozyon ve mekanik yüklerle devamlı olarak karşılaşmakta ve kullanımlarında önemli problemler

yaşanabilmektedir. Bu metalik implantlar, mekanik aşınma ile birlikte vücut sıvıları ile temasa bağlı olarak meydana gelen kaplamaları elde etmektedir kimyasal etkilerle birlikte, birleşik bir tahribata maruz kalır. Co-Cr-Mo uzun sürelerden beri biyomedikal alanlarda sıklıkla

* Corresponding author.

E-mail address: oyigit@firat.edu.tr (O.Yiğit)

Received 05 June 2022; Received in revised form 22 August 2022; Accepted 08 October 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1126287>

tercih edilen alaşımlardandır. Vücut içerisinde sağlaması beklenen ideal mekanik özelliklere ve nispeten iyi bir korozyon direncine sahip olması sebebiyle, ortopedik implantlarda yük taşıyıcı elemanlar için sıklıkla tercih edilen malzemeler sınıfındadır [1,2]. Ancak, yapılan son çalışmalarda elde edilen verilere göre biyomedikal alanda kullanılan metalik alaşımların kullanımında çeşitli endişeler ortaya çıkmıştır [3]. Kullanım ömürlerinin düşük olması nedeniyle eklemler gibi bölgelerde kullanılan implant yüzeylerinde kullanım için metal-on-metal (MoM) implantların kullanımının çeşitli problemler yaratacağı bildirilmiş ve kullanımları önerilmemiştir. Diğer birçok çalışmada da [4–7] tribokorozyon ortamlarına maruz kalan MoM implantlarda aseptik gevşeme, kemik rezorpsiyonu, ve korozyona bağlı olarak yüksek Cr ve Co iyon salınımları gibi olumsuz biyolojik reaksiyonlardan bahsedilmiştir.

Bütün bu olumsuz özelliklere rağmen, metalik implantlar birçok üstün avantaj ortaya koymaktadır. Metalik implantlar, Birçok yaş grubundan hastanın kalça yüzey yenileme uygulamasında hala sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir [6,8]. Yüksek mekanik özellikleri ve buna bağlı olarak uzun ömürlü implant malzemelerinin üretilmesi amacıyla, fonksiyonel özelliklere sahip kaplamalar üretilmeye çalışılmakta ve yük taşıyan yüzeyler için kaplamalı metalik implantlar geliştirilmektedir. Ana amaç, yüksek aşınma ve korozyon direnci elde etmek, biyouyumluluğu geliştirmek ve metal iyonlarının vücut içerisine sızmasını önleyecek üstün güvenli yüzey kaplamaları elde etmektir. Co-Cr-Mo alaşımlarında, tribo-korozyon etkisi ile mekanik aşınma partiküllerinin ve toksik Cr ve Co elementlerinin iyonlarının serbest kalması hasta sağlığının ve yaşam kalitesinin bozulmasına sebebiyet vermektedir [9–11]. Bu nedenle, Co-Cr-Mo alaşımlarında kaplama tasarımı, uygun yüzey kaplamalarının, kaplama morfolojisi ve son olarak kaplamada kullanılacak olan yöntemin seçiminden oluşan hassas bir üretim prosesinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır [12].

Yüksek biyouyumluluğa ve elektrokimyasal kararlılığa sahip metalik malzemeler Ta, Nb, Ti, Cr, Zr, V olarak sıralanabilir. Karbon ve Metal katkılı karbon malzemeler de istenilen özellikleri sağlayabilecek malzemeler arasındadır. TiN, TiNbN ve VN gibi sert kaplamalar ile aşınmaya dayanıklı yüksek biyouyumluluğa sahip kaplamalar bu amaçla geliştirilmekte ve başarılı bir şekilde ortopedik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [13–16]

Elde edilen kaplamaların kristalografik yapısı (amorf veya kristal), mikro yapıları (granüler, çubuk veya nanokompozit) ve mimari (monolitik olarak büyütülmüş veya çok katmanlı nano yapılar), elde edilen kaplamaların mekanik, tribolojik ve bariyer özelliklerini tanımlamaktadır. Bu tasarımlar arasında üstün özellikler, yüksek sertlik ve yüksek tokluk gibi mekanik özellikler nano ölçekli kaplamalarda elde edilmektedir. Nano kaplamalar, aşınmaya karşı oldukça dirençli olmasının yanında, taban malzemeye korozif kimyasalların girmesini ve taban malzemeden sıvı ortama iyon salınımlarını engelleyen bir arayüz oluşturmakta ve bu sayede korozyon direncini iyileştirmektedir. [17–19]. Son çalışmalarda, CrN/NbN kaplamaları incelenmiş ve biyolojik ortamlarda, in vitro olarak gerçekleştirilen

sitotoksisite, genotoksisite ve duyarlılık testleri yapılmıştır. Yeni elde edilen bu kaplamaların olumsuz etki göstermediği görülmüştür [20,21].

Kullanılan kaplama teknolojisi, kaplama özelliklerini ve *in-vivo* ortamı etkileşimlerini önemli bir şekilde etkiler ve dolayısıyla kaplamanın nihai performansını tanımlar. Bu nedenle, uygulanan teknoloji, yoğun, yüzey kusurları içermeyen kaplamalar üretilmesine olanak tanıyan yöntemlerden seçilmeli ve kaplama ile alt tabaka arasında yüksek bir dayanım sergilemesi gerekmektedir.

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi, tribolojik ve korozyon direnci özelliklerini geliştirmek amacıyla biyomedikal alaşımlarda ince yüzey kaplamaları oluşturmak için kullanılan bir tekniktir [22]. PVD kaplamaları ile ortopedik implantların yüzeylerinde istenilen aşınma direnci [23], düşük sürtünme kasayısı [24], kimyasal kararlılık [25] ve yüksek biyouyumluluk [26] gibi biyomalzeme özel gereksinimlerini karşılayacak kaplamalar üretilir. Manyetik alanda sıçratma yöntemi, ince film kaplamaların oluşturulmasını sağlayan bir inert veya reaktif düşük basınç altında yüksek enerjili iyon bombardımanı sayesinde hedef malzemenin aşındırarak bir gaz plazması kullanan çok yönlü bir PVD teknolojisidir. Bu teknoloji sayesinde biyomedikal alaşımlar üzerine seramik ve metal nitür kaplamaları oluşturmak mümkündür [22,27].

Bu çalışmanın temel amacı, Co-Cr-Mo alaşımı yüzeyinde TiN, VN ve NbN PVD kaplamaların adezyon ve korozyon direncinin gelişimini analiz etmektir. Elde edilen kaplamaların korozyon özellikleri kaplama morfolojisi ve adezif mukavemeti incelenmiştir. Nitrülenmiş Co-Cr-Mo alaşımının ve kaplamaların yapısal ve mekanik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), kimyasal analizi (EDS), çizilme testleri, ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri gibi analitik yöntemlerle belirlendi.

2 Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan numuneler 1200 mesh aralığında SiC zımpara numarasına kadar SiC zımpara kağıtları ile zımparalanmıştır. Ardından 1 µm elmas pasta ile cilalanarak yüzey pürüzlülükleri minimize edilmiştir. Kaplama işlemine hazır edilen numuneler Vaksis-PVD-MT/2M 2T marka manyetik alanda sıçratma tekniği cihazı ile fiziksel buhar biriktirme sistemi ile kaplanmıştır. Kaplama esnasında kullanılan parametreler Tablo 1’de verilmiştir. Kaplamada 3 farklı hedef kullanılmıştır. Ti, Nb ve V hedefler Fytronix firmasından ticari olarak temin edilmiştir. Kaplama sisteminde DC güç kaynağı kullanılmıştır. Kaplama ve taban malzemenin yüzey morfolojileri ve kaplanmış malzemenin kesit görüntüsü için taramalı elektron mikroskobu (Zeiss-Sigma 300 modeli) kullanılmıştır. Taban malzeme ve kaplamaların kimyasal bileşimleri, enerji dağılımlı spektrometre (EDS) ile analiz edilmiştir. Numunelerin, X-ışını kırınımı (XRD), bir Cu-Kα ($\lambda = 0.15406$ nm) radyasyon kaynağına sahip bir Bragg-Brentano konfigürasyon ekipmanında Grazing Incidens X-ışını Kırınımı (GI-XRD) (PANalytical Empyrean) sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, 0,1°/dk’lık bir tarama hızında 10° ile 100° arasındaki bir tarama aralığında gerçekleştirilmiştir. Kaplanmış ve kaplanmamış Cr-Co-

Mo alaşımlarının korozyon davranışı için elektrokimyasal polarizasyon deneyleri, bilgisayar kontrollü bir Versastat3 Potansiyostat kullanılarak üç elektrot tekniğine göre gerçekleştirilmiştir. Numune yüzeylerinin polarizasyon ölçümleri, %3,5'lik bir NaCl çözeltisi içinde 1 mV/s'lik bir tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal hücreyi çalışma elektrotu (ÇE), standart bir Ag/AgCl/KCl (0.222 V'a karşı H⁺) referans elektrotu (RE) ve bir grafit karşı elektrot (KE) oluşturmaktadır.

Tablo 1. Deney parametreleri.

Kaplama Parametreleri	Değer
Gerilim (W)	100
Hedefler	Ti,Nb,V
Gaz Akış Hızı (cm ³ /dk)	5
Gaz Türü	N
Sistem Basıncı (Pa)	0,4

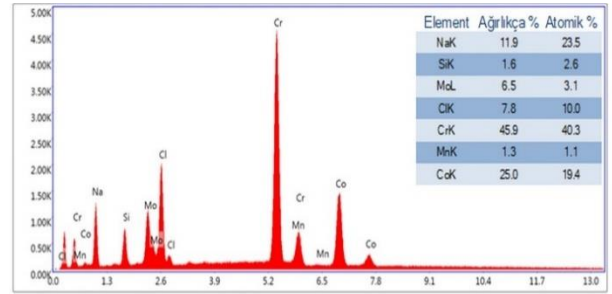
Kaplamaların adezyon özellikleri, Rockwell-C (120° tepe açısı, 200 µm uç yarıçapı) girinti ucu kullanılarak CSM Instruments çizilme test cihazı ile analiz edildi.

Kaplamalara 0 ila 55 N yük, 10 mm/dk hız, 3 mm uzunluk ile artan mod (aşamalı yük) uygulanmıştır.

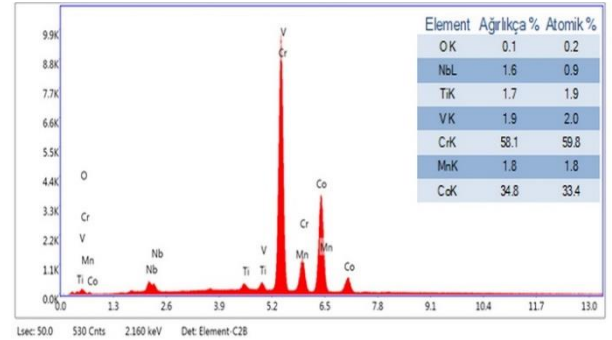
3 Sonuçlar ve Tartışma

Çalışma sırasında manyetik olmayan Co-Cr-Mo döküm alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan alaşımın EDS analizi Şekil 1'de gösterilmiştir. Kaplama öncesi ve kaplama sonrası yüzeylerden alınan EDS analizleri ise Şekil 2 de verilmiştir. EDS analizi, yüzeylerin elektron ışını tarafından bombardımana tutulması sebebiyle yüzeysel bir analiz tekniğidir. Bu sebeple Co-Cr-Mo alaşımının kimyasal analizleri kaplanmış yüzeyin kimyasal kompozisyonundan farklıdır [28]. EDS analizleri incelendiğinde, taban malzemenin baskın olarak Co, Cr ve Mo alaşımlarından oluşmaktadır. Mo alaşımı kaplama sonrası EDS analizinde tespit edilememiştir. Bunun sebebi Co-Cr-Mo alaşımı yüzeyinde oluşturulan kaplama tabakası sebebiyle alt yüzeyin elemental analiz

sonuçlarının değişmesidir. Yine benzer şekilde tüm elemental analiz sonuçlarında değişiklik meydana gelmiştir. Çünkü elde edilen kaplama tabakası yüzeysel bir analiz olan EDS de okunan ana bileşikleri oluşturmaktadır. Ayrıca çalışmada istenilen TiN, NbN ve VN esaslı kaplamaların başarılı bir şekilde biriktirildikleri görülmektedir. Bu durum XRD analizi ile doğrulanmaktadır.

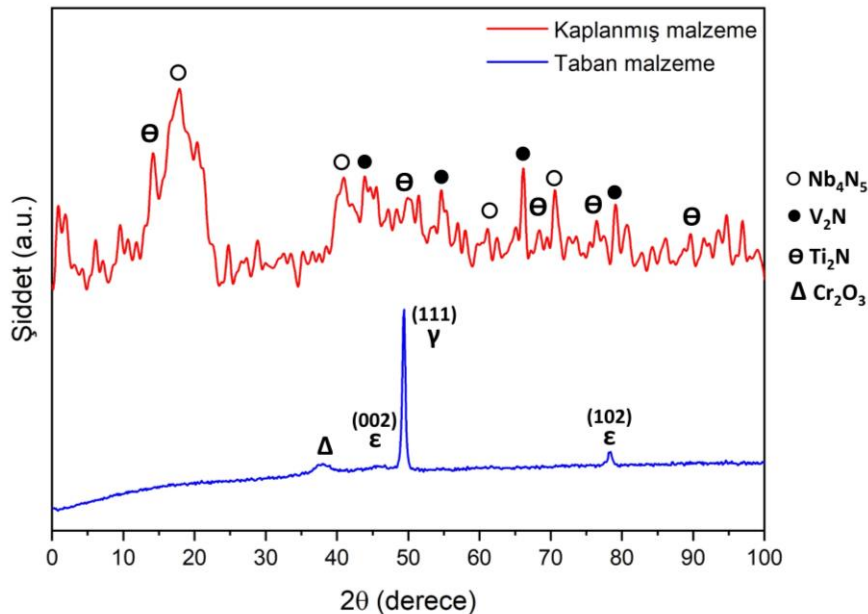


Şekil 1. Manyetik olmayan Co-Cr-Mo döküm alaşımının EDS analizi.



Şekil 2. Kaplama işlemi sonrasında elde edilen EDS sonuçları.

Kaplama işlemi öncesi ve sonrası 0-100 derece tarama aralığında elde edilen XRD analizi sonuçları Şekil 3'de gösterilmiştir. Kaplamanın yapısal morfolojisinin belirlenmesinde Ti₂N için JCPDS #00-023-1455 kartı, Nb₄N₅ için JCPDS #01-074-0606 kartı, V₂N için JCPDS #00-032-1413 kartı kullanılmıştır.

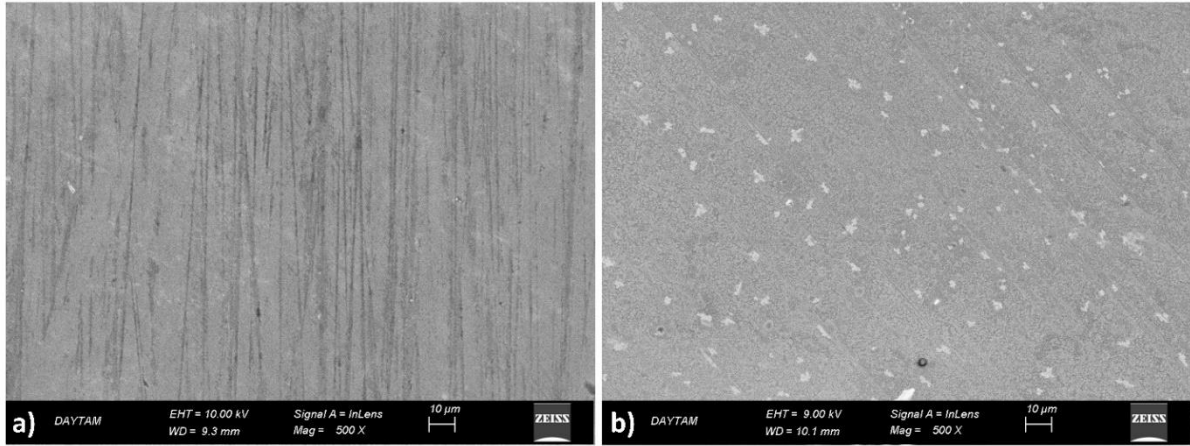


Şekil 3. Kaplama işlemi öncesi ve sonrası XRD sonuçları.

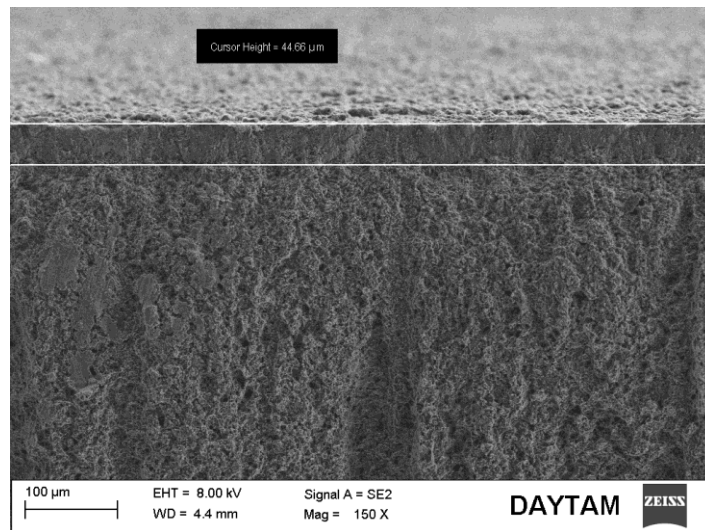
Kaplamanın XRD modeli (Şekil 3), Co-Cr-Mo alaşımı için kaplamasız numunede ve kaplandıktan sonraki yüzeyde alınmıştır. Kaplamasız Co-Cr-Mo alaşımında östenitik (γ -YMK) ve martenzitik (ϵ -HMT) fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca $36,37^\circ$ 'de Cr_2O_3 'e ait pik tespit edilmiştir. Bu durumun üretim sonrasındaki pasif oksit tabakasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Martenzitik (ϵ -HMT) fazın $42,16^\circ$ (002), $64,82^\circ$ 'de ise (102) düzlemine sahip olduğu, östenitik (γ -YMK) ise $44,55^\circ$ 'de (111) düzlemine sahip olduğu belirlenmiştir [29-30]. Kaplanmış numunelerde Nb_4N_5 , VN ve Ti_2N pikleri XRD analizlerinde görülmektedir. Sırasıyla $2\theta = 18,24^\circ$, $41,21^\circ$, $60,54^\circ$, $72,08^\circ$ 'de elde edilen ve (110), (130), (132) ve (341) düzlemlerine sahip olan pikler tetragonal kafes yapısına sahip Nb_4N_5 (JCPDS #01-074-0606) fazına ait piklerdir. V_2N (JCPDS #00-032-1413)'e ait XRD kırınım desenleri ise sırasıyla $2\theta = 41,907^\circ$, $55,11$, $65,97$ ve $81,339$ derecelerde ve (111), (112), (300) ve (221) düzlemlerine karşılık gelmektedir ve hegzagonal kristal yapısına sahiptir. Yapıda elde edilen Ti_2N fazına ait pikler ise $2\theta = 13,59^\circ$, $39,277^\circ$, $51,039^\circ$, $67,31^\circ$ ve $76,84^\circ$ açılara denk gelen (111), (111), (211) (311) ve (321) düzlemlerindeki tetragonal kafes yapısına ait pikleridir. XRD analiz sonuçlarına göre kaplamada elde edilmesi beklenen fazlar gözlemlenmiş ve altlık malzemeye ait pikler

baskılanmıştır. Bu da kaplamanın başarılı bir şekilde yüzeyde oluştuğunun göstergesidir.

TiN , VN ve NbN kaplanmış numuneden ve kaplanmamış Co-Cr-Mo altlıktan alınan yüksek çözünürlüklü SEM görüntüleri Şekil 4'te gösterilmektedir. 100 W gerilimde ve $0,4$ Pa basınç altında sentezlenen TiN , VN ve NbN esaslı kaplama yüzeyi ince taneli ve pürüzsüz bir yapı sergilemektedir. Kaplanmamış numune yüzeyinde metalografik işlemler sonrasında görülen çizilmeler kaplama işlemi sonrasında önemli oranda azalmıştır. Şekil 4 b'de görülebileceği gibi kaplama yüzeyi homojen bir dağılım göstermekte bazı bölgelerde ise kristal kümelenmeleri görülebilmektedir. Yoğun bir şekilde elde edilen yüzey morfolojisi ile sonuçlanan yüzey kaplaması korozyon direncini iyileştirecek bir bariyer tabakası oluşturarak korozyona daha dirençli bir yüzey oluşturmada ayrıca zararlı iyon salınımını azaltmaktadır. Ayrıca elde edilen TiN , VN ve NbN esaslı kaplama aynı zamanda tribolojik ortamlarda daha yüksek bir mekanik dayanım sağlayacaktır. Şekil 4b 'de görülebileceği gibi, yoğun ve muntazam bir kaplama elde edilmiş, düşük tane boyutlarında ve gözeneksiz bir yapı elde edilmiştir. Mekanik olarak yüksek dayanıma sahip, yüzey ile iyi bir yapışma mukavemeti olan, tribolojik ve korozif ortamlara dirençli olması amaçlanan yeni bir kaplama tabakası biriktirilmiştir [20].



Şekil 4. a) Co-Cr-Mo alaşımı b) Ti-Nb-V-N kaplama.



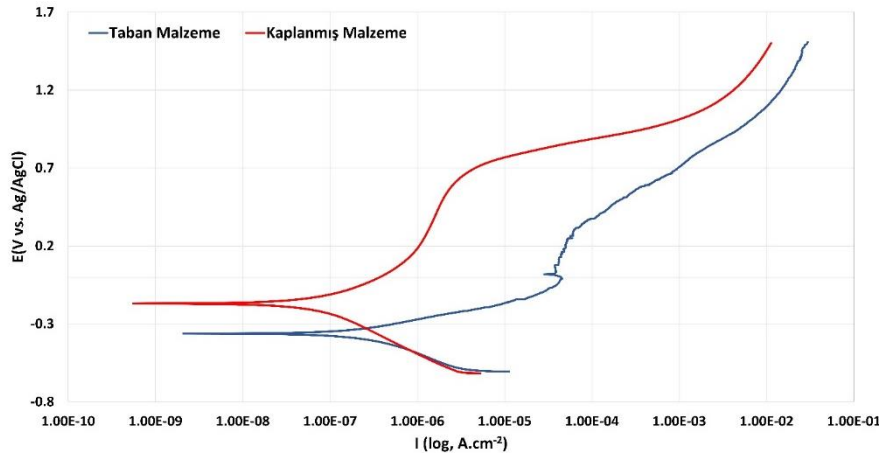
Şekil 5. Ti-Nb-V-N kaplamanın SEM kesit görüntüsü.

Biriktirilen TiN, NbN ve VN kaplama tabakasının kesit görüntüsü Şekil 5'te gösterilmiştir. Kaplama tabakası 44,66 μm kalınlığında ve homojen olarak büyüdüğü belirlenmiştir.

Şekil 6'da, kaplanmamış Co-Cr-Mo alaşımının ve TiN, NbN ve VN kaplanmış Co-Cr-Mo alaşımında potansiyodinamik polarizasyon testi ile elde edilen Tafel polarizasyon eğrileri gösterilmektedir. Co-Cr-Mo alaşımının tuzlu su içerisindeki genel elektrokimyasal davranışı, literatürde 4 farklı alan ile ifade edilmiştir: Su ve çözülmüş oksijenin indirgenmesiyle akım yoğunluğunun verildiği korozyon potansiyelinin (<-0.5 V.Ag/AgCl) altında kaldığı potansiyellerde bir katodik alan; E_{kor} değeri (korozyon potansiyelinde elde edilen katodik/anodik geçiş değeri); akım yoğunluğunun (I_p) geniş bir potansiyel aralığı üzerinde meydana geldiği pasif alan ve son olarak pasif filmdeki Cr^{+3} 'ün çözünür Cr^{+6} 'ya oksidasyonunun meydana geldiği transpasif alan (yaklaşık 0,3 V Ag/AgCl değerinin üzerinde). Tablo 2, de standart E_{kor} , korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}) ve korozyon oranı (mpy) verilmiştir.

Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin tuzlu su içerisindeki korozyon davranışları incelendiğinde

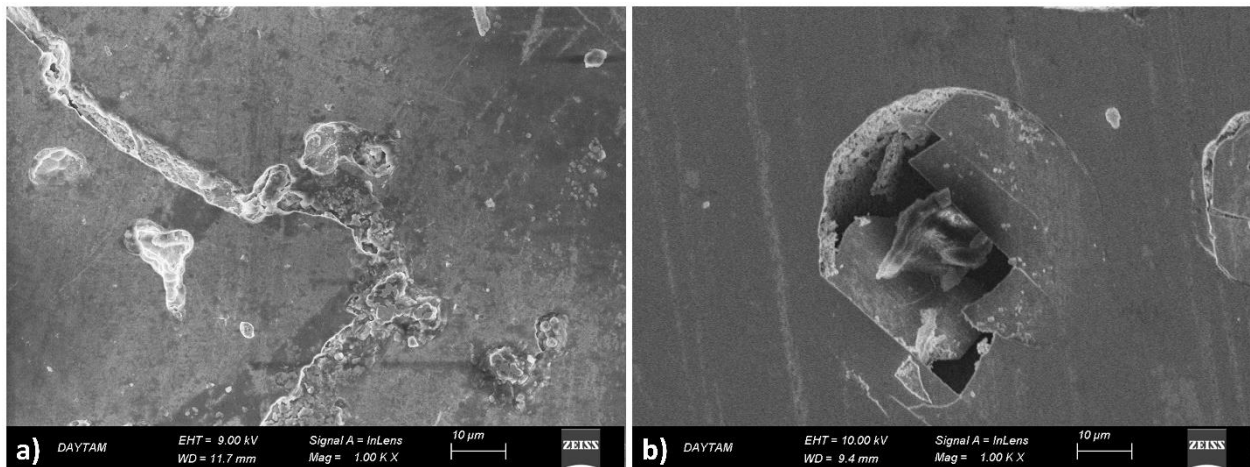
kaplanmış numunede korozyon potansiyelinin kaplanmamış numuneye göre yaklaşık olarak iki kat arttığı görülmektedir. Buda kaplanmamış numunelerde daha soy bir E_{kor} değeri elde edildiğini göstermektedir. Ayrıca I_{kor} değerleri de incelendiğinde kaplanmış numunelerde I_{kor} değeri 70 $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ike kaplanmamış numunede ise 243 $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ölçülmüş ve böylelikle daha daha erken pasifleşme meydana geldiği görülmüştür. Bu veriler ışığında korozyon oranları incelendiğinde TiN, NbN ve VN kaplanmış numunelerde korozyon oranı kaplanmamış numuneye göre ortalama 2,5 kat iyileştirilmiştir. Daha önceki kısımlarda belirtildiği üzere Co-Cr-Mo alaşımlarında yüzeylerde meydana getirilen kaplamalar ile korozif sıvıların alaşıma ulaşması engellenerek korozyon özelliklerinin iyileştirilmesi beklenen bir durumdur. Şekil 7'de verilen korozyon sonrası SEM fotoğrafları incelendiğinde korozyonun kaplanmamış Cr-Co-Mo alaşımında tüm yüzeyde geniş bir alanda tahribata sebep olduğu görülebilmektedir. Kaplanmış numunede ise korozyon sadece belirli bir noktada tahribata sebep olmuş ve diğer bölgelerde korozyon engellenmiştir. Böylelikle elde edilen kaplamanın korozyon direncini arttırdığı söylenebilir.



Şekil 6. Potansiyodinamik polarizasyon testi sonrası elde edilen Tafel eğrileri.

Tablo 2. Potansiyodinamik polarizasyon testi analiz sonuçları.

Numune	E_{kor} (mV)	I_{kor} ($\mu\text{A.cm}^{-2}$)	Korozyon oranı (mpy)
Taban malzeme	-369	243	2,804
Kaplanmış malzeme	-182	70	1,272

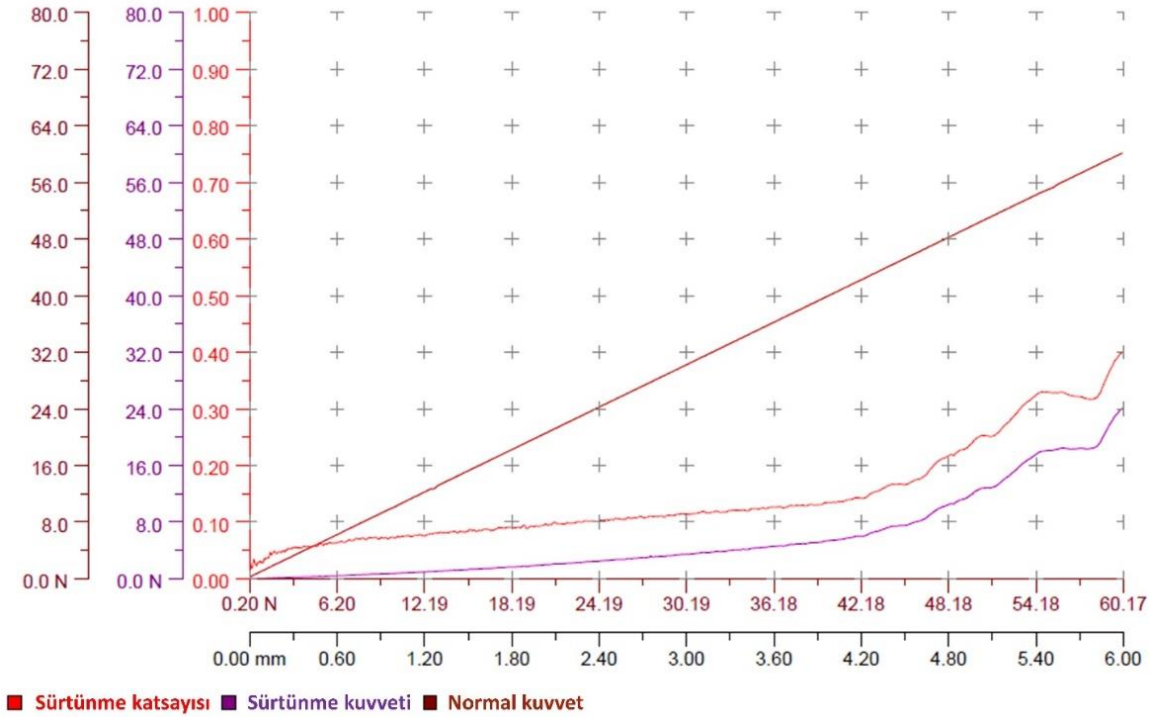


Şekil 7. Korozyon testi sonrası SEM görüntüsü a) Kaplanmamış numune b) Kaplanmış numune.

Ayrıca Şekil 7a'da kaplanmamış malzemede homojen çukurcuk oluşumları görülürken, Şekil 7b'de kaplamalı numune de birkaç hatalı bölgede çukurcuk şeklinde başlayan ve kaplama-taban malzeme ara yüzeyinde devam eden korozyon oluşumu gözlemlenmiştir. SEM görüntüsünde az sayıda bulunan hatalı bir bölge tespit edilerek görüntülenmiştir. Kaplanmış malzeme yüzeyi, korozyon bölgesinin dışında görünen bölge ile benzerlik göstermektedir. Kaplanmış malzemede önemli bir korozyon hasarı belirlenmemiştir. Çukurcuk korozyonu çok karmaşık bir süreçtir ve sadece fiziko-kimyasal ve çevresel faktörleri içermeyen birçok mekanizmadan kaynaklanabilmektedir. Çukurcuk korozyon mekanizmaları, nanodan başlayarak mikro ve makro düzeye kadar birçok düzeyde başlayabilir. Çukurcuk oluşumları, korozyon başlangıç noktalarının büyümesi sonucunda gerçekleşmektedir. Yüzey üzerinde çok sayıda çukurcuk oluşumuna maruz kalan malzeme, az sayıda çukurcuk oluşan malzemeye göre daha fazla deformasyona uğramaktadır. Mikro ölçekte bir korozyon hasarı, kimyasal (elektrokimyasal reaksiyonlar), fiziksel (film bileşimi, yüzey dokusu) ve mekanik (yüzey

gerilmeleri) ile birlikte metal mikro yapısına bağlı olabilmektedir [28].

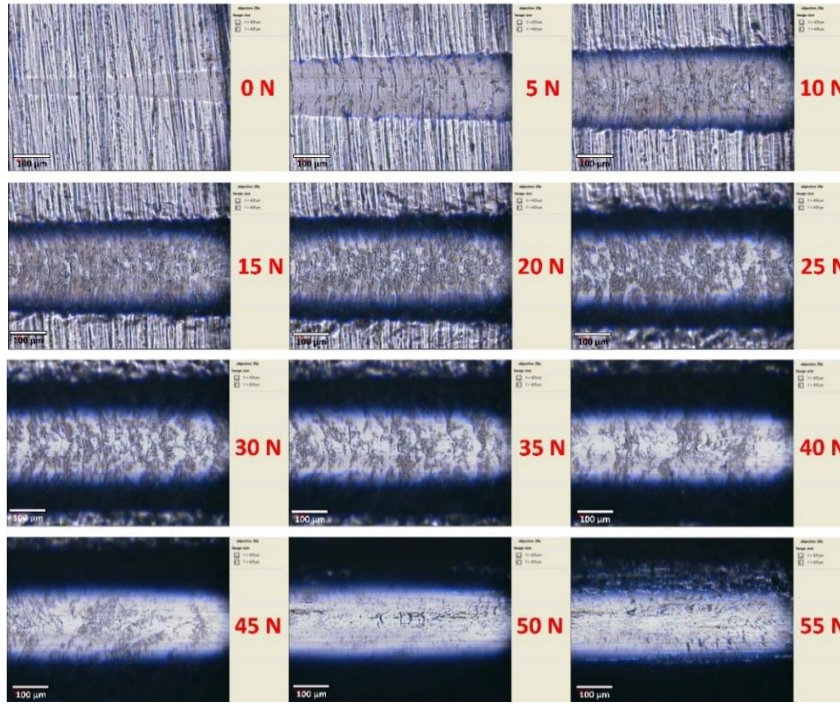
İnce film kaplamalarda alt tabaka ve kaplama arasındaki adezyon yükü, kaplamanın mekanik olarak işlevini göremediği ve başarısız olduğu kritik yük değeri ile tanımlanır. Şekil 8'de, kaplanmış numunelerin sürtünme katsayısı, sürtünme kuvveti ve normal kuvvetin grafiği verilmiştir. Şekil 9'da ise farklı 0 N'dan 55 N'a kadar farklı yüklerde uygulanan çizilme testi görüntüleri verilmiştir. TiN, NbN ve VN esaslı kaplamanın üzerinde tarama çizilme testleri sırasında kaydedilen görüntüler kaplamanın hangi yük değerine kadar başarılı olduğunu göstermektedir. Şekil 8'de verilen grafikler incelendiğinde artan yüke bağlı olarak sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvvetinde bir artış gözlemlenmektedir. Ancak bu artış yaklaşık 40 N değerine kadar önemsiz bir artıştır. Kritik bir yük değerini geçtikten sonra sürtünme kuvveti ve katsayısı belirgin bir şekilde artış göstermeye başlamıştır. Bu eğrilerde, elde edilen ani bir artış kaplamanın hasara uğramasıyla ve dolayısıyla kaplamanın başarısız olduğu kritik yük değerini tanımlamaktadır.



Şekil 8. TiN, NbN ve VN kaplanmış Co-Cr-Mo alaşımının çizilme testi sonrası kritik yük değerleri.

Aynı sonuçlar TiN, NbN ve VN kaplı Co-Cr-Mo numunesinin yüzeyinde elde edilen çizilmenin optik görüntüleri ile de görülebilmektedir. Şekil 9'daki çizilme profilleri incelendiğinde, ortalama kritik yükün 42 N olduğu tespit edilmiştir, bu da PVD yöntemi ile kaplanan filmin Co-Cr-Mo alt katmanına yeterli yapışma mukavemeti sağladığını göstermektedir. Peng ve ark. [31], ürettikleri sementte karbür aletler (CrWMn çelik) için yüzeylerinde oluşturdukları TiN esaslı kaplamaların yüzey özelliklerini araştırmışlar ve TiN kaplamanın alt tabakaya yapışma mukavemetinin, 90 N den fazla olduğunu ve bu yük değerlerinin yeterince yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Goldberg ve Gilbert [32] ise yaptıkları çalışmada TiN/AlN kaplı Co-Cr-Mo ve

Ti6Al4V alaşımlarının yüzeylere yapışma dayanımını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları incelerken ilk aşamada tespit edilebilir bir çizilme oluşturmak amacıyla gereken en az yük miktarını, kaplamaların mukavemetini tanımlayan bir ölçü olarak tanımlamışlardır. Elde ettikleri kaplamaların pasifleşmiş Ti6Al4V alaşımı yüzeyinden yaklaşık 0,4 N daha yüksek olduğunu ve bu kaplama yüzeylerinde ölçülebilir çizilmelerin oluşmamasını bu yüklerin plastik deformasyon oluşturacak kadar yüksek olmamasına bağlamışlardır. Bu çalışmada elde edilen kritik yük değerinin, TiN, NbN ve VN esaslı film için Co-Cr-Mo alaşımı yüzeyinde güçlü bir yapışma gösterdiği düşünülmektedir ve bu, SEM sonuçları ile elde edilen gözlemlerle oldukça iyi bir şekilde uyumaktadır.



Şekil 9. TiN, NbN ve VN kaplanmış Co-Cr-Mo alaşımının çizilme testi optik görüntüleri.

4 Sonuçlar

Kaplama işlemi manyetik alanda sıçratma tekniği cihazı ile fiziksel buhar biriktirme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen manyetik olmayan Co-Cr-Mo alaşımı yüzeyinde nitrür esaslı kaplamalar başarılı bir şekilde oluşturulmuştur. Elde edilen kaplamaların korozyon davranışı, kaplamaların yapışma mukavemeti, kimyasal özellikleri ve yüzey morfolojileri incelenerek kaplamalar karakterize edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre TiN, NbN ve VN esaslı bir kaplama tabakası üretilerek, oldukça homojen ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir. Kaplamaların XRD analizleri ile de TiN, NbN ve VN bileşiklerinin varlığı doğrulanmıştır. Korozyon analizleri incelendiğinde kaplanmış numunelerin korozyon dayanımları yaklaşık 2,5 kat kadar oranla artmıştır. Elde edilen kaplama korozif elektrolitin Co-Cr-Mo alaşımına ulaşmasını engellemiş ve bir bariyer tabakası

oluşturmuştur. Ayrıca bu bariyer tabakası altlık malzemeden iyon salınımını da engelleyecek bir bariyer tabakası özelliğindedir. Elde edilen nitrür esaslı bu tabaka aynı zamanda bu malzemelerin tribolojik özelliklerini de iyileştirmektedir. Çizilme testi ile kaplamaların adeziv mukavemeti incelenmiş ve kaplamanın adeziv mukavemetinin korunduğu kritik değer 42 N olarak tespit edilmiştir. Elde edilen adeziv mukavemetin kaplama adezyonu için yeterli bir değer olduğu değerlendirilmiştir. TiN, NbN ve VN esaslı kaplama amacına uygun olarak sonuç vermiş, hem mekanik özellikleri hem de korozyon dayanımı yüksek bir kaplama tabakası olarak biyomedikal uygulamalarda kullanıma uygun bir kaplama oluşturmuştur. Bu kaplamaların biyolojik, antibakteriyel ve iyon salınımı gibi özellikleri sonraki çalışmalarda incelenecek olursa büyütülen kaplamanın biyoyum özelliklerine olan etkileri daha detaylı anlaşılabilir.

Bilgilendirme

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Rituerto Sin, J., Hu, X., & Emami, N. (2013). Tribology, corrosion and tribocorrosion of metal on metal implants. *Tribology-Materials, Surfaces & Interfaces*, 7(1), 1-12.
- [2] Toh, W. Q., Tan, X., Bhowmik, A., Liu, E., & Tor, S. B. (2017). Tribochemical characterization and tribocorrosive behavior of CoCrMo alloys: A review. *Materials*, 11(1), 30.
- [3] Smith, A. J., Dieppe, P., Vernon, K., Porter, M., & Blom, A. W. (2012). Failure rates of stemmed metal-on-metal hip replacements: analysis of data from the National Joint Registry of England and Wales. *The Lancet*, 379(9822), 1199-1204.
- [4] Drummond, J., Tran, P., & Fary, C. (2015). Metal-on-metal hip arthroplasty: a review of adverse reactions and patient management. *Journal of functional biomaterials*, 6(3), 486-499.

- [5] Q, Chen, & G. A. (2015). Thouas, Metallic implant biomaterials, *Mater. Sci. Eng. R Reports*.
- [6] Dowson, D., Hardaker, C., Flett, M., & Isaac, G. H. (2004). A hip joint simulator study of the performance of metal-on-metal joints: Part II: design. *The Journal of arthroplasty*, 19(8), 124-130.
- [7] Mathew, M. T., & Wimmer, M. A. (2011). Tribocorrosion in artificial joints: in vitro testing and clinical implications. *In Tribocorrosion of passive metals and coatings* (pp. 368-400). Woodhead Publishing.
- [8] Amstutz, H. C., & Le Duff, M. J. (2015). Hip resurfacing: history, current status, and future. *Hip International*, 25(4), 330-338.
- [9] Okazaki, Y., & Gotoh, E. (2005). Comparison of metal release from various metallic biomaterials in vitro. *Biomaterials*, 26(1), 11-21.
- [10] Wapner, K. L. (1991). Implications of metallic corrosion in total knee arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 271, 12-20.

- [11] McGregor, D. B., Baan, R. A., Partensky, C., Rice, J. M., & Wilbourn, J. D. (2000). Evaluation of the carcinogenic risks to humans associated with surgical implants and other foreign bodies—a report of an IARC Monographs Programme Meeting. *European journal of cancer*, 36(3), 307-313.
- [12] Mazzonello, A., Buhagiar, J., Chetcuti, R., Dearnley, P. A., Valsesia, A., Colpo, P., & Mallia, B. (2022). A tribocorrosion appraisal of a dual layer PVD coated CoCrMo alloy tribopair. *Surface and Coatings Technology*, 128341.
- [13] Blunt, L., Bills, P., Jiang, X., Hardaker, C., & Chakrabarty, G. (2009). The role of tribology and metrology in the latest development of bio-materials. *Wear*, 266(3-4), 424-431.
- [14] Serro, A. P., Completo, C., Colaço, R., Dos Santos, F., Da Silva, C. L., Cabral, J. M. S., ... & Saramago, B. (2009). A comparative study of titanium nitrides, TiN, TiNbN and TiCN, as coatings for biomedical applications. *Surface and Coatings Technology*, 203(24), 3701-3707.
- [15] Yang, S., Camino, D., Jones, A. H. S., & Teer, D. G. (2000). Deposition and tribological behaviour of sputtered carbon hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 124(2-3), 110-116.
- [16] Hoseini, M., Jedenmalm, A., & Boldizar, A. (2008). Tribological investigation of coatings for artificial joints. *Wear*, 264(11-12), 958-966.
- [17] Hovsepian, P. E., Lewis, D. B., & Münz, W. D. (2000). Recent progress in large scale manufacturing of multilayer/superlattice hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 133, 166-175.
- [18] Hovsepian, P. E., & Münz, W. D. (2006). Synthesis, structure, and applications of nanoscale multilayer/superlattice structured PVD coatings. In *Nanostructured coatings* (pp. 555-644). Springer, New York, NY.
- [19] Chen, Y., Guo, T., Wang, J., Pang, X., & Qiao, L. (2021). Effects of orientation on microstructure and mechanical properties of TiN/AlN superlattice films. *Scripta Materialia*, 201, 113951.
- [20] Rituerto Sin, J., Hu, X., & Emami, N. (2013). Tribology, corrosion and tribocorrosion of metal on metal implants. *Tribology-Materials, Surfaces & Interfaces*, 7(1), 1-12.
- [21] Blunn, G. W., Ferro De Godoy, R., Meswania, J., Briggs, T. W., Tyler, P., Hargunani, R., ... & Coathup, M. J. (2019). A novel ceramic coating for reduced metal ion release in metal-on-metal hip surgery. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 107(6), 1760-1771.
- [22] Sun, Y., & Dearnley, P. A. (2015). Tribocorrosion behavior of duplex S/Cr (N) and S/Cr (C) coatings on CoCrMo alloy in 0.89% NaCl solution. *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 1(1), 1-13.
- [23] Zhang, G. A., Yan, P. X., Wang, P., Chen, Y. M., & Zhang, J. Y. (2007). Influence of nitrogen content on the structural, electrical and mechanical properties of CrN_x thin films. *Materials Science and Engineering: A*, 460, 301-305.
- [24] Lei, S. H. A. N., Zhang, Y. R., Wang, Y. X., Li, J. L., Jiang, X., & Chen, J. M. (2016). Corrosion and wear behaviors of PVD CrN and CrSiN coatings in seawater. *Transactions of nonferrous metals society of China*, 26(1), 175-184.
- [25] Perillo, P. M. (2015). Properties of CrN coating prepared by physical vapour deposition. *American Journal of Materials Science and Application*, 3(2), 38-43.
- [26] Cai, F., Yang, Q., Huang, X., & Wei, R. (2010). Microstructure and corrosion behavior of CrN and CrSiCN coatings. *Journal of Materials Engineering and performance*, 19(5), 721-727.
- [27] Chetcuti, R., Dearnley, P. A., Mazzonello, A., Buhagiar, J., & Mallia, B. (2020). Tribocorrosion response of duplex layered CoCrMoC/CrN and CrN/CoCrMoC coatings on implant grade 316LVM stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 384, 125313.
- [28] Svintradze, D. V., & Pidaparti, R. M. (2010). A theoretical model for metal corrosion degradation. *International Journal of Corrosion*, 2010.
- [29] Ayu, H. M., Daud, R., Shah, A., Faiz, M. M., Hazwan, H. M., Salwani, M. S., ... & Reza, M. S. (2017). Thermal oxidation process improved corrosion in cobalt chromium molybdenum alloys. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 4(9), 144-149.
- [30] Tchana Nkonta, D. V., Simescu-Lazar, F., Drevet, R., Aaboubi, O., Fauré, J., Retraint, D., & Benhayoune, H. (2018). Influence of the surface mechanical attrition treatment (SMAT) on the corrosion behavior of Co28Cr6Mo alloy in Ringer's solution. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 22(4), 1091-1098.
- [31] Peng, Z., Miao, H., Qi, L., Yang, S., & Liu, C. (2003). Hard and wear-resistant titanium nitride coatings for cemented carbide cutting tools by pulsed high energy density plasma. *Acta Materialia*, 51(11), 3085-3094.
- [32] Goldberg, J. R., & Gilbert, J. L. (2004). The electrochemical and mechanical behavior of passivated and TiN/AlN-coated CoCrMo and Ti6Al4V alloys. *Biomaterials*, 25(5), 851-864.



NUMERICAL INVESTIGATION OF THE USE OF CONVERGING AND DIVERGING FINS IN SOLAR AIR COLLECTORS

Kamil Neyfel Çerçi¹ , Mehmet Tahir Erdinç^{*1} 

¹Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 33400, Tarsus/Mersin, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

Solar assisted air collectors are widely used in the conversion of solar energy to heat. The thermal and thermohydraulic performance parameters of these collectors are of great importance. In collector designs with high performance parameters, high temperature process air can be obtained even at lower irradiance values. There are two different methods of heat transfer improvement, namely, active and passive. It is obvious that the continuous regeneration of the boundary layer due to the mixing in the direction perpendicular to the flow as a result of the addition of fins and partitions on the absorber plate (passive method) in the collector and the flow to the end points of the plate will improve the heat transfer. This will improve the performance parameters of the collector. In this study, the effect of placing baffles and converging-diverging fins on the absorber plate on thermal and thermohydraulic performance was numerically investigated. The numerical results show that the average highest thermal and thermohydraulic efficiency values were obtained in the C-type collector, and these values were 87.21% and 87.11%, respectively. The lowest average thermal and thermohydraulic efficiencies were obtained in type A; these values were 81.18% and 81.08%. In addition, it is seen that the changes in thermal and thermohydraulic efficiency that the B type is most affected by different flow rates. Finally, the hot spots and streamlines determined for the B-type collector, where the best results were obtained within the scope of the study, were presented and some suggestions were performed for future studies.

Keywords: Solar assisted air collector, thermal efficiency, thermohydraulic efficiency, numerical analysis.

HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNDE DARALAN VE GENİŞLEYEN KANATÇIK KULLANIMININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Havalı güneş kolektörleri, güneş enerjisinin ısıya dönüşümünde yaygın bir kullanıma sahip olup, bu kolektörlerin termal ve termohidrolik performans parametreleri büyük önem arz etmektedir. Yüksek performans parametrelerine sahip olan kolektör tasarımlarında daha düşük ışınım değerlerinde bile yüksek sıcaklıkta proses havası elde edilebilmektedir. Isı transferi iyileştirmelerinde aktif ve pasif olmak üzere iki farklı yöntem bulunmaktadır. Kolektörde yutucu plaka üzerinde kanatçık ve bölmeler eklenmesi (pasif yöntem) sonucu akışa dik yönde karışımlardan dolayı sınır tabakanın sürekli yenilenmesinin ve plakanın uç noktalarına akışın ulaşması ısı transferini iyileştireceği ve bu durumun kolektörün performans parametrelerini arttıracığı aşikardır. Bu çalışmada, yutucu plaka üzerine bölmeler ile daralan-genişleyen kanatçıklar yerleştirilmesinin termal ve termohidrolik performans üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, ortalama en yüksek termal ve termohidrolik verim değerleri C tipi kolektörde elde edilmiş olup, bu değerler sırasıyla %87.21 ve %87.11'dir. En düşük ortalama termal ve termohidrolik verimler ise A tipinde elde edilmiştir ve bu değerler %81.18 ve %81.08'dir. Ayrıca çalışmada farklı debilerden en çok B tipinin etkilendiği termal ve termohidrolik verimlerindeki değişimden görülmektedir. Son olarak çalışma kapsamında en iyi sonuçların elde edildiği B tipi kolektör için tespit edilen sıcak noktalar ve akım çizgileri sunulmuş ve gelecek çalışmalar için bazı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Havalı güneş kolektörü, termal verim, termohidrolik verim, sayısal analiz.

1 Giriş

Günlük yaşamın sürdürülebilmesi için insanoğlu enerjiden birçok farklı şekilde faydalanmaktadır. Bu da enerjinin sürdürülebilir ve kaliteli bir yaşamın temelini oluşturduğu anlamını çıkarmaktadır. Sürdürülebilir

ekonomik gelişim elde edebilmek için sanayileşmenin de etkisiyle sürekli olarak artan enerji talebinin karşılanması gerekmektedir [1]. Değişken petrol talebi ve ulaşım araçlarının [2] yol açtığı kirlilik, doğal gaz gibi çevre dostu yakıtların kullanımına olan ilgili arttırmıştır [3,4]. Ancak evsel ve endüstriyel uygulamalarda ihtiyaç duyulan

* Corresponding author.

E-mail address: mtahirerdinc@tarsus.edu.tr (M. T. Erdinç)

Received 05 June 2022; Received in revised form 22 August 2022; Accepted 08 October 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1135181>

doğalgaz gibi geleneksel enerji kaynaklarının tükeniyor olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının bu enerji talebini karşılamada hayati bir role sahip olduğunu göstermektedir. Bu sebeple, dünya genelinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek için sürekli olarak politikalar üretmektedirler [5].

Güneş enerjisi, enerji talebini karşılamak için var olan en büyük ve en umut verici yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir [6]. Dünya yüzeyine düşen güneş enerjisi, bugün var olan enerji ihtiyacının yaklaşık on bin katına eşdeğerdir. Ancak dünya yüzeyine düşen güneş ışınımının tamamını yakalamak mümkün değildir ve bu nedenle enerji ihtiyacını karşılayacak güneş enerjisini toplayabilmek ve depolayabilmek için güneş enerji teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Güneş enerjisini pasif veya aktif yöntemlerle toplayabilmek mümkündür. Pasif yöntemde güneş enerjisi dolaylı şekilde farklı biçimlere dönüştürülürken, aktif yöntemde ise güneş enerjisi doğrudan faydalı biçimlere dönüştürülmektedir. Güneş enerjisinin kullanımının artırılması sayesinde enerji ve çevreyi daha sürdürülebilir bir biçimde dengelemek mümkün olacaktır. Bu sürdürülebilir denge için yenilikçi güneş enerjisi teknolojilerinde uygun malzeme seçimi ve etkin tasarımların yapılması gerekmektedir [7].

Güneş enerjisi destekli termal kolektörler, farklı dalga boylarındaki güneş ışınımını yakalayan ve onu faydalı bir enerji formuna dönüştüren ekipmanlardır. Güneş ışınımını toplayan soğurucu plakaya göre, kolektörler yoğunlaştırılmış ve yoğunlaştırılmamış tip olarak sınıflandırılmaktadırlar. Parabolik, paraboloid güneş kolektörleri, yoğunlaştırılmış güneş kolektörleridir. Düz plakalı kolektörler yoğunlaştırılmamış kolektörler sınıfına girmektedirler [7]. Düz plakalı kolektörlerden olan güneş destekli hava ısıtıcıları, gelen güneş ışınımını ısı enerjisi formuna dönüştürmektedir. Güneş destekli hava ısıtıcıları ucuzdur, yapımı basittir, orta ve düşük sıcaklık uygulamaları için kullanımları uygundur [8]. Güneş enerjili hava ısıtıcıları başlıca ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri, seralar, tekstil endüstrileri, deniz ürünlerinin artırılması gibi birçok uygulamada kullanılmaktadırlar. Güneş enerjili hava ısıtıcıları sayesinde kolaylıkla 45-70 °C sıcaklıkta kuru ve sıcak hava sağlanabildiği için, bu ısıtıcıların ürün kurutmada da yaygın olarak kullanımları vardır [9,10].

Literatürde güneş destekli hava ısıtıcılarının performansını iyileştirmek amacıyla birçok farklı kanatçık uygulaması üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir [8,11–14]. Bu yaygın kanatçık uygulamalarından birisi de kolektör içerisinde havanın daha çok dolaşmasına imkan tanıyan bölünmüş kanallı hava kolektörleridir. Dolayısıyla bu tip kolektörlerin geliştirilmesi, birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur. Kurtbas ve Durmuş [15] farklı şekilde tasarlanmış bölmeler ile 4 farklı tipte kolektör imalatı gerçekleştirmiş ve bu kolektörlerin enerji ekserji analizlerini yapmışlardır. Çalışma kapsamında her tip kolektör için Reynolds sayısına bağlı Nusselt eşitlikleri üretilmiştir. Tasarlanan kolektörlerin tamamında geleneksel kolektöre kıyasla yüksek termal verim elde edilmiştir. Akpınar ve Koçyiğit [16] güneş enerjili hava ısıtıcı kolektörde, bölünmüş kanallar içerisinde üçgen, yaprak ve açılı dikdörtgen kanatçıklar yerleştirerek sistemin enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Çalışma kapsamında kanatçıklı kolektörlerdeki performans parametrelerinin düz kolektöre kıyasla iyileştiği ve kanatçık tipine göre bu iyileşmenin farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Mevcut tasarımlar için enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 20 ile % 82 ve % 8.32 ile % 44 arasında değişim göstermiştir. Çalışma kapsamında ayrıca farklı tipte tasarlanan kolektörlerden elde edilen enerji ve ekserji verimleri için birçok parametre göz önünde bulundurularak eşitlikler üretilmiş ve literatüre bu eşitlikler sunulmuştur. Hu vd. [17] bölünmüş tip kolektörün ilk kanalını daraltarak termal performansını optimize etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri kullanılarak sayısal incelemeler yapılmıştır. Ayrıca çalışmada, validasyon amacıyla sayısal modelin 1:0.5 ölçeğinde bir deney düzeneği kurulmuştur. Sayısal analizlerde birinci bölmede yapılan daralmanın %9.73'den % 16.10'a kadar termal verimde artışa sebep olduğu belirlenmiştir. Potgieter vd. [18] özgün bir karşıt/paralel akışlı güneş enerjili hava ısıtıcısı tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Bu hava ısıtıcısının performansını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, ortalama dönüşüm veriminin % 23 ile % 83 ve ortalama kolektör veriminin % 11 ile % 44 arasında değiştiği belirlenmiştir. Saydam vd. [19] havanın kolektör içerisinde daha çok dolaşmasını sağlamak amacıyla geleneksel bölmeli kolektörlerden farklı olarak 11 bölmeden oluşan güneş enerji destekli bölmeli bir kolektör imal etmiş ve kolektörün enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada maksimum kolektör enerji verimi %87.08 olarak bulunmuştur. Kolektörün ekserji yıkımı ve iyileştirme potansiyeli değerleri ise 0.211- 1.172 kW ve 0.210-1.134 kW arasında değişmiştir.

Akış doğrultusunda daralan ve genişleyen kanalların sınır tabakayı yenilemesinden ve akışa dik yönde karışımlar meydana getirmesinden dolayı ısı transferini arttırdığı bilinmektedir [20–22]. Bu çalışmada geleneksel bölmeli hava kolektörlerinde hava akışını yeniden düzenlemek, iç akış ve ısı transfer özelliklerini iyileştirmek ve dolayısıyla kolektörün termal ve termohidrolik verimlerini arttırmak amacıyla daralan-genişleyen kanatçıklar bölmeler arasına yerleştirilmiştir. Açık literatürde bölmelere sahip kolektörlerin performansını geliştirmek için daralan-genişleyen kanatçık dizilimine sahip hava kolektörleri ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Daralan-genişleyen kanatçıklar hem tüm bölmelere (B) hem de birinci bölme hariç diğer bölmelere (C) monte edilerek iki farklı kolektör tasarımı oluşturulmuştur. Bu tasarımların termal ve termohidrolik performanslarının yanı sıra kolektör boyunca sıcaklık – hız dağılımları ve bölmelerin çıkışında belirlenen noktalar için sıcaklık değişimleri sayısal olarak incelenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında geleneksel bölmeli hava kolektörü (A) ve birbirleri ile sayısal olarak kıyaslamaları yapılmıştır.

2 Sayısal Modelleme

2.1 Korunum Denklemleri

Bu çalışma kapsamında sayısal çözüm için kullanılan sınır şartları ve kabuller aşağıdaki gibidir;

- Sürekli rejimde analizler yapılmıştır.

- 3 boyutlu geometride çalışılmıştır.
- Akış için Turbulent Flow, Realizable k-ε modeli seçilmiştir.
- Isı transferi için Heat Transfer in Fluids modülü seçilmiştir.
- Kolektöre giriş sıcaklığı 24 °C ($T_{k,g}$) olarak alınmıştır.
- Kolektörün üst yüzeyinden 24 °C sıcaklıkta ve 9.09 W/m²K (durgun hava için) ısı taşınım katsayısında taşınım ile ısı transferi kabulü yapılmıştır.
- Kolektör 45 °'lik açı ile yerleştirilmiş ve yerçekimi etkileri Boussinesq yaklaşımı göz önünde bulundurularak hesaplara dahil edilmiştir.

Kütle ve momentum korunum denklemleri aşağıda verilmiştir [23]:

$$\rho \nabla \cdot u = 0 \quad (1)$$

$$\rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [-PI + (\mu + \mu_T)(\nabla u + (\nabla u)^T) + F + \rho g] \quad (2)$$

Enerji denklemi de eş. (3)'te verilmiştir [24]:

$$(\rho c_p)u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k_f \nabla T) + q \quad (3)$$

Burada μ , dinamik viskozite [kg/m·s], μ_T , türbülans viskozitesi [kg/m·s], u hız [m/s], ρ akışkanın yoğunluğu [kg/m³], P basınç [Pa], c_p akışkanın özgül ısısı [J/kg·K], g yerçekimi ivmesi [m/s²], ∇ del operatörüdür, q ısı akısıdır [W/m²], T sıcaklık [K], k_f akışkanın ısı iletkenliğidir [W/m·K]. Ayrıca havanın fiziksel özellikleri COMSOL yazılımının kütüphanesi kullanılarak belirlenmiştir.

2.2 Kolektörlerin Performans Parametreleri

Çalışma kapsamında yeni kolektör tasarımlarının geleneksel bölmeli kolektör ve birbirleri ile kıyaslanmasında göz önünde bulundurulana başlıca iki performans parametresi bulunmaktadır. Bunlar termal verim (η_T) ve termohidrolik verimdir (η_{TH}). Termal ve termohidrolik verimlerin elde edilmesi için kullanılan eşitlikler aşağıda sunulmuştur [25]:

$$\dot{Q}_f = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{k,\zeta} - T_{k,g}) \quad (4)$$

$$\eta_T = \frac{\dot{Q}_f}{I \cdot A} \quad (5)$$

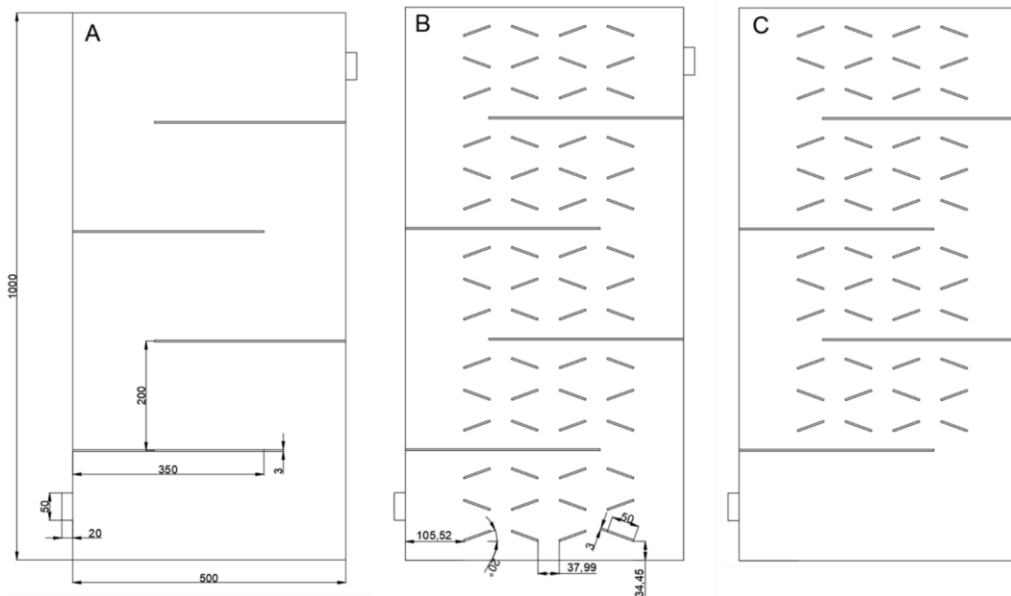
$$\eta_{TH} = \frac{\dot{Q}_f - N_f}{I \cdot A} \quad (6)$$

$$N_f = \frac{\dot{V} \cdot \Delta P}{3600} \quad (7)$$

Burada, \dot{Q}_f faydalı enerji [W], \dot{m} kütleli debi [kg/s], $T_{k,\zeta}$ kolektörden çıkan havanın sıcaklığı [°C], $T_{k,g}$ kolektöre giren havanın sıcaklığı [°C], I soğurucu plakaya gelen ısı akısı [W/m²], A soğurucu yüzey alanı [m²], N_f fan tarafından tüketilen güç miktarı [W], c_p akışkanın (havanın) özgül ısısı [J/kg·K], \dot{V} hacimsel debi [m³/h] ve ΔP basınç farkıdır [Pa].

2.3 Bölünmüş Kanallı Kolektörlerin Tasarımları

Bu çalışmada geleneksel bölünmüş kanallı bir kolektöre daralan-genişleyen kanatçıklar eklenerek kolektörün performans parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle literatürde önerilen bölünmüş kanallı bir kolektör [17] model olarak baz alınmış ve bu model üzerine kanatçıkların eklenmesi yapılmıştır. Şekil 1'de sırasıyla literatürde önerilen geleneksel bölünmüş kanallı kolektör (A), tüm bölmelere daralan-genişleyen kanatçıkların monte edildiği (B) ve birinci bölme hariç diğer bölmelere daralan-genişleyen kanatçıkların monte edildiği (C) tasarımların görünümü ve boyutlandırılmaları verilmiştir. Kolektörlerin ve içerisinde yerleştirilen bölmelerin boyutları ve mesafeleri için Hu vd. [17] tarafından yapılan deneysel düzenek baz alınmıştır. Kolektörlerin boyutları 1000 mm x 500 mm x 120 mm'dir. Kolektörlere giriş ve çıkış ağızları literatürde 50 mm çapındadır. Bölmelerin boyutları 3 mm x 350 mm x 120 mm'dir ve bölmelerin her biri arasındaki mesafe 200 mm'dir. Daralan genişleyen kanatçıkların yatay ile açısı 20°'dir ve boyutları 3 mm x 50 mm x 120 mm'dir.



Şekil 1. Kolektör tasarımları.

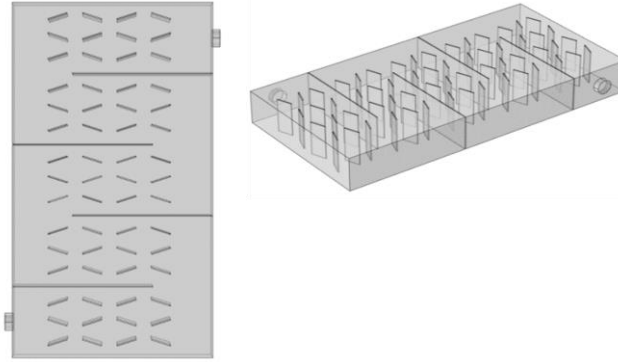
2.4 Ağ Yapısından Bağımsızlık

Tasarlanan kolektörler içerisinde geometrik olarak en karmaşık yapıya sahip kolektör (B) göz önünde bulundurularak ağ yapısından bağımsızlık gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de ağ yapısından bağımsızlığın gerçekleştirildiği kolektörün ve kanatçık diziliminin görünümü verilmiştir.

Çalışma kapsamında termal ve termohidrolik verim inceleneceği için 2 farklı parametre göz önünde bulundurularak (kolektörden çıkış sıcaklığı, $T_{k,ç}$ [°C] ve

basınç düşüşü, ΔP [Pa]) ağ sayısından bağımsızlık yapılmıştır. Ağdan bağımsızlık için Hu vd. [17] tarafından yapılan çalışmadaki deney koşulları baz alınmış olup en yüksek hava hızı (6 m/s- $Re=4744$) kullanılmıştır.

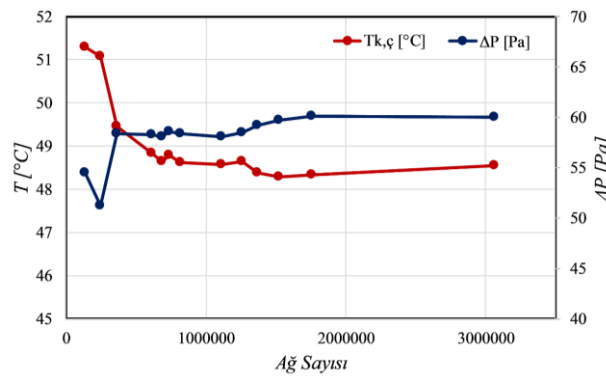
Tablo 1’de ise bu değişimin sayısal değerleri verilmiştir. Şekil 3’de ağ yapısına bağlı bu üç parametrenin değişimi verilmiştir. Çalışma kapsamında ağ sayısı olarak bağlı hatanın % 1’in altında olduğu 1523148 ağ sayısı seçilmiştir.



Şekil 2. B tipi kolektörün kanatçık diziliminin görünümü.

Tablo 1. Ağ yapısına göre sırasıyla $T_{k,ç}$ ve ΔP parametrelerinin değişimi.

Kullanılan giriş parametresi	Ağ Sayısı	$T_{k,ç}$ [°C]	Bağıl Hata [%]	ΔP [Pa]	Bağıl Hata [%]
6m/s -355.25W	136376	51.286	-	54.4415	-
6m/s -355.25W	250232	51.07	0.42	51.2665	5.83
6m/s -355.25W	366055	49.454	3.16	58.3821	13.88
6m/s -355.25W	615800	48.832	1.26	58.2798	0.17
6m/s -355.25W	688834	48.637	0.40	58.122	0.27
6m/s -355.25W	742400	48.786	0.31	58.5991	0.82
6m/s -355.25W	817292	48.622	0.34	58.3996	0.34
6m/s -355.25W	1111765	48.566	0.11	58.0257	0.64
6m/s -355.25W	1259087	48.641	0.15	58.4675	0.76
6m/s -355.25W	1369471	48.39	0.52	59.1715	1.20
6m/s -355.25W	1523148	48.289	0.21	59.7201	0.93
6m/s -355.25W	1761497	48.328	0.08	60.0969	0.63
6m/s -355.25W	3063117	48.538	0.43	59.9798	0.19



Şekil 3. Ağ yapısına göre sırasıyla kolektör çıkış sıcaklığı ($T_{k,ç}$) ve giriş-çıkış arasındaki basınç farkı (ΔP) parametrelerinin değişimi.

2.5 Validasyon

Validasyon için literatürde bulunan Hu vd. [17] gerçekleştirdiği deneysel çalışmalardan faydalanılmıştır. Çalışmada iç ortamda kolektörün alt yüzeyine 200W ve 355.25W güçlerinde çalışabilen ısıtıcı monte edilmiştir. Deneysel çalışmada sırasıyla 3 m/s ($Re=2372$) ve 6 m/s ($Re=4744$) hızlarında çalışılmıştır. Validasyon için kullanılan sınır şartları ve kabuller ile ilgili detaylar “Ağ

Yapısından Bağımsızlık” başlığı altında verilmiştir. Tablo 2’de deneysel çalışmada kullanılan bölmeli kolektörden elde edilen deneysel veriler (ΔT_G) ile sayısal çözümler (ΔT_S) arasındaki sonuçların kıyası ve bağıl hata değerleri verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi türbülanslı akışta gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların deneysel veriler ile kıyası yapıldığında en yüksek bağıl hata değeri % 10’un altında kalmıştır.

Tablo 2. Deneysel veriler ile sayısal çözümler arasındaki sonuçların karşılaştırılması ve bağıl hata değerleri.

Isı gücü ve hava hızı	$T_{k,s} [^{\circ}C]$	$T_{k,\varphi} [^{\circ}C]$	$\Delta T_s [^{\circ}C]$	$\Delta T_G [^{\circ}C]$	Bağıl Hata [%]
200W - 3m/s		48.904	24.904	23.788	4.690
355W - 3m/s	24	68.131	44.131	44.285	0.347
200W - 6m/s		36.848	12.848	11.833	8.580

3 Bulgular ve Tartışma

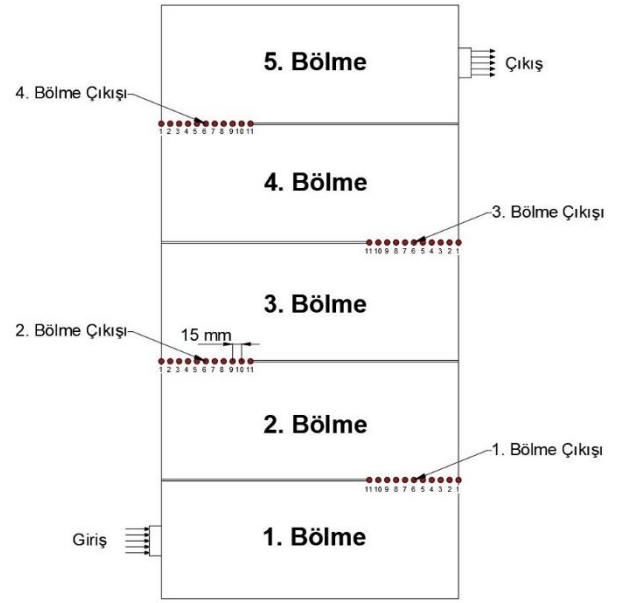
Bu çalışmada, geleneksel bölünmüş kanallı güneş enerjisi destekli hava kolektörünün performansının geliştirilmesi amacıyla iki farklı kolektör tasarımları yapılmış ve bu tasarımların sayısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Tasarımlarda bölmeler arasında daralan-genişleyen kanatçıklar yerleştirilmiştir. Ancak geliştirilmiş bu kolektörlerden birincisinde tüm bölmelere daralan-genişleyen kanatçıklar monte edilmişken, ikincisinde ise ilk bölme hariç diğer tüm bölmelere daralan-genişleyen kanatçıklar monte edilmiştir. Çalışma kapsamında daralan-genişleyen kanatçıkların iki farklı şekilde monte edilmesinin sebebi, kolektör odasındaki hava akışını yeniden düzenlemek, iç akış ve ısı transfer özelliklerini değiştirmek ve böylece kolektörün termal ve termohidrolik verimini etkilemektir.

Sayısal analizlerde her bir kolektör için çıkış sıcaklığı, giriş-çıkış arasındaki basınç kaybı, bölmelerin çıkışındaki sıcaklık dağılımı değerleri sayısal olarak çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar kullanılarak termal ve termohidrolik verim değerleri hesaplanmıştır. Bölmelerin çıkışındaki sıcaklık dağılımı için her bölme ile kolektör yan yüzeyi arasında 15 mm'lik aralıklarla 11 adet nokta belirlenmiş ve bu noktaların değerleri sayısal çözümlerle elde edilmiştir. Ancak bu noktalar belirlenirken, kolektör yan yüzeyinden bölme doğru numaralandırma yapılmıştır. Şekil 4'de bu numaralandırma ile ilgili detaylar verilmiş olup bölmelerin çıkışında belirlenen noktaların daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla bu noktalar kırmızı renkte işaretlenmiştir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen sayısal analizlerdeki sınır şartları ve kabuller genel olarak "Ağ Yapısından Bağımsızlık" başlığı altındakiler ile aynıdır. Çalışma kapsamında daha önce belirtilen sınır şartları ve kabullerden farklı olarak, ısı akısı olarak 700 W/m^2 seçilmiş ve 4 farklı hava hızı, dolayısıyla 4 farklı Reynolds sayısında çalışılmıştır. Bu Reynolds sayıları sırasıyla 2370 (3m/s), 3162 (4 m/s), 3953 (5 m/s) ve 4744 (6 m/s)'dir. Sayısal analizlerde kullanılan sınır şartları Tablo 3'de sunulmuştur.

Şekil 5 ve 6'da tüm kolektör tasarımları için çalışılan en düşük ve en yüksek Reynolds sayılarına göre sıcaklık dağılımları ve akım çizgileri verilmiştir. A tipinde genel olarak bölmelerin uç ve arka kısımlarında sıcak hatların oluştuğu saptanmıştır. B ve C tipinde kanatçıklar sayesinde bölmelerin arkasındaki sıcak hatların giderildiği belirlenmiştir. Ancak B ve C tipinde genel olarak bazı kanatçıklar ve bölmeler arasında sıcak noktaların oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca özellikle yüksek Reynolds sayısında C tipinde, B tipine kıyasla üçüncü ve beşinci bölmelerdeki sıcak noktaların boyutlarında ve değerlerinde düşüş olduğu saptanmıştır. Akım çizgilerine bakıldığında özellikle B ve C tipi

kolektörlerde meydana gelen sıcak noktaların olduğu bölgelerde akışın temasının az ve daha çok girdaplı olduğu belirlenmiştir. Buda sıcak noktaların oluşma sebebinin açıklanmaktadır.

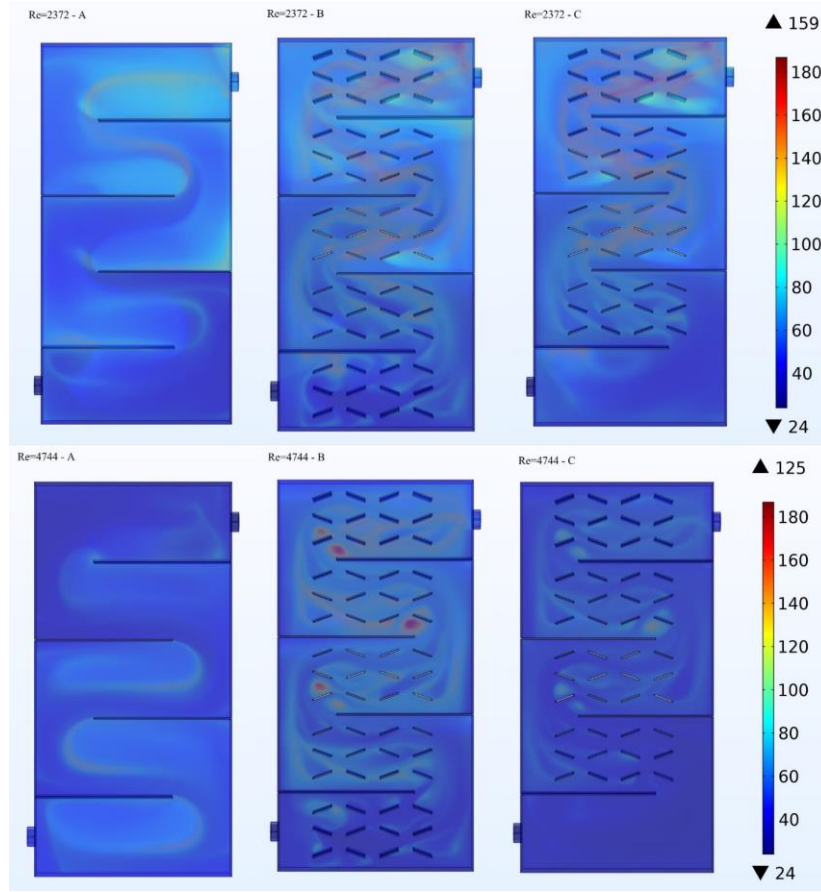


Şekil 4. Sayısal çözümlemede göz önünde bulundurulmuş sıcaklık noktaları.

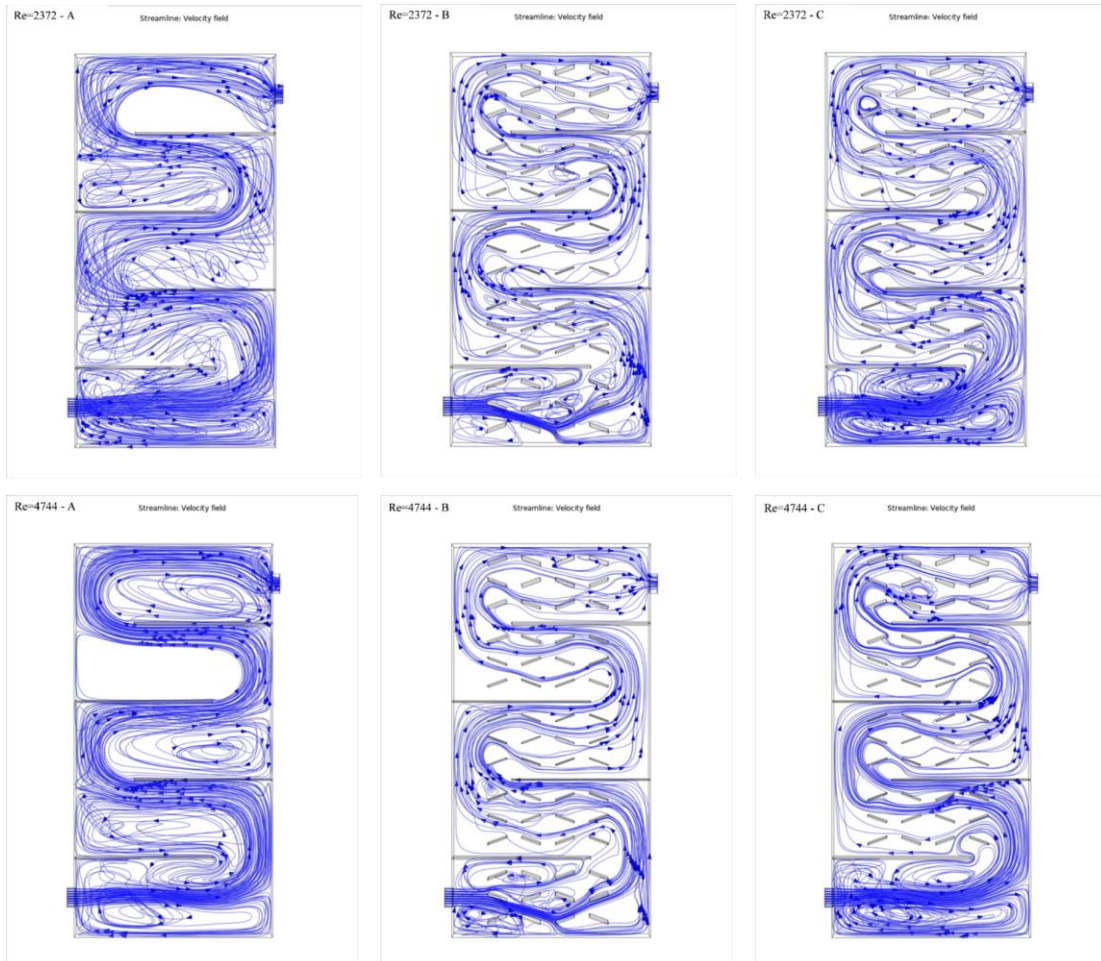
Tablo 3. Sayısal modelin sınır şartları.

Konum	Sınır koşulu
Giriş	Sıcaklık ($24 \text{ }^{\circ}C$) Re (2370, 3162, 3953, 4744)
Çıkış	Basınç (1 atm)
Kolektörün alt yüzeyi	Isı akısı (700 W/m^2)
Kolektörün üst yüzeyi	Taşınımli ısı transferi (9.09 W/m^2K) Sıcaklık ($24 \text{ }^{\circ}C$)
Bölmeler, kanatçıklar ve kolektörün yan yüzeyleri	Adyabatik sınır koşulu (0 W/m^2)
Diğer koşullar	
→ Akış için Turbulent Flow, Realizable k- ϵ modeli seçilmiştir.	
→ Isı transferi için Heat Transfer in Fluids modülü seçilmiştir.	
→ Kolektör 45° lik açı ile yerleştirilmiş ve yerçekimi etkileri için Boussinesq yaklaşımı göz önünde bulundurulmuştur	

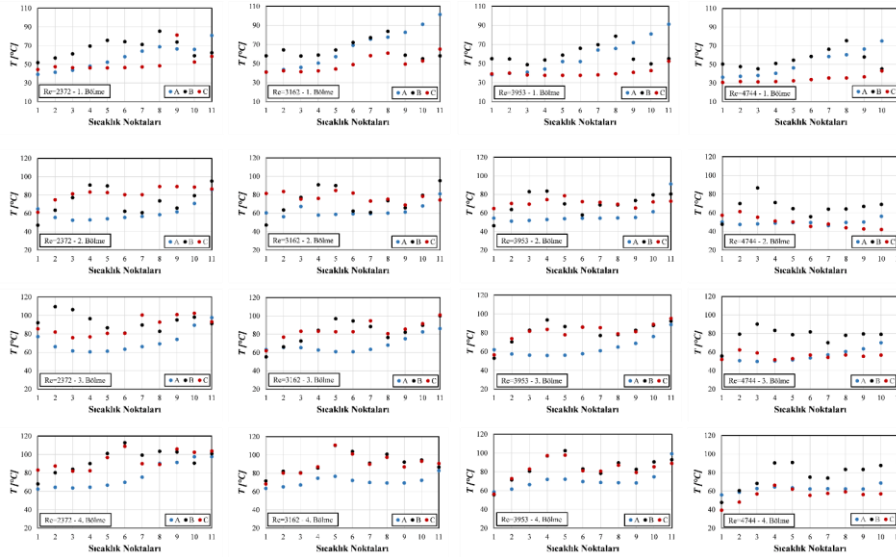
Şekil 7'de tüm tasarımlar için soğurucu plaka üzerindeki bölmelerin çıkışındaki sıcaklık dağılımlarının 15 mm'lik aralıklarla değişimleri verilmiştir. Birinci bölmelerin çıkışında belirlenen noktalar arasında en yüksek sıcaklık farkları A tipinde görülürken (ortalama $50 \text{ }^{\circ}C$), genel olarak bölmelerin çıkışındaki noktalar arasındaki en yüksek sıcaklık farkları B tipinde görülmüştür (ortalama $38.24 \text{ }^{\circ}C$). Bölmelerin çıkışındaki noktalar arasında en düşük sıcak farkları C tipine aittir. C tipi için tüm noktalar için ortalama sıcaklık farkı $26.10 \text{ }^{\circ}C$ olarak elde edilmiştir. Bu durum genel olarak C tipinin tüm bölmelerinin çıkışındaki sıcaklık dağılımının diğerlerine kıyasla daha homojen olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Sırasıyla A, B ve C tasarımları için elde edilen sıcaklık dağılımları.

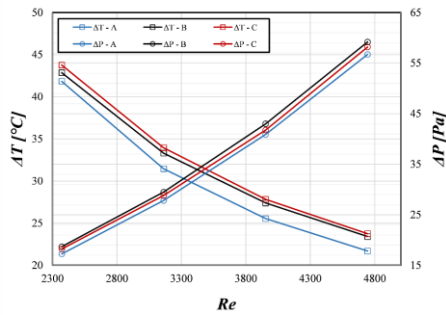


Şekil 6. Sırasıyla A, B ve C tasarımları için elde edilen akım çizgileri



Şekil 7. Sırasıyla A, B ve C tasarımlarının her bir bölümündeki sıcaklık dağılımı.

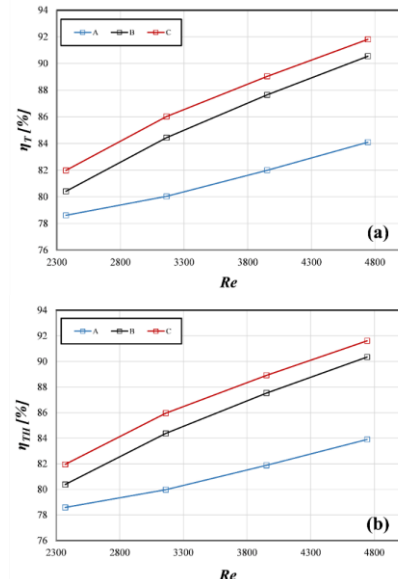
Şekil 8’de tüm kolektör tiplerinin farklı Reynolds sayılarında meydana gelen sıcaklık (ΔT) ve basınç farkları (ΔP) verilmiştir. Genel olarak kanatçık uygulama çalışmalarında yüksek performans için yüksek sıcaklık ve düşük basınç farkı istenmektedir. Re sayısının artması ile sıcaklık farkı düşerken, basınç farkının arttığı ve en yüksek sıcaklık farkının C tipinde olduğu görülürken, en düşük sıcaklık ve basınç farkları ise A tipinde olduğu belirlenmiştir. A, B ve C tipi kolektörlerde sırasıyla ortalama sıcaklık farkı ve basınç farkları $30.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 35.67 Pa , $32.32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 36.74 Pa , $31.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 37.58 Pa olarak elde edilmişlerdir. Bu geleneksel kolektör olan A tipi kolektöre göre B tipinde ortalama sıcaklık farkı ve basınç düşüşünün %5.36 ve %5.37 kadar, C tipinde ortalama sıcaklık farkı ve basınç düşüşünün ise %7.27 ve %3.00 kadar arttığını göstermektedir.



Şekil 8. A, B ve C tipi kolektörlerde farklı Reynolds sayılarına göre sıcaklık ve basınç farklarının değişimi.

Şekil 9’da A, B ve C tipi kolektörlerde farklı Reynolds sayılarına göre sırasıyla termal (η_T) ve termohidrolik (η_{TH}) verimlerin değişimi verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, genel olarak Re sayısının artması ile her iki verim değerinde artış olduğu görülmektedir. Sırasıyla A, B ve C tip kolektörler için Re sayısına göre termal ve termohidrolik verimlerdeki artış %6.97 ve %6.76, %12.60 ve %12.39, %11.98 ve %11.78 olarak elde edilmiştir. Ancak A, B ve C tip kolektörler için ortalama termal verimleri (η_{T-Ort}) sırasıyla %81.18, %85.76 ve %87.21 olarak elde edilmiştir. Bu kolektörlerin ortalama termohidrolik verimleri (η_{TH-Ort}) ise sırasıyla %81.08, %85.65 ve %87.11 olarak elde edilmiştir. Re

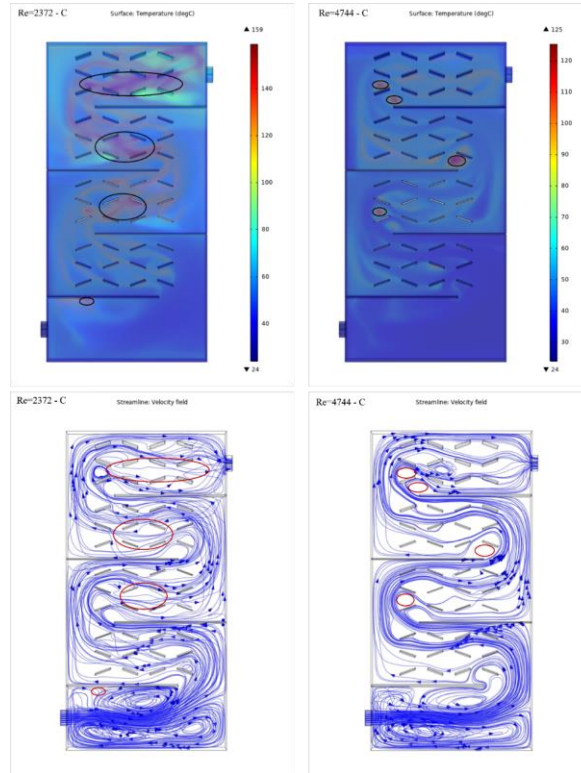
sayısına bağlı olarak verimdeki artış yüzdesi en çok B tipi kolektörde olurken, genel olarak en yüksek termal ve termohidrolik verim değerleri C tipinde görülmüştür. Bu farklı debilerden B tipi kolektörün daha çok etkilendiğini göstermiştir. Birbirleriyle bağlantılı daralan ve genişleyen kanatçıklar sayesinde akışa dik yönde karışımlar meydana gelmektedir. Bu karışımlar sayesinde kanatçıklarda ve yutucu plaka üzerinde sınır tabakası sürekli yenilenmektedir. Bu durum ısı transferini iyileştirmekte ve dolayısıyla termal ve termohidrolik verimi arttırmaktadır. Akım çizgileri incelendiğinde birinci bölmeye eklenen kanatçıkların akışın birinci bölmedeki tüm yüzey ile temasını engellediği görülmüştür (Şekil 6). C tipinde bölmelerin çıkışındaki sıcaklık dağılımına bakıldığında en homojen dağılımın gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 7). Ayrıca C tipinde birinci bölmedeki kanatçıkların olmaması, kolektör içerisinde dağılımının daha düzgün olması ve bundan dolayı basınç kaybının daha az olmasına sebep olmuştur (Şekil 6). Bu durum, B tipine göre daha iyi termohidrolik performans sağlamıştır.



Şekil 9. A, B ve C tipi kolektörlerde farklı Reynolds sayılarına göre termal (η_T) -a ve termohidrolik (η_{TH}) -b verimlerinin değişimi.

Soğurucu plaka tarafından sürekli olarak ısıtılacak olan kolektör odasında meydana gelen girdapların ve yeteri kadar akış ile teması olmayan bölgelerin, yutucu plakada bazı "sıcak noktalar" oluşturduğu ve bu durumun ısı kaybının artmasına ve akışkana aktarılan ısının düşmesine neden olduğu bilinmektedir. Bu sebeple çalışma kapsamında en iyi performans gösteren kolektör tasarımında (C tipi) meydana gelen sıcak noktaların tespiti

yapılmıştır. Şekil 10'da en düşük ve en yüksek Reynolds sayıları için oluşan sıcak noktalar ve o noktalardaki akış dağılımları verilmiştir. Şekil 5'te belirtildiği gibi B tipine kıyasla C tipindeki sıcak noktalarda bazı iyileşmeler vardır. Dolayısıyla yapılan bu sayısal çalışma araştırmacılara mevcut tasarımların iyileştirilmesine yönelik alternatif fikirler sunmuştur.



Şekil 10. C tipi kolektörde en düşük ve en yüksek Reynolds sayıları için oluşan sıcak noktalar ve bu noktalardaki akım çizgileri.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, geleneksel bölmeli kolektörlerdeki hava akışını yeniden düzenlemek, iç akış ve ısı transfer özelliklerini değiştirmek ve böylece kolektörün termal ve termohidrolik verim parametrelerini artırmak için daralan-genişleyen kanatçıklar bölmeler arasında monte edilmiştir. Geleneksel bölmeli hava kolektörü için Hu vd. [17] tarafından deneysel olarak tasarlanan kolektörün boyutları göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- A tipi kolektörde genel olarak bölmelerin uç ve arka kısımlarında sıcak hatlar oluşurken, B ve C tipinde ise genel olarak kanatçıklar arasında ve bölmeler ile kanatçıklar arasında sıcak noktalar oluşmuştur.
- C tipi kolektörde bölmelerin çıkışındaki sıcaklık dağılımlarının diğer tiplere kıyasla daha homojen olduğu belirlenmiştir.
- Kolektörlerin giriş ve çıkışları arasında en yüksek sıcaklık farkı C tipinde meydana gelirken, en düşük sıcaklık ve basınç farkları A tipinde meydana gelmiştir.
- Re sayısının artması tüm kolektörlerin sıcaklık farklarında düşüşe, basınç farklarında ise artışa sebep olmuştur.

- A tipine göre B tipindeki ortalama sıcaklık farkı %5.36 kadar, C tipindeki ortalama sıcaklık farkı ise %7.27 kadar artış gözlemlenmiştir.
- A tipine göre B tipindeki ortalama basınç düşüşü %5.37 artarken, C tipinde ise %3.00 kadar artış gözlemlenmiştir.
- Termal ve termohidrolik verim parametrelerinde en yüksek değerler sırasıyla %87.21 ve %87.11 olacak şekilde C tipine, en düşük değerler ise sırasıyla %81.18 ve %81.08 olacak şekilde A tipine aittir.
- Çalışma kapsamında en iyi sonucu veren C tipi kolektörde en yüksek ve en düşük Reynolds sayılarında meydana gelen sıcak noktaların tespiti yapılmış ve bu sıcak noktaların giderilmesi için alternatif fikirler oluşturulmuştur.

Açıklamalar

Bu çalışma Tarsus Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından MF.21.001 ve MF.21.002 numaralı projeler kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Tarsus Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

Bilgilendirme

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Singh Yadav, A., & Kumar Thapak, M. (2014). Artificially roughened solar air heater: Experimental investigations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 370–411.
- [2] Khan, M. I., Yasmin, T., & Shakoor, A. (2015). International experience with compressed natural gas (CNG) as environmental friendly fuel. *Energy Systems*, 6(4), 507–531.
- [3] Khan, M. I. (2017). Falling oil prices: Causes, consequences and policy implications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 149(April 2016), 409–427.
- [4] Khan, M. I., Yasmeen, T., Khan, M. I., Farooq, M., & Wakeel, M. (2016). Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles: A bibliographic review (1991-2016). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 702–741.
- [5] Imran Khan, M. (2017). Policy options for the sustainable development of natural gas as transportation fuel. *Energy Policy*, 110(May), 126–136.
- [6] Olmuş, U., Güzelel, Y. E., Pınar, E., Özbek, A., & Büyükalaca, O. (2022). Performance assessment of a desiccant air-conditioning system combined with dew-point indirect evaporative cooler and PV/T. *Solar Energy*, 231(September 2021), 566–577.
- [7] Tian, Y., & Zhao, C. Y. (2013). A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*, 104, 538–553.
- [8] Arunkumar, H. S., Vasudeva Karanth, K., & Kumar, S. (2020). Review on the design modifications of a solar air heater for improvement in the thermal performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39(January), 100685.
- [9] Tchinda, R. (2009). A review of the mathematical models for predicting solar air heaters systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1734–1759.
- [10] Hürdoğan, E., Çerçi, K. N., Saydam, D. B., & Ozalp, C. (2022). Experimental and Modeling Study of Peanut Drying in a Solar Dryer with a Novel Type of a Drying Chamber. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 44(2), 5586–5609.
- [11] Alic, E., Das, M., & Akpınar, E. K. (2021). Design, manufacturing, numerical analysis and environmental effects of single-pass forced convection solar air collector. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127518.
- [12] Esen, H. (2008). Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Building and Environment*, 43(6), 1046–1054.
- [13] Ozgen, F., Esen, M., & Esen, H. (2009). Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans. *Renewable Energy*, 34(11), 2391–2398.
- [14] Hu, J., Sun, X., Xu, J., & Li, Z. (2013). Numerical analysis of mechanical ventilation solar air collector with internal baffles. *Energy and Buildings*, 62, 230–238.
- [15] Kurtbas, I., & Durmuş, A. (2004). Efficiency and exergy analysis of a new solar air heater. *Renewable Energy*, 29(9), 1489–1501.
- [16] Akpınar, E. K., & Koçyiğit, F. (2010). Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Applied Energy*, 87(11), 3438–3450.
- [17] Hu, J., Liu, K., Guo, M., Zhang, G., Chu, Z., & Wang, M. (2019). Performance improvement of baffle-type solar air collector based on first chamber narrowing. *Renewable Energy*, 135, 701–710.
- [18] Potgieter, M. S. W., Bester, C. R., & Bhamjee, M. (2020). Experimental and CFD investigation of a hybrid solar air heater. *Solar Energy*, 195(August 2019), 413–428.
- [19] Saydam, D. B., Çerçi, K. N., Hürdoğan, E., & Özalp, C. (2021). İç Bölmelere Sahip Havalı Bir Güneş Kolektörünün Deneysel Olarak İncelenmesi Experimental Investigation of a Solar Air Collector with Internal Baffles. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 184, 46–54.
- [20] Erdiç, M. T. (2014). *Birbirleriyle bağlantılı daralan ve genişleyen kanallarda akış ve ısı geçişinin sayısal olarak incelenmesi*. (Master's dissertation, Osmaniye Korkut Ata University).
- [21] Yılmaz, T., & Erdiç, M. T. (2018). Numerical investigation of flow and heat transfer in communicating converging and diverging channels. *Journal of Thermal Engineering*, 4(5), 2318–2332.
- [22] Kotcioglu, I., Ayhan, T., Olgun, H., & Ayhan, B. (1998). Heat Transfer and Flow Structure in a Rectangular Channel With Wing-Type Vortex Generator. In *Tr. J. of Engineering and Environmental Science* (Vol. 22, pp. 185–195).
- [23] Houda, S., Belarbi, R., & Zemmouri, N. (2017). A CFD Comsol model for simulating complex urban flow. *Energy Procedia*, 139, 373–378.
- [24] Zhang, B., Zhu, J., & Gao, L. (2020). Topology optimization design of nanofluid-cooled microchannel heat sink with temperature-dependent fluid properties. *Applied Thermal Engineering*, 176, 115354.
- [25] Yıldırım, C. (2019). V- Kanatçık Kullanımının Havalı Güneş Kolektörlerinde Termal ve Termohidrolik Verime Etkisinin Parametrik Analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34, 23–32.



NOTES ON SURFACES WITH CONSTANT GAUSS CURVATURE ALONG A CURVE IN THE LIE GROUP

Zühal Küçükarslan Yüzbaşı^{*1} , Gamze Köse Şahin¹ 

¹Firat University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 23119, Elazığ

Abstract

Original scientific paper

In this paper, the linear combination of the Lie Frenet frame of a given curve is used to create a parametric surface family. Using the coefficients of the surface's first and second fundamental forms, the Gauss curvature of this parametric surface is determined. Also, sufficient conditions for the surface when its Gauss curvature is constant along the given curve are derived. Moreover, sufficient conditions are found when the finding surface is a ruled surface, as a member of the family. Finally, a few examples to support our theory are created in the Lie group.

Keywords: Gauss curvature, Lie group, surfaces.

LİE GRUBUNDA BİR EĞRİ BOYUNCA SABİT GAUSS EĞRİLİKLİ YÜZEYLER ÜZERİNE NOTLAR

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, parametrik bir yüzey ailesi oluşturmak için verilen bir eğrinin Lie Frenet çatısının lineer kombinasyonu kullanılmıştır. Yüzeyin birinci ve ikinci temel form katsayıları kullanılarak bu parametrik yüzeyin Gauss eğriliği hesaplanmıştır. Ayrıca verilen eğri boyunca yüzeyin Gauss eğriliğinin sabit olması durumunda yeterli koşullar üretilmiştir. Dahası, ortaya çıkan yüzeyin, ailenin bir üyesi olarak açılabilir bir regle yüzey olduğu durumlardaki koşullar üretilmiştir. Son olarak, Lie Group'ta teorimizi destekleyecek bazı örnekler oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gauss eğriliği, Lie grup, yüzeyler.

1 Introduction

Differential geometry of curves and surfaces is an important and widely researched area in such fields as engineering and physics. Calculating the Gaussian curvature of a two-dimensional surface becomes necessary in many propagation problems in engineering [1]. In engineering, there exist correlations between a structure's stability and its Gaussian curvature at every point on its surface. Consequently, a useful formula for calculating the curvature is occasionally needed by engineers who work on the design of structures. A few other technical applications, such as computer vision and engineering, occasionally confront the tough task of determining a surface's Gaussian curvature in order to obtain three-dimensional depth data or range.

In general, curves in differential geometry, most studies on surfaces, and special curves on surfaces are

examined. Moreover, the concept of the construction of a surface is an important issue in differential geometry. Until today, numerous studies have been focused on constructing surfaces with a common special curve such as a geodesic, an asymptotic, or a line of curvature [2-7]. To create this, they used the curve and its Frenet frame on the surface. On the other hand, the concept of curvature is also a widely used concept in differential geometry. Gauss's work was a start in this regard. If we express the Gauss curvature K as the product of the principal curvatures, κ_1 and κ_2 , then $K = 0$ if one of the principal curvatures is zero. It is also important to understand that Gauss curvature is an intrinsic property of surfaces. This leads to Minding's Theorem which states that two surfaces of the same constant Gauss curvature K are locally isometric. The results of Minding's Theorem lead to the fact that surfaces of positive constant Gauss curvature $K > 0$ are locally isometric to a sphere, and

* Corresponding author.

E-mail address: zuhal2387@yahoo.com.tr (Z. Küçükarslan Yüzbaşı)

Received 25 June 2022; Received in revised form 30 September 2022; Accepted 30 September 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1135754>

surfaces of negative constant Gauss curvature $K < 0$ are locally isometric to a pseudosphere and surfaces of zero Gauss curvature $K = 0$ are locally isometric to a plane [8,9]. These surfaces are known as developable surfaces because they can be created from a flat sheet of material without being stretched or torn as a result. Additionally, applications for real developable surfaces are widespread in the fields of engineering and manufacturing. For example, an aircraft designer utilizes them to create the wings of an airplane.

On the other hand, recently, Bayram [10,11] introduced the theory of obtaining surfaces with constant mean and Gauss curvature through a given curve in the Minkowski and Euclidean 3-spaces, respectively.

The major goal of this research is to investigate how to derive sufficient conditions for the parametric surface when its Gauss curvature is constant along the given curve and illustrate some examples to present our theory.

2 Preliminaries

In this section, we will give a summary of the theory of the Lie Group. For more information, we may refer to [12-14].

The Frenet formulas for a unit speed curve $\alpha(s)$ in the Lie group are expressed as

$$\begin{bmatrix} T'(s) \\ N'(s) \\ B'(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa & 0 \\ -\kappa & 0 & (\tau - \tau_G) \\ 0 & -(\tau - \tau_G) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(s) \\ N(s) \\ B(s) \end{bmatrix},$$

where κ and τ are the curvature functions of $\alpha(s)$ and τ_G is called Lie torsion which is defined by $\tau_G = \frac{1}{2} \langle T, [N, B] \rangle$.

Definition 2.1: $h = \frac{\tau - \tau_G}{\kappa}$ is the harmonic curvature function [13].

Definition 2.3: Let $P(s, t)$ be a surface in the 3-dimensional Lie Group, then the Gauss curvature of this surface, such that the unit surface normal η , is defined by

$$K = \frac{ln - m^2}{EG - F^2}, \tag{1}$$

where $l = \left\langle \eta, \frac{\partial^2 P}{\partial s^2} \right\rangle$, $m = \left\langle \eta, \frac{\partial^2 P}{\partial t \partial s} \right\rangle$, $n = \left\langle \eta, \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \right\rangle$, $E = \left\langle \frac{\partial P}{\partial s}, \frac{\partial P}{\partial s} \right\rangle$, $F = \left\langle \frac{\partial P}{\partial s}, \frac{\partial P}{\partial t} \right\rangle$, $G = \left\langle \frac{\partial P}{\partial t}, \frac{\partial P}{\partial t} \right\rangle$ [9].

3 Surfaces with Constant Gauss Curvature

In this section, we introduce surfaces whose has the constant Gauss curvature in the three dimensional Lie group. Furthermore, some examples of the surface are obtained in the study and are given visualized.

Let $\alpha(s)$ be an arc length parametrized curve on a surface $P(s, t)$ in G. Then the parametric form of a surface $P(s, t)$ along given curve $\alpha(s)$ and its Frenet frame is defined as follows

$$P(s, t) = \alpha(s) + x(s, t)T(s) + y(s, t)N(s) + z(s, t)B(s) \tag{2}$$

$$L_1 \leq s \leq L_2 \quad \text{and} \quad T_1 \leq t \leq T_2,$$

where $x(s, t)$, $y(s, t)$, $z(s, t)$ are all C^1 functions. These functions are called the marching-scale functions.

According to the definition of an isoparametric curve on a surface, there exists a parameter $t_0 \in [T_1, T_2]$ such that $\alpha(s) = P(s, t_0)$, $L_1 \leq s \leq L_2$, that is,

$$x(s, t_0) = y(s, t_0) = z(s, t_0) = 0, \tag{3}$$

$$L_1 \leq s \leq L_2 \quad \text{ve} \quad T_1 \leq t_0 \leq T_2$$

Now we calculate the Gauss curvature of $P(s, t)$ given by (2) using the equation (1).

First, we will find the unit surface normal using the following equation

$$\eta(s, t) = \frac{\frac{\partial P(s,t)}{\partial s} \times \frac{\partial P(s,t)}{\partial t}}{\left\| \frac{\partial P(s,t)}{\partial s} \times \frac{\partial P(s,t)}{\partial t} \right\|}.$$

So we get

$$\frac{\partial P}{\partial s} = \left(1 + \frac{\partial x}{\partial s}(s, t) - y(s, t)\kappa(s) \right) T(s) + \left(x(s, t)\kappa(s) + \frac{\partial y}{\partial s}(s, t) - (\tau(s) - \tau_G(s))z(s, t) \right) N(s) + \left((\tau(s) - \tau_G(s))y(s, t) + \frac{\partial z}{\partial s}(s, t) \right) B(s),$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial x}{\partial t}(s, t)T(s) + \frac{\partial y}{\partial t}(s, t)N(s) + \frac{\partial z}{\partial t}(s, t)B(s),$$

$$\left\| \frac{\partial P(s,t)}{\partial s} \times \frac{\partial P(s,t)}{\partial t} \right\| = \left(\left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}.$$

We obtain

$$\eta(s, t_0) = \left(\frac{\partial y}{\partial t} B(s) - \frac{\partial z}{\partial t} N(s) \right) \left(\left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}}(s, t_0).$$

To calculate Gauss curvature, we easily get

$$E(s, t_0) = \left\langle \frac{\partial P}{\partial s}(s, t_0), \frac{\partial P}{\partial s}(s, t_0) \right\rangle = \left\| \frac{\partial P}{\partial s}(s, t_0) \right\|^2 = \|T(s)\|^2 = 1,$$

$$F(s, t_0) = \left\langle \frac{\partial P}{\partial s}(s, t_0), \frac{\partial P}{\partial t}(s, t_0) \right\rangle = \frac{\partial x}{\partial t}(s, t_0)$$

$$G(s, t_0) = \left\langle \frac{\partial P}{\partial t}(s, t_0), \frac{\partial P}{\partial t}(s, t_0) \right\rangle = \left(\frac{\partial x}{\partial t}(s, t_0) \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}(s, t_0) \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}(s, t_0) \right)^2,$$

$$l(s, t_0) = \left\langle \eta, \frac{\partial^2 P}{\partial s \partial s} \right\rangle = \frac{-\kappa(s) \frac{\partial z}{\partial t}}{\sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t} \right)^2}}(s, t_0),$$

$$m(s, t_0) = \left\langle \eta, \frac{\partial^2 P}{\partial t \partial s} \right\rangle = \frac{\left(\frac{\partial z}{\partial t} \right)^2 (\tau(s) - \tau_G(s)) - \frac{\partial z \partial x}{\partial t \partial t} \kappa(s) - \frac{\partial^2 y \partial z}{\partial t \partial s \partial t} + \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 (\tau(s) - \tau_G(s)) + \frac{\partial^2 z \partial y}{\partial t \partial s \partial t}}{\sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t} \right)^2}}(s, t_0),$$

and

$$n(s, t_0) = \left\langle \eta, \frac{\partial^2 P}{\partial t \partial t} \right\rangle = \frac{\frac{\partial^2 z}{\partial t \partial t} \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial t} \frac{\partial z}{\partial t}}{\sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2}}(s, t_0).$$

Then substituting these values into equation (1), Gauss curvature of the given surface is obtained as

$$K = \frac{A-B}{\left(\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2\right)^2}(s, t_0), \tag{4}$$

where

$$A = \kappa(s) \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2 - \frac{\partial z}{\partial t} \frac{\partial y}{\partial t} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} \right),$$

$$B = \left(\left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 \right) \left(h(s)\kappa(s) \right) - \frac{\partial z}{\partial t} \frac{\partial x}{\partial t} \kappa(s) - \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial s} \frac{\partial z}{\partial t} + \left(\frac{\partial^2 z}{\partial t \partial s} \frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 \text{ and } h(s) = \frac{\tau(s) - \tau_G(s)}{2}.$$

In light of these results, we can state the following two theorems when the Gauss curvature of the surface is constant:

Theorem 3.1: Let $P(s, t)$ be the surface given by Equation (2). If the Gauss curvature of $P(s, t)$ in equation (4) along the isoparametric curve $\alpha(s)$ is a constant, then one of the following two conditions is satisfied:

1. $\begin{cases} x(s, t_0) = y(s, t_0) = z(s, t_0) = \frac{\partial x}{\partial t}(s, t_0) \equiv 0, \\ \frac{\partial y}{\partial t}(s, t_0) \neq 0, h(s) = const., \kappa(s) = const. \end{cases}$
2. $\begin{cases} x(s, t_0) = y(s, t_0) = z(s, t_0) = \frac{\partial x}{\partial t}(s, t_0) \equiv 0, \\ \frac{\partial z}{\partial t}(s, t_0) \neq 0 \equiv \frac{\partial y}{\partial t}(s, t_0) \equiv \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}(s, t_0), \\ h(s) = const., \kappa(s) = const. \end{cases}$

Theorem 3.2: Let $P(s, t)$ be the surface given by Equation (2). If the Gauss curvature of the ruled surfaces $P(s, t)$ along the isoparametric curve $\alpha(s)$ is a constant, then the following condition is satisfied:

$$\begin{cases} x(s, t_0) = y(s, t_0) = z(s, t_0) = t - t_0, \\ 2h(s)\kappa(s) - \kappa(s) = const. \end{cases}$$

Corollary 3.3: If we take $2h(s)\kappa(s) - \kappa(s) = 0$, then $K = 0$. So $P(s, t)$ surfaces become developable ruled surfaces.

Example 3.4: Suppose that $\alpha(s)$ given by

$$\alpha(s) = (\sin(s), \cos(s), 0).$$

By straightforward calculations, we get the T, N and B vectors in the three dimensional Lie Group as follows

$$T(s) = (\cos(s), \sin(s), 0),$$

$$N(s) = (-\sin(s), \cos(s), 0),$$

$$B(s) = (0, 0, -1),$$

$$\text{where } \kappa = 1, \tau = 0, \tau_G = \frac{1}{2} \text{ and } h(s) = -\frac{1}{2}.$$

Case 1: Choosing marching-scale functions as $x(s, t) = st, y(s, t) = t, z(s, t) = st^2$ ($\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0, \frac{\partial z}{\partial t} = 0$) and $t_0 = 0$.

Then, the first condition of Theorem 3.1 is satisfied and the surface $P_1(s, t)$ given by (2) in the Lie group G is obtained as

$$P_1(s, t) = ((1-t)\sin(s) + t\cos(s), (1-t)\cos(s) - t\sin(s), -st^2).$$

In Figure 1, the surface $P_1(s, t)$ with constant Gauss curvature $K(s, t_0) = -\frac{1}{4}$ along the curve $\alpha(s)$ can be seen as follows

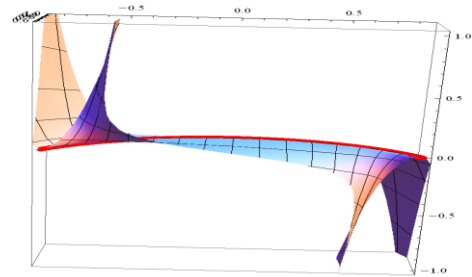


Figure 1. The surface $P_1(s, t)$ with constant Gauss curvature along the curve $\alpha(s)$.

Case 2: Choosing $x(s, t) = 0, y(s, t) = \sin(t), z(s, t) = t^3$ ($\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0, \frac{\partial z}{\partial t} = 0$) and $t_0 = 0$. Then, the first condition of Theorem 3.1 is satisfied and the surface $P_2(s, t)$ given by (2) in the Lie group G is obtained as

$$P_2(s, t) = ((1 - \sin(t))\sin(s), (1 - \sin(t))\cos(s), -t^3)$$

In Figure 2, the surface $P_2(s, t)$ with $K(s, t_0) = -\frac{1}{4}$ along the curve $\alpha(s)$ can be seen as follows

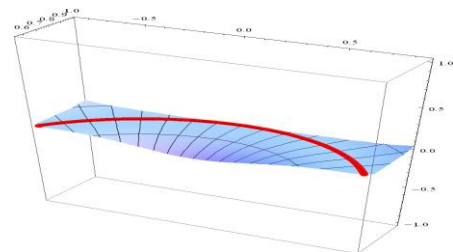


Figure 2. The surface $P_2(s, t)$ with constant Gauss curvature along the curve $\alpha(s)$.

Case 3: Choosing $x(s, t) = 0, y(s, t) = st^3, z(s, t) = s\sin(t)$ and $t_0 = 0$. Then, the second condition of Theorem 3.1 is satisfied and the surface $P_3(s, t)$ given by (2) in the Lie group G is obtained as

$$P_3(s, t) = ((1 - st^3)\sin(s), (1 - st^3)\cos(s), -s\sin(t))$$

In Figure 3, the surface $P_3(s, t)$ with $K(s, t_0) = -\frac{1}{4}$ along the curve $\alpha(s)$ can be seen as follows

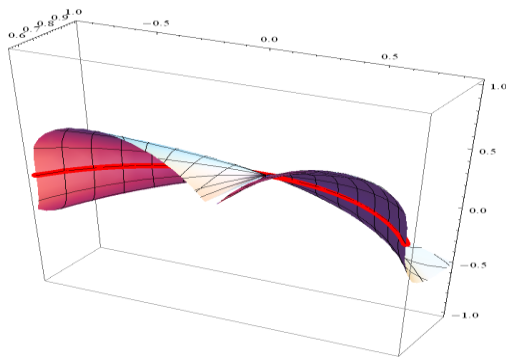


Figure 3: The surface $P_3(s, t)$ with constant Gauss curvature along the curve $\alpha(s)$.

Case 4: Choosing $x(s, t) = t^2, y(s, t) = 0, z(s, t) = st$ and $t_0 = 0$. Then, the second condition of Theorem 3.1 is satisfied and the surface $P_4(s, t)$ given by (2) in the Lie group G is obtained as

$$P_4(s, t) = (\sin(s) - t^2 \cos(s), \cos(s) - t^2 \sin(s), -st)$$

In Figure 4, the surface $P_4(s, t)$ with $K(s, t_0) = -\frac{1}{4}$ along the curve $\alpha(s)$ can be seen as follows

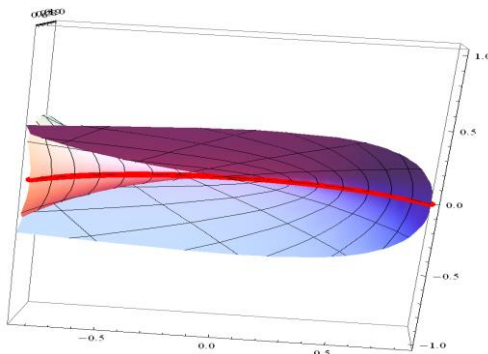


Figure 4: The surface $P_4(s, t)$ with constant Gauss curvature along the curve $\alpha(s)$.

Case 5: Choosing marching-scale functions as $x(s, t) = y(s, t) = z(s, t) = t - t_0$ and $t_0 = 0$. Then, Theorem 3.2 is satisfied and the ruled surface $P_5(s, t)$ given by (2) in the Lie group G is obtained as

$$P_5(s, t) = ((1 - t)\sin(s) + t\cos(s), (1 - t)\cos(s) - t\sin(s), -t)$$

In Figure 5, the surface $P_5(s, t)$ with $K(s, t_0) = -1$ along the curve $\alpha(s)$ can be seen as follows

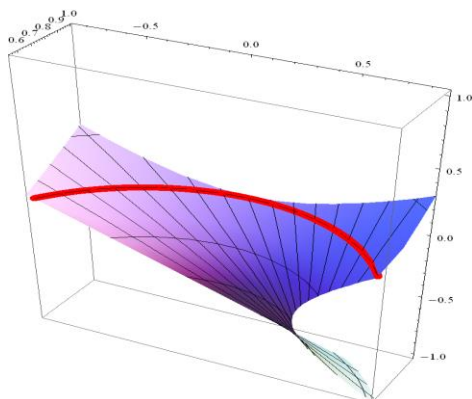


Figure 5. The surface $P_5(s, t)$ with constant Gauss curvature along the curve $\alpha(s)$.

4 Conclusion

In this paper, we defined sufficient conditions to find the surfaces which have constant Gauss curvature along a given curve in the Lie group. Moreover, we derived sufficient conditions when the finding surface is a ruled surface, which is commonly utilized in mechanical engineering. Finally, using the same base curve $\alpha(s)$ and various marching-scale functions, we created the surfaces $P_i(s, t), for 1 \leq i \leq 5$ with constant Gauss curvature, and illustrated them in Figures 1-5 for the parameters $-1 \leq s \leq 1$ and $-2 \leq t \leq 2$, respectively.

Acknowledgement

This study is related to the MSc thesis of the second author.

Declaration


Ethics committee approval is not required.

References

- [1] Bakhoun, E. G. (2012). Gaussian Curvature in Propagation Problems in Physics and Engineering. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.
- [2] Wang, G.J., Tang, K., & Tai, C. L. (2004). Parametric representation of a surface pencil with a common spatial geodesic. *Comput. Aided Des.*, 36, 447-459.
- [3] Li, C. Y., Wang, R. H., & Zhu, C. G. (2011). Parametric representation of a surface pencil with a common line of curvature. *Comput. Aided Des.*, 43(9), 1110-1117.
- [4] Ergün, E., Bayram, & Kasap, E., (2014). Surface pencil with a common line of curvature in Minkowski 3-space. *Acta Math. Sin. (Engl. Ser.)*, 30(12), 2103-2118.
- [5] Kasap, E., & Akyildiz, F. T. (2006). Surfaces with a common geodesic in Minkowski 3-space., *Appl. Math. Comp.*, 177, 260-270.
- [6] Yoon, D. W., Yüzbaşı, Z. K., & Bektaş, M. (2017). An approach for surfaces using an asymptotic curve in Lie group. *J. Advan. Phys.*, 6(4), 586-590.
- [7] Yoon, D. W., & Yüzbaşı, Z. K. (2019). On constructions of surfaces using a geodesic in Lie group, *J. Geo.*, 110(2), 1-10.
- [8] Minding, F. (1839). Wie sich entscheiden lässt, ob zwei gegebene krumme Flächen auf einander abwickelbar sind oder nicht; nebst Bemerkungen über die Flächen von unveränderlichem Krümmungsmasse.
- [9] Abbena, E., Salamon, S., & Gray, A. (2017). *Modern differential geometry of curves and surfaces with Mathematica*. Chapman and Hall/CRC.
- [10] Bayram, E. (2022). Construction of surfaces with constant mean curvature along a timelike curve. *Politeknik J.*, 1-1.
- [11] Bayram, E. (2020). Verilen Bir Eğri Boyunca Gauss Eğriliği Sabit Olan Yüzeyler. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 819-823.
- [12] Çiftçi, Ü. (2009). A generalization of Lancret's theorem, *J. Geom. Phys.*, 59(12), 1597-1603.
- [13] Okuyucu, O. Z., Gök, İ., Yaylı Y., & Ekmekci N. (2013) Slant helices in three dimensional Lie groups, *Appl. Math. Comput.*, 221, 672-683.
- [14] Yoon, D.W. (2012). General helices of AW (k)-type in the Lie group, *J. Appl. Math.*, Article ID 535123, 10 pages.



INVESTIGATION OF PRESS BRAKE PUNCHES AND DIES PRODUCED BY CASTING METHOD AND FROM MANGANESE STEEL MATERIAL IN TERMS OF MACHINABILITY

Oktay Adıyaman*¹ 

¹Besiri Organized Industrial Zone Vocational School, Batman University, TR-72100, Batman, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Punches and dies employed in sheet metal “V” bending have been obtained generally from stock materials, AISI 4140 and EN C45 (Ck 45), in industrial applications through machining. The fact that local and different manufacturing methods have been applied in manufacturing these punches and dies has gained great significance in terms of external dependency and economy. The purpose of this study is to manufacture punches and dies used in “V” bending process from manganese steel via cast method and compare the newly obtained molds with presently used molds in terms of machinability and surface roughness. In this study, the experimental samples from both AISI 4140 and manganese steel were machined at different cutting parameters (cutting speed, feed rate, depth of cut), hence they were compared by analyzing with regard to chip morphology, cutting tool edge wear and surface roughness. At the end of the study, it was concluded that the punches and dies manufactured from manganese steel produced in foundry and widely found are alternatives compared to available AISI 4140 steel molds in terms of machinability.

Keywords: “V” bending, machinability, punches and dies, sheet metal, manganese steel.

DÖKÜM YÖNTEMİ İLE MANGANLI ÇELİK MALZEMEDEN ÜRETİLEN ABKANT PRES ZIMBA VE DİŞİ KALIPLARIN İŞLENEBİLİRLİK YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

Özet

Orjinal bilimsel makale

Sac metal bükmede kullanılan zımba ve dişi kalıplar endüstriyel uygulamalarda genellikle AISI 4140 ve EN C45 (Ck 45) kütük malzemelerden talaşlı imalat yöntemiyle elde edilmektedir. Bu kalıpların imalatında yerel ve farklı imalat yöntemlerinin uygulanması dışı bağımlılık ve ekonomiklik anlamında önem kazanmaktadır. Bu çalışmada amaç, döküm yöntemiyle manganlı çelikten “V” bükmede kullanılan zımba ve dişi kalıplarının imal edilerek elde edilen yeni kalıpların mevcut kalıplarla işlenebilirlik ve yüzey pürüzlülüğü yönüyle karşılaştırılmasıdır. Çalışmada hem AISI 4140 hem de manganlı çelikten deney numuneleri farklı kesme parametrelerinde (kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği) işlenerek, talaş morfolojisi, kesici takım uç aşınması ve yüzey pürüzlülüğü yönünden analiz edilerek mukayese edilmiştir. Çalışma sonunda yerelde bulunan dökümhanelerde üretilebilen ve yaygın olarak bulunabilen manganlı çelikten üretilen zımba ve dişi kalıpların mevcut AISI4140 çelikten talaşlı imalat yöntemiyle üretilen kalıplara göre işlenebilirlik yönünden de alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: “V” bükme, işlenebilirlik, zımba ve dişi kalıplar, sac metal, mangan çelikleri.

1 Introduction

In sheet metal bending processes, press brake and in relation with this, punches and dies used in “V” binding processes are quite common [1] with many studies [2]. The performance properties of the employed punches and dies have become prominent; and the issues such as the examination of the production processes of these molds, their machinability, wear and deformation stabilities and production-cost factors have gained significance [3]. The punches and dies used in “V”

bending are generally produced from AISI 4140 and EN C45 (Ck 45) steel. Hence, machining production method takes the first place. AISI 4140 steels are widely employed in many molds, machine parts and cutting tools. AISI 4140 steel comprises about 10% of raw material in machining production processes. These steels have high hardenability property due to the alloy elements they contain [4]. AISI 4140 steels build a hard martensitic structure after tempering is done to harden them due to the Cr and Mo alloy element content; and as a result of this, they provide mechanical properties such

* Corresponding author.

E-mail address: oktay.adiyaman@batman.edu.tr (O. Adıyaman)

Received 27 June 2022; Received in revised form 25 September 2022; Accepted 08 October 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1136221>

as resistance, ductility and toughness properties at the same time. Because of this property, this type of steel is widely used [5]. One of the most important disadvantages of these steels is that they have quite brittle structures [6]. Therefore, it is necessary to choose the temperament temperature very carefully [7,8,9].

Steels with high manganese are known for their high hardening and toughness properties. High manganese steels are produced due to their excellent properties such as tensile strength, ductility and wear resistance; and they are used in the fields which are under the effects of high wear and impact [10]. Manganese steels are engineering materials widely used owing to the properties they have such as high work hardening, high wear resistance, toughness and ductility. The most important disadvantage of high manganese steels is that their machinability is quite difficult. The most significant property of these steels is that their structures change into austenitic martensitic and they harden when they are exposed to cold deformation under mechanical effects [11]. Sulphur, eliminating hot brittleness of these manganese steels, has a binding and carbide generator effect [10,12]. The fact that alternative steels to AISI 4140 and EN C45 (Ck 45) steels employed widely in "V" bending punches and dies are to be developed and that less cost processes are to be improved for machining methods and production appear to be problems that should be solved. It is necessary that the problem be compared in such aspects as especially machinability and applicability by trying different materials.

When the studies carried out are examined, it is seen that the subjects can be categorized [13]. We can study these categories under the main headings of modelling, sheet metal properties and measuring methods, adaptive bending, part placement, bending order, collision detection, tolerance verification and loading with robot [13]. It is seen that there appear three different bending zones during bending process. This is the first zone which appears due to inner radius of punch, and the layer starting from the point occurred with only elastic deformation and formed with variable radius, and the layer occurring after spring back not displaying any permanent deformations [14-16]. Spring back takes place widely on many materials with different parameters [17-21].

When these studies are examined, few studies have been encountered in investigating the materials used in "V" bending punches and dies. In the study where the effects of alloy elements employed in sheet metal form molds (body shell and front side panel) were examined [22], the mechanical properties of molds produced from eutectic and around eutectic (sub-eutectic and supra-eutectic) Bi-Sn alloys used in sheet metal bending were investigated. In order to determine the mechanical properties of the molds with this alloy material, hardness, tensile and compression tests were applied to the molds. It was observed that the compressive strength of the alloys decreased with Bi ratio and a maximum compressive strength value was obtained in the supra-eutectic alloys with a Bi ratio of 51% [22].

Obtaining "V" bending punches and dies from manganese steel through molding method and comparing it to stock AISI 4140 steel in terms of processing time

and cost were assessed in previous relevant studies [23,24]. According to this, 89% processing time achievement was realized in manufacturing punches from manganese steel by means of molding method. The punches obtained through molding method in terms of waste compared to punches produced stock AISI 4140 raw steel were obtained as 16,5% and 89% respectively [24]. The comparison of the metal sheet surface contact zone wear during bending was conducted in another work [25]. In this study, it was established that the punches and dies produced from manganese steel exhibited better performance in terms of wear compared to the molds produced from AISI 4140.

In industrial sheet metal bending, it was observed that high waste amounts and high costs in labor, time and cutting edge costs occurred due to the use of machining methods to take the "V" bending punch and dies made of AISI 4140 and EN C45 (Ck 45) steel as stocks and bring them into the required form. In addition, the fact that these steels are produced by some certain countries creates a foreign-dependency. Considering the deficiency in the literature, it is necessary to try different regional and national raw material alternatives and casting etc. and investigate the applicability of manufacturing methods of these molds.

In this context, the aim of this study is to test the manganese steel as an alternative to the steel produced from AISI 4140 and EN C45 (Ck 45) steel in "V" bending punch and dies and to examine it in terms of machinability. It is also aimed to obtain these molds by casting in order to minimize the machining method. Studying the issue from this perspective will expand the field of future researches. It will shed light on the trials related to the use of steel types with different mixtures and different structures in this field. Minimizing machining will provide economy in waste and cost. Ensuring the use of local and national resources will reduce external dependency. Therefore, different alternatives should be created by using material types and production techniques that can be produced in our country. It is important to create an alternative material and production technique in sheet metal bending molds, and for this purpose, punch and dies should be manufactured by casting from manganese steel material and the issue should be analyzed in terms of machinability.

2 Material and Method

2.1 Preparing Samples for Mechanical Tests

"V" bending dies used in press brakes are produced in different sizes to be used in experimental studies. In the production of the models, 3 different punches and 2 different female mold models were selected from the catalogues of CKB Machine Mold Limited Company [26], which are mostly used in bending processes. These selected models were produced with casting method from manganese steel by giving 2 mm finishing allowance especially to the sheet metal bending contact and assembling (fixture) surfaces (Figure 1).

The comparison of the production time performance of the punches and female molds cast from manganese

steel in Figure 1, and the punches and dies produced from stock AISI 4140 steel, was made in previous studies [23-25].

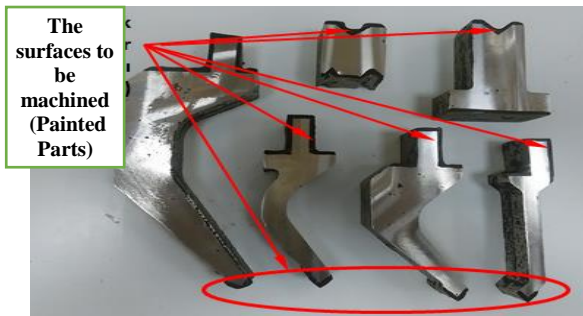


Figure 1. Produced casting punch and die samples.

In this study, test samples were obtained by casting method in order to perform both machinability and mechanical tests along with casting of punches and dies. AISI 4140 steels are obtained from existing steel stocks. The chemical properties of the cast manganese steel and AISI 4140 steels are given in Table 1

Table 1. Chemical analyses of used materials.

Chemical Analysis of Manganese Steel						
Element	%	Element	%			
Carbon (C)	1.375	Nickel (Ni)	0.104			
Phosphor (P)	0.047	Vanadium (V)	0.047			
Molybdenum(Mo)	0.261	Manganese (Mn)	17.59			
Copper (Cu)	0.110	Chrome (Cr)	0.977			
Sillisium (Si)	0.356	Aluminum (Al)	0.013			
Sulfur (S)	0.005	Boron (B)	0.002			
Remaining Part Ferrum (Fe)						
Chemical Analysis of AISI 4140 Steel						
C	Mn	Si	Cr	S	P	Mo
0.41	0.83	0.21	0.9	0.027	0.027	0.18

2.2 Machinability Activities

Apart from the punches and mold models, 4 pieces of plates to be used in machinability processes were cast in the dimensions of 100x10x100 mm (Width x thickness x length).

Regarding the machinability tests, the ISO 8688-1 standard, which is the standard for machinability and the parameters for the determination of tool wear and tool life, was taken as reference in this step. All chip removal processes were performed on a 3-axis CNC milling machine. It is necessary that the width of cutting tool piece should be nearly 60-70% of the cutting effective diameter [28,28]. In the experimental studies, APMT1604PDSR-MM insert type belonging to Korloy Company and PC5300 series inserts belonging to this insert and a 30 mm diameter end milling were used for the use of these inserts (Figure 2).

In addition, test samples were prepared to be used in machinability applications. Since the end mill tool with a diameter of 50 mm was chosen to process the test samples, the piece width (W) was processed with the end mill with a width of 30 mm as 60% of the diameter (Figure 2).

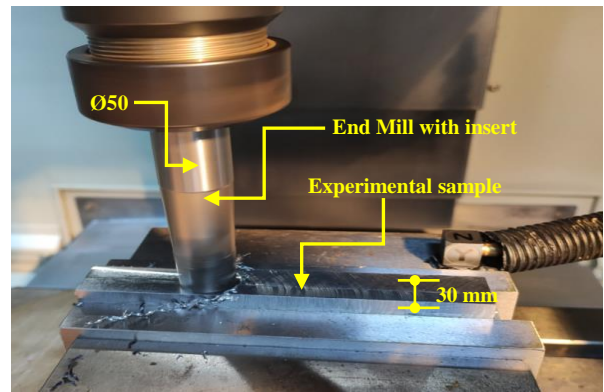


Figure 2. ISO 8688-1 standard milling operation [28].

For comparison with each other, test samples were obtained from both AISI 4140 steel and cast manganese steel materials.

2.3 Test Design

Within the context of machinability processes of the samples prepared for processing application, the machinability tests of the workpieces were performed with AISI 4140 steel and cast manganese steel. In processing of experimental samples prepared for this purpose, three different cutting parameters and three different levels for each parameter were chosen. Cutting speed, feed rate and depth of cut were chosen as factors, and levels related to these factors were determined. These levels were obtained from cutting tool catalogue information of the firm web site [28].

As the cutting tool, Korloy branded APMT 1604PDSR-MM standard and PC5300 coded insert was used. Korloy 2014-2015 tool catalogue was used for the determination of machining method and cutting parameters. Considering that the selected inserts should be convenient for interrupted cutting and convenient for machining manganese steel with cast iron properties, the machining parameters were similarly selected from the same catalogues.

After all the evaluations, considering the cutting parameters in Table 2, L9 orthogonal array with 9 experiments was chosen according to the Taguchi experimental design as the most suitable design for the experimental study. For the experiments, a total of 18 tests were carried out, 9 of them were with AISI 4140 steel and 9 of them were with manganese steel samples that were cast.

Table 2. Machinability parameters and levels.

Factors	Unit	Level 1	Level 2	Level 3
Cutting Speed (A)	m/min	75	100	125
Feed Rate (B)	mm/rev	0.1	0.15	0.2
Depth of Cut(C)	mm	0.5	1	1.5


L9 test design of 18 test designs carried out and test distribution of this test is shown in Table 3. As a result of machinability processes, surface roughness measurements of all machined surfaces were conducted.

Table 3. Taguchi L9 orthogonal test design.

ExpNo	Variables	Cutting Speed (A)	Feed Rate (B)	Depth of Cut (C)
1	A1B1C1	1	1	1
2	A1B2C2	1	2	2
3	A1B3C3	1	3	3
4	A2B1C2	2	1	2
5	A2B2C3	2	2	3
6	A2B3C1	2	3	1
7	A3B1C3	3	1	3
8	A3B2C1	3	2	1
9	A3B3C2	3	3	2

In the measurements, it is aimed to compare the surface roughness of AISI 4140 and manganese steel surfaces and to determine the difference. Measurement specifications for surface roughness measurements are shown in Table 4.

Table 4. Surface roughness measurement parameters.

	Device brand and Model	SRT-6210
	Measurement Method	Gauss
	Measurement Unit	Ra
	Measurement speed	0.25 Vt:0.135 mm/s

In each of the AISI 4140 steel and manganese steel samples machined according to the experimental design in Table 3, a Ra value was measured in the front, middle and back regions perpendicular to the machining direction. In addition, 3 measurements in the front, middle and back regions were measured in the direction parallel to the machining direction (Figure 4). The arithmetic mean of 3 values in each region was taken and recorded. The surface roughness tests were carried out according to the norms specified in TS 971. In surface roughness measurement, the value of cutting speed (v_c) was taken as 2,5 according to ISO standard of the device.

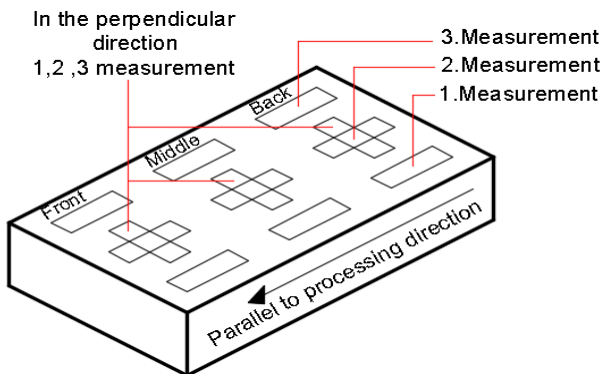


Figure 4. Structures on the chip.

3 Results and Discussion

3.1 Chip Morphology and Tool Wear

According to L9 orthogonal test design and test data given in Table 2 and 3, the chips obtained from the machinability processes of AISI 4140 steel and manganese steel samples (Figure 3) made for the analysis of the machined parts and the images of the insert of the cutters performing each operation were

examined under the SEM microscope. 200X and 500X SEM images of all chips were obtained. The machinability analyzes were evaluated based on the chip forms obtained and the damage on the cutting edge. The chip SEM image used in the evaluations and its definitions are shown in Figure 3.

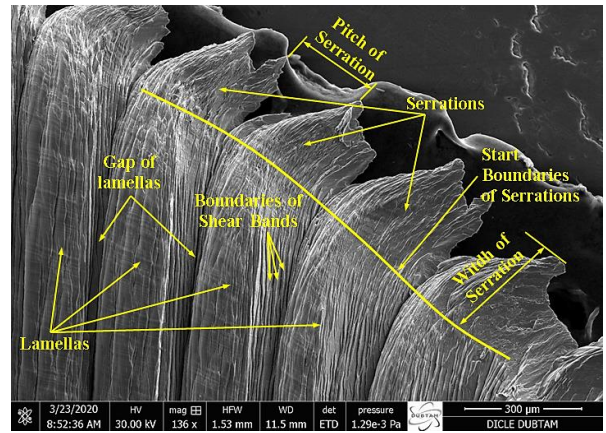


Figure 3. Structures on the chip.

When the chip types of both methods are examined, in the process of not only AISI 4140 steel but also manganese steel, serrated type chips were observed to occur (Figure 4).

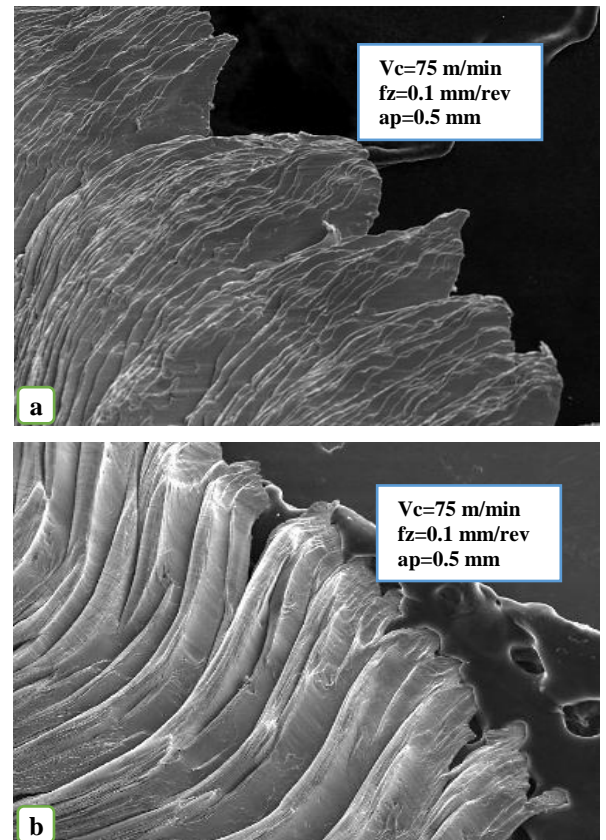


Figure 4. Serrated type chips obtained as a result of processing a) AISI 4140 b) Manganese steel.

The formation of serrated chips causes fluctuations in cutting forces, accelerates tool wear and reduces the quality of the machined surface [30,31]. For this reason, when we look at the surface roughness, it is seen that there are deteriorations in the surface roughness due to

serrated chips. In addition, the adiabatic slip band, which is formed without any damage to the primary deformation zone, is considered the main cause of serrated chip formation [31,32]. Serrated chips are

generally obtained in the machining of hard materials and the serration ratios may vary according to the tool geometry. (Figure 5).

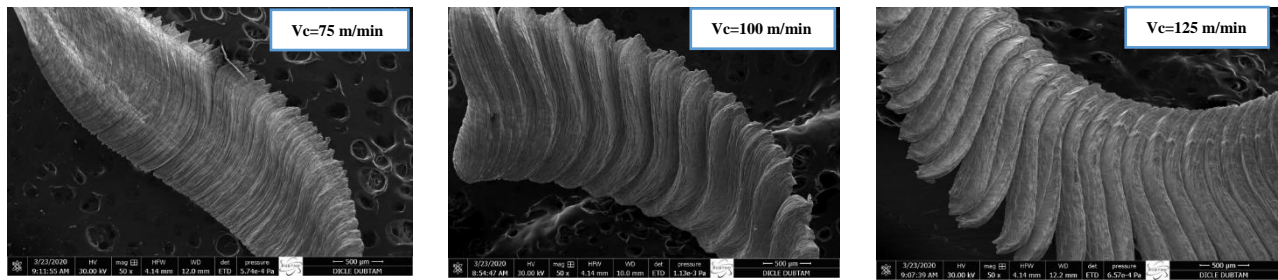


Figure 5. Chips forming related with cutting speed increase in AISI 4140.

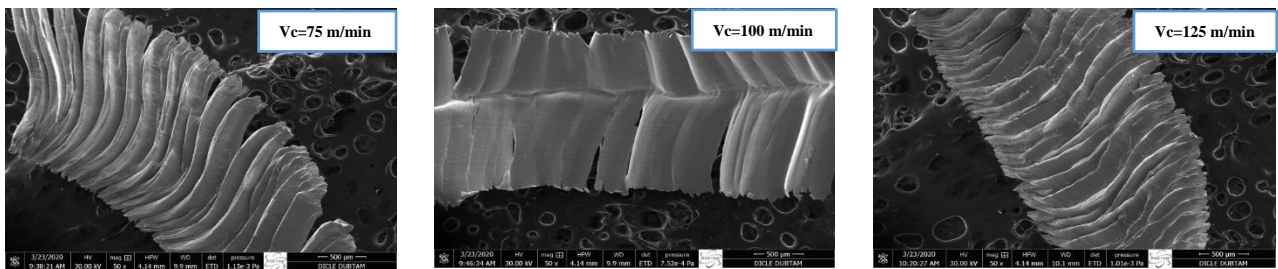


Figure 6. Chips forming related with cutting speed increase in manganese steel.

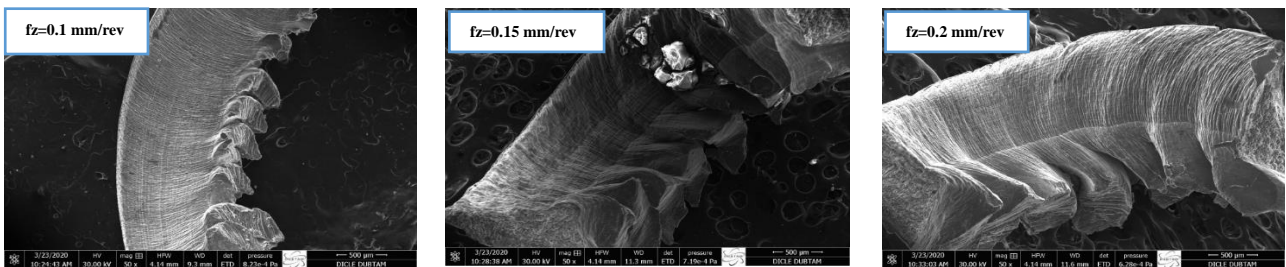


Figure 7. Chips formed related with feed rate increase in AISI 4140.

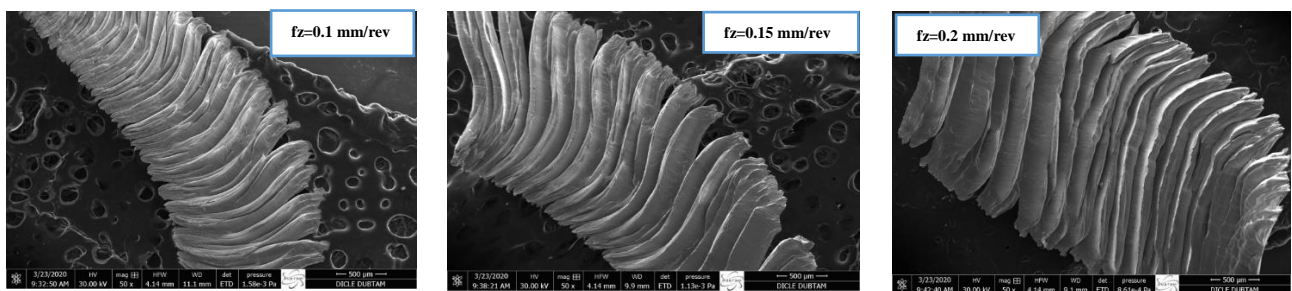


Figure 8. Chips formed related with feed rate increase in manganese steel.

When Figure 5 is examined, it is seen that with the increase in cutting speed, the lamellas in the chips become less frequent and the serration pitches increase in parallel. It is also seen that the width of the serrations also deepens in the same way. The chips obtained in the machining of manganese steel are shown in Figure 6.

When Figure 6 is examined, it is seen that the width of the serration decreases in manganese steel, but the gaps between the lamellas increase more than that of AISI 4140. However, when looking at AISI 4140 steel, it is seen that the gaps between the lamellas increase with the increase in cutting speed, whereas the gaps between the lamellas decrease with the increase in cutting speed in manganese steel.

When the chips obtained depending on the feed rate are examined, the chip shapes of AISI 4140 steel are seen in Figure 7, and the chip shapes of manganese steel are seen in Figure 8.

When Figures 7 and 8 are examined together, a serrated chip type and a continuous chip type are formed in AISI 4140 steel, whereas a chip type with a shorter serration width is formed in manganese steel. In addition, while the amount of feed rate increases, the serration pitches of AISI 4140 steel increase, while the gaps between the lamellas increase in manganese steel. We are of the opinion that these cavities, which we call deformation cracks, are formed as a result of the hardness given by the high manganese content in the material and the hardening of the grain boundaries in the

microstructure, and this is also helped by the carbide structures at the grain boundaries. In AISI 4140 steel, it is observed that the width of the serration increases significantly with the increase in feed rate, while the width of the serration is seen very little in manganese steels. For this reason, there is no opinion about the width of the serration.

In order to make a comparison between AISI 4140 steel and manganese steel in terms of machinability, tool wear was also investigated. SEM analyzes of the cutting edges used in 9 machining of AISI 4140 and manganese steel materials carried out according to the parameters in Table 5 were made; and tool wear was compared. In the analysis, both AISI 4140 and manganese steel materials behaved similarly at low cutting speeds and almost no wear was observed (Figure 9).

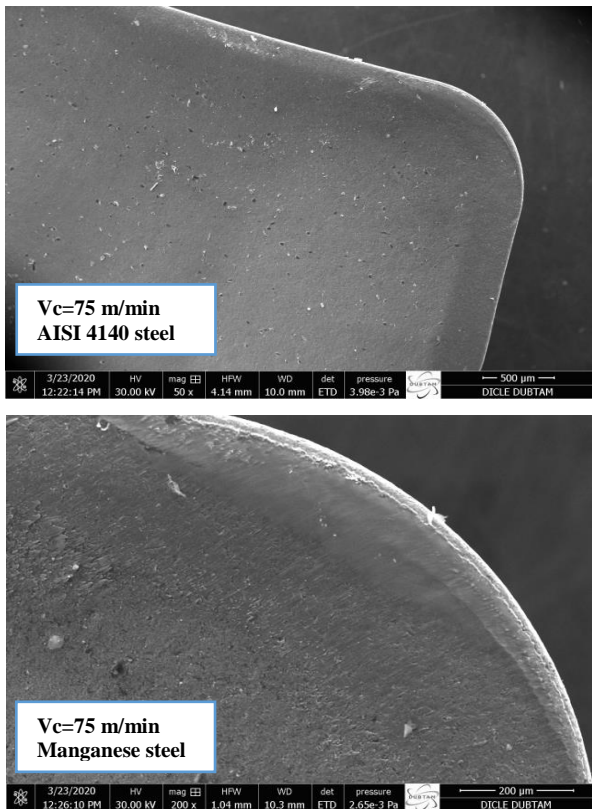


Figure 9. Cutting edge wears at low cutting speed.

It was observed that although tool wear is low in cases where the cutting speed and feed rate values are low, the wear increases more at high cutting speeds and high feed rate values (Figure 10).

When Figure 10 is examined, no wear was observed on the flank surface of the insert tool at a feed rate of 0.15 mm/rev in both AISI 4140 and manganese steel, but some wear was observed on the rake surface. However, as the feed rate was increased, it was observed that the cutting edge wear increased even more. No crater wear etc. in both steel types of cutting tools was encountered. When all the tools were examined, it was observed that the wear in manganese steel processing was slightly higher than that of AISI 4140 steel. However, considering the gain in the processing time and waste amount of the parts, which were widely explained in previous studies on the subject, the gain obtained in the processing of manganese steel punches and dies with the

casting method and the amount of wear on the cutting tool were found to be a tolerable factor. In this respect, it was concluded that the disadvantage of manganese steel punches and dies can be kept to a minimum in terms of machinability of manganese steels.

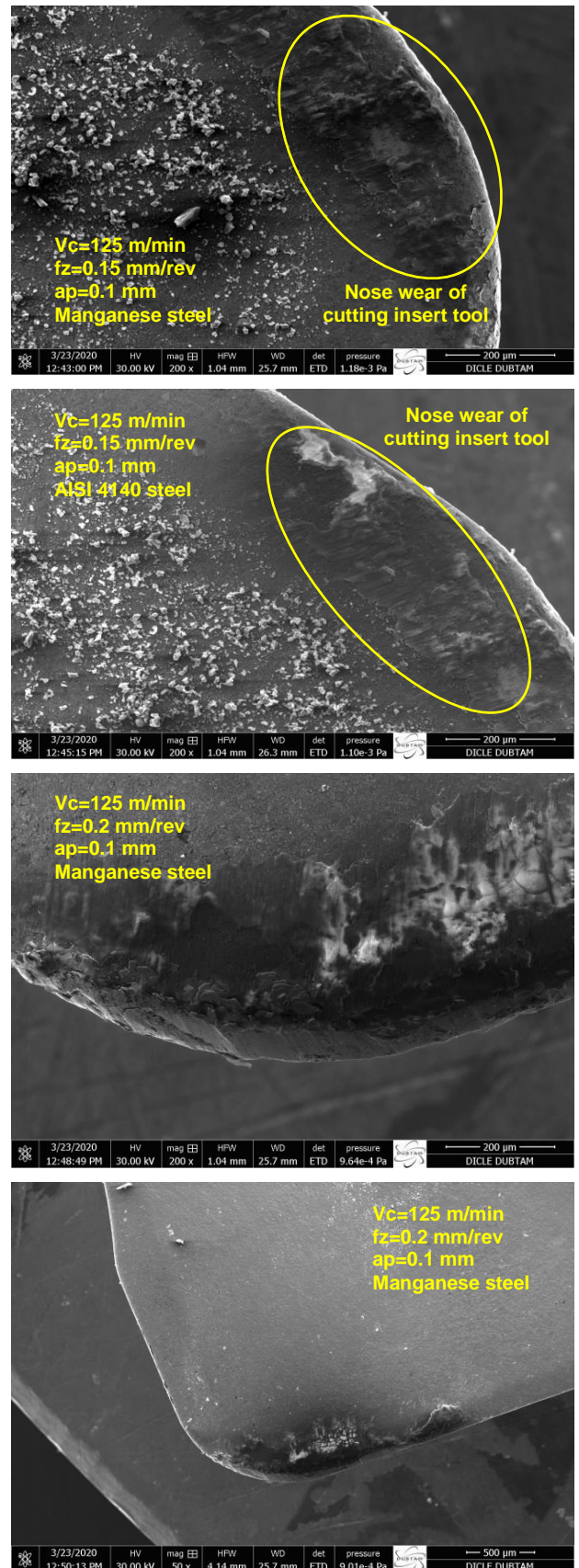


Figure 10. Cutting edge wears at high cutting speeds.

3.2 Surface Roughness

After the comparison of AISI 4140 steel and manganese steel in terms of machinability, the surface roughness of the machined samples were measured and compared. The surface roughness values of the machined AISI 4140

and manganese steel are given in Table 5 and 6, respectively.

The graph of the surface roughness of work piece samples formed in machining of AISI 4140 in Table 5 is seen in Figure 11 and the graph of the surface roughness of work piece samples formed in machining of manganese steel in Table 6 is seen in Figure 12.

Table 5. The surface roughness values of the machined AISI 4140.

No	Parallel to machining direction									Perpendicular to machining direction		
	Front			Middle			Back			Front	Middle	Back
	Measure 1	Measure2	Measure3	Measure 1	Measure2	Measure3	Measure 1	Measure2	Measure3			
1	1.21	1.13	0.745	1.135	1.005	0.67	1.065	0.915	0.98	0.975	0.835	1.105
2	1.255	1.095	0.85	1.32	1.055	0.845	1.235	1.145	0.705	0.87	1	0.89
3	2.16	1.74	1.21	2.24	1.84	1.72	2.42	2.02	1.54	1.15	1.07	0.94
4	0.69	0.85	0.385	0.795	0.875	0.562	0.605	0.79	0.48	0.765	0.88	0.77
5	1.17	1.59	1.25	1.47	1.235	1.275	1.62	1.32	1.51	0.885	1.145	0.905
6	1.97	1.64	1.31	1.9	1.73	1.15	2.03	1.65	1.25	1.095	1.3	1.3
7	0.62	0.73	0.266	0.572	0.585	0.288	0.705	0.71	0.202	0.91	0.68	0.705
8	1.56	1.34	0.965	1.56	1.3	1.005	1.59	1.38	0.845	0.865	0.785	0.935
9	2.3	1.42	1.3	1.93	1.5	1.08	1.68	1.34	0.955	0.9	1.03	0.925

Table 6. The surface roughness values of the machined manganese steel.

No	Parallel to machining direction									Perpendicular to machining direction		
	Front			Middle			Back			Front	Middle	Back
	Measure 1	Measure2	Measure3	Measure 1	Measure2	Measure3	Measure 1	Measure2	Measure3			
1	0.835	0.82	0.615	1.24	1.24	0.835	1.205	1.195	0.84	0.715	0.835	1.085
2	1.46	1.15	0.985	1.31	0.99	0.915	1.185	1.115	0.805	1.07	1.02	0.93
3	2.15	1.78	1.69	2.1	1.74	1.57	2.25	1.91	1.46	1.03	1.2	1.11
4	0.84	0.89	0.615	0.84	0.715	0.43	0.77	0.71	0.542	0.795	0.855	0.83
5	1.45	1.05	0.875	1.29	1.005	0.715	1.3	0.955	0.885	0.745	0.94	0.975
6	2.09	1.77	1.34	1.8	1.51	1.37	1.38	1.34	1.185	0.945	1.25	1.46
7	0.825	1.245	0.48	0.69	0.92	0.492	0.7	0.995	0.462	0.915	1.01	1.205
8	1.245	1.195	0.725	1.06	1.04	0.86	1.3	1.14	0.805	0.785	0.785	1.08
9	1.29	1.53	0.995	1.9	1.275	1.235	1.73	1.34	0.97	1.12	1.09	0.93

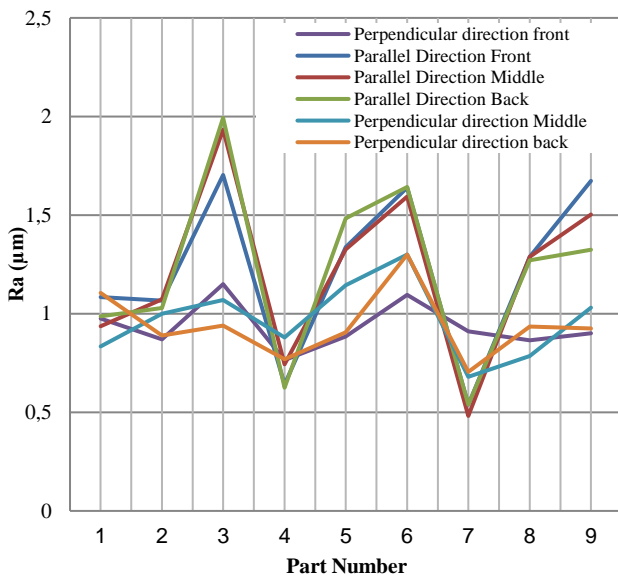


Figure 11. Surface roughness in machining AISI 4140 steel.

When the graph in Figure 11 is examined, it can be seen that the highest Ra values were obtained in the 3, 6 and 9 parts with the highest feed rate values. It is a well-known case that the feed rate has the greatest effect on Ra. In addition, in measurements made in the direction parallel to the feed rate, the Ra value was always higher than the measurements made in the direction perpendicular to the feed rate at all cutting speeds, feed

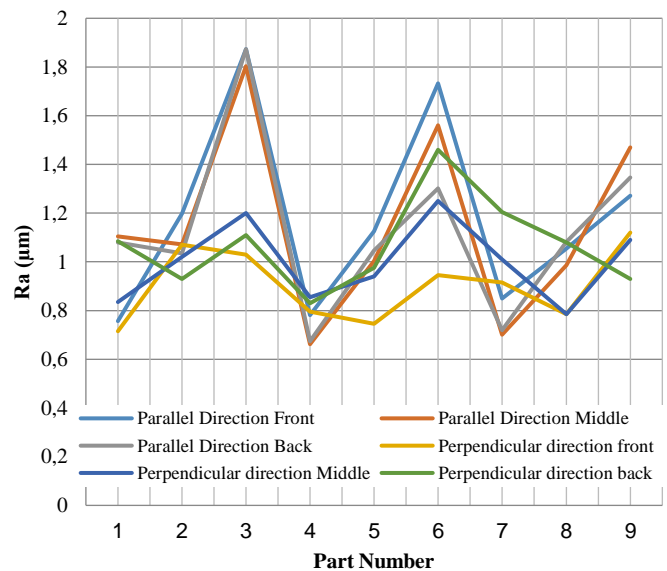


Figure 12. Surface roughness in machining manganese steel.

rates and depths of cut. It is thought that this is related to the surface form formed, and while measuring Ra from the machined surface in machining parallel to the direction of progress, the more indented form on the surface produces Ra values at higher values.

The graph of the surface roughness of work piece samples formed in machining of manganese steel in Table 6 is seen in Figure 12.

When Figure 12 is examined, it is seen that the highest Ra values were obtained in pieces 3,6 and 9, where the feed rate was maximum. However, it is seen that lower Ra values were obtained in all Ra values compared to AISI 4140 steel. In manganese steel, higher Ra values were obtained in the perpendicular direction to the machining direction, as in AISI 4140 steel. When the graphics in both Figure 11 and Figure 12 are examined, it is seen that there appeared an increase in Ra values as the cutting speeds increased. This is also seen in the literature studies. Aslan [33] and Özler [34] stated in their study that the surface roughness increased later with the increase of cutting speed although it decreased a little before. The reason for the increase in Ra value was shown to increase with the increase in cutting speed and the increase in cutting forces and tool vibration [34]. With the increase in cutting speeds, frictions at the tool-chip interface increase and Ra values increase accordingly. If the temperature and friction at the interface are high, there will be BUE (Built up Edge) between the tool rake surfaces. These form a built-up edge shape. Fractures in the built-up edge can pass to the chip and the workpiece. Thus, it causes deterioration in both the tool and the workpiece [35,36]. In the studies, it was recommended to use M20 quality cutting edges for processing high manganese steels [36]. In addition, it has been stated that the increase in cutting forces and the increase in tool vibration are the reasons for the increase in the surface roughness with the increase in feed rate [35,36].

When the graphs in Figure 11 and 12 are examined, it is observed that relatively lower Ra values were obtained in lower depth of cut values as in the experiments 1, 6 and 8. It has been determined that the depth of cut has had the least effect on Ra parallel to this in the studies carried out [36]. When all these results are considered, it is observed that in Ra measurements we obtained in experiment samples that the most effective value was feed rate, then cutting speed and the least effective one was depth of cut.

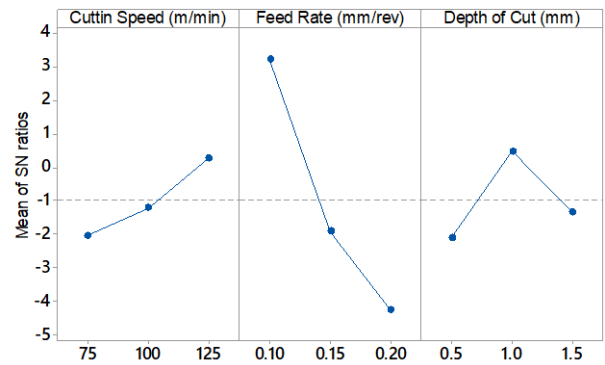
In the Taguchi test design, first of all, the efficiency of all parameters on Ra and the ideal conditions for the minimum Ra value were determined. The signal-to-noise ratio response table for obtaining the ideal values of cutting parameters in AISI 4140 and manganese steel machining to provide the smallest Ra value is given in Table 7.

Table 7. Response table for signal to noise ratios for Ra.

AISI 4140 Steel			
Level	Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)
1	-2.0392	3.1891	-2.0951
2	-1.2190	-1.9183	0.4651
3	0.2788	-4.2501	-1.3494
Delta	2.3180	7.4392	2.5603
Rank	3	1	2
Manganese Steel			
Level	Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)
1	-2.1399	1.8746	-1.2134
2	0.2469	-0.4589	0.1809
3	-0.1339	-3.4425	-0.9943
Delta	2.3867	5.3171	1.3944
Rank			

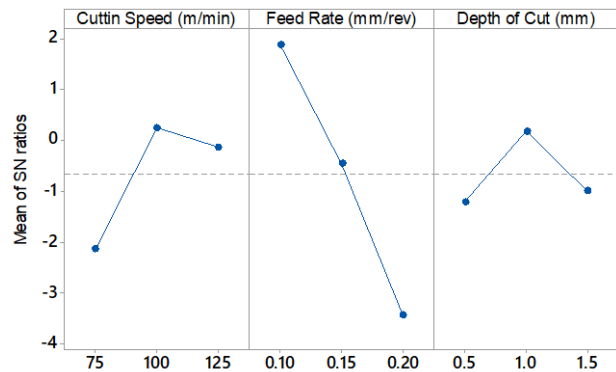
Smaller is better

When Table 7 values are examined, it is seen that the ideal parameters for the Ra values obtained as a result of the machining of both steel types are obtained under the conditions where the cutting speed is 125 m/min, the feed rate is 0.10 mm/rev and the cutting depth is 1 mm for AISI 4140 steel. In manganese steel, it is seen that the ideal conditions are obtained under conditions where the cutting speed is 100 m/min, the feed rate is 0.10 mm/rev, and the cutting depth is 1 mm. The graph of the signal-to-noise ratios for these conditions is shown in Figure 13 and Figure 14. When Figures 13 and 14 are examined, it has been determined that the most effective parameter on Ra in the machining of AISI 4140 and manganese steels is the feed rate.



Signal-to-noise: Smaller is better

Figure 13. Main effects plot for SN ratios for AISI 4140 steel.



Signal-to-noise: Smaller is better

Figure 14. Main effects plot for SN ratios for manganese steel.

4 Conclusion

In this study, which was conducted in terms of machinability and surface roughness, the comparison of punches and dies made of manganese steel, which can be produced with the casting method, which can be applied in almost all casting workshops in our country, compared to the punch and dies produced by the machining method from AISI 4140 steel, widely used in the industry, the following results are obtained and can be summarized as follows:

- The most important disadvantage of punch and dies obtained by casting from manganese steel is the difficulty of machinability. However, with the minimum waste obtained by casting, only the mounting places of the punches and the sheet metal bending contact surfaces are cast with a margin, thus

minimum processing time is obtained. In addition, it has been seen that this disadvantageous situation can be minimized by choosing the appropriate cutting parameters and cutting edge types in the machinability tests.

- No crater wear etc. of the cutting tools in both steel types was found. When all the tools were examined, it was observed that the wear in manganese steel processing was slightly higher than that of AISI 4140 steel.
- AISI 4140 and manganese steel materials behaved similarly at low cutting speeds and almost no wear was observed in these materials.
- While serrated chip type and continuous chip type were formed in AISI 4140 steel, chip type with shorter serration width was formed in manganese steel.
- The surface roughness of the samples produced by casting from manganese steel in the machinability tests turned out to be lower than that of AISI 4140 steels.
- In the machining of AISI 4140 steels, a chip form with a more serrated structure without inter-lamellar gaps was obtained, while in manganese steel, chips with less serration width and inter-lamellar gaps were obtained.
- Longer length punches and dies from manganese steel should be produced by casting method and additional studies should be carried out.
- It has been determined that the most effective parameter on Ra in the machining of AISI 4140 and manganese steels is feed rate. The ideal parameters for the Ra values obtained as a result of the machining of both steel types are obtained under the conditions where the cutting speed is 125 m/min, the feed rate is 0.10 mm/rev and the cutting depth is 1 mm for AISI 4140 steel. For manganese steel, these values are determined as cutting speed is 100 m/min, the feed rate is 0.10 mm/rev, and the cutting depth is 1 mm.

All these results show us that the punch and dies produced by casting from manganese steel are a good alternative compared to AISI 4140 steel, and the production of press brake punches and dies made of manganese steel with this casting method will create an alternative for reducing the foreign dependency of our country.

Acknowledgements

We would like to thank Batman University Scientific Research Projects Unit (Project no: BTUBAP-2018-TEK-1) for their financial support. We commemorate Associate Professor Zülküf DEMİR, who contributed and contributed to all scientific studies and passed away in 2019 due to COVID.

Declaration

This study does not require ethics committee approval.

References

- [1] Basmaci, G., & Sayin, L. (2019). Experimental Investigation of the Springback Amount of Copper Sheet Plates Forming By "V" Bending Method. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 11(3), 147-154.
- [2] Ozek, C. & Akkelek, H. (2021). Investigation of Deep Drawability of Rectangular Shaped Cups in Deep Drawing Dies. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(2), 187-194. DOI: 10.46460/ijiea.1006144
- [3] Kam, M. (2016). *Experimental analyses of the Dynamic Behaviors of Cryogenically processed Shafts*. (Doctoral Dissertation, Düzce University).
- [4] Uzkut, M., & Özdemir, İ. (2001). Investigation of the effect of changing heating speeds applied to different steels on mechanical properties. *Dokuz Eylül University Engineering Faculty Journal of Science and Engineering*, 3(3), 65-74.
- [5] Avner, S.H. (1986). Introduction to Physical Metallurgy, McGraw Hill Book Company, 2.ed., New York, 315-336
- [6] Oliveira, F. Hernandez, L., Berrios, J.A., Villalobos, C., Pertuz, A. and Cabrera, E.S.P., 2000, Corrosion-fatigue properties of a 4340 steel coated with Commonoy 88 alloy, applied by HVOF thermal spray, *Surface and Coatings Technology*, 140(2), 128-135.
- [7] Charre, M. D. (2004). Microstructure of steel and cast irons, (*Trans. J.H. Davidson*), Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, p.417.
- [8] Buytoz, S. (2004). *Investigation of mechanical behaviors of AISI 4340 steel after surface modification processes with nitration and GTA welding method*. (Doctoral Dissertation, Firat University).
- [9] Kesti, E. (2009). *Investigation of the effects of C-4140 steel on the temperament of environment of microstructure and mechanical properties*. (Doctoral Dissertation, Selcuk University).
- [10] Tüfenk E. (2012). *Investigation of Austenitic Manganese Steels with Different Chemical Compositions after Heat treatment*. (Master's Dissertation, Ondokuz Mayıs University).
- [11] Subramanyam, D. K. (2005). Austenitic Manganese Steels. ASM Handbook, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys, ASM Int., the United States of America, Vol. 01, 1274-1302.
- [12] Nejat S. (1995). High manganese austenitic steels and their sources. *Journal of Metal and Source*, 66, 36-41.
- [13] Dufloy, J., R., Vancza, J., Aerens, R. (2005). Computer Aided Process Planning for Sheet Metal Bending: A State of the Art, *Computers in Industry*, 56, 747-771.
- [14] De Vin, L. J. (1994). Computer aided process planning for the bending of sheet metal components, *Doctoral Dissertation, Enschede the Netherlands*, ISBN 90-9007217-9.
- [15] De Vin, L. J., Streppel, A.H., Kalsi, H. J. J., Singh, U.P. (1995). Sensitivity analysis for air bending, *Proceedings of the 3rd International Conference on Sheet Metal*, ISBN: 0-9527664-0 X, 221-230.
- [16] De Vin, L. J., Streppel, A.H., Lutters, D. Kals, H.J.J. (1994). A process model for air bending in CAPP applications, *Proceedings of the 2nd International Conference on Sheet Metal*, ISBN: 1-85923-025-3, 17-28.
- [17] Lutters, D., Streppel, A.H., Kals, H.J.J. (1997). Adaptive press brake control in air bending, *Proceedings of the 5th International Conference on Sheet Metal*, ISBN: 1-85923-072-5, 471-480.

- [18] Ötü, R., Demirci, H. İ. (2013)., Farklı Bükme Yöntemleri Uygulanarak V Bükme Kalıplarında AA 5754-O Sac Malzeme ile Elde Edilen Numunelerin Geri Esneme Miktarının Tespiti, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10 (3), 27-42.
- [19] Tekiner, Z., (2004). An experimental study on the examination of springback of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies, *Journal of Materials Processing Technology*, 145, 109–117.
- [20] Özdemir, M., Gökmeşe, H., Dilipak, H., Yılmaz, V. (2104). Farklı ısıtma işlemlerinin 16Mo3 (1.5415) sac malzemenin ileri-geri esneme miktarına etkisinin deneysel ve mikroyapısal olarak incelenmesi, *Akademik Platform ISITES 2014 Sempozyumu* Karabük, (pp.148-155).
- [21] Tekaslan, Ö., Şeker, U. 2009. “Pirinç sac malzemelerin geri esneme miktarlarının tespiti”, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*.
- [22] Durgun, I., Yigit, K., Aydın, H., & Bayram, A. (2017). “Investigation of Mechanical Properties of Bismuth and Stann Mold Alloys Employed in Metal Sheet Forming Molds”, *Uludağ University Engineering Faculty Journal*, 22(3), Number 3, 11-20, DOI: 10.17482/uumfd.364084.
- [23] Adıyaman, O., (2019). Investigation of Manufacturability of Sheet-Metal Punches Produced by Manganese Steel, *International Engineering and Science Symposium, 20-22 June, Siirt/Turkey*, (pp.794-811).
- [24] Adıyaman, O. Kilic , M. Yakut, R. (2021). Investigation of time-production performance of punch and dies produced from manganese steel material by casting method, *International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies, 22-25 February, Bandırma/Turkey*, (pp. 215-226).
- [25] Adıyaman, O. Kilic, M. Yakut, R. (2021). Manganlı çelikten döküm yöntemi ile üretilen bükme kalıplarının aşınma davranışlarının incelenmesi, *International Symposium On Engineering, Natural And Social Sciences, ISENS-21, 25-28 November 2021 Batman/Turkey*, (pp.110-117).
- [26] CKB Makine Kalip. Retrieved June 24, 2022, from <http://www.ckbmakina.com.tr/?products>
- [27] Sandvik Coromant. Retrieved June 24, 2022, from www.sandvik.coromant.com/tr, solutions for automotive components
- [28] Korloy. Retrieved June 24, 2022, from www.korloy.com/tr/download/cata.do
- [29] ISO Online Browsing Platform (OBP). Retrieved June 24, 2022, from www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8688:-1:ed-1:v1:en.do
- [30] Ulutan, M., Çelik, O., Gasan, H., Er, Ü. (2010). Effect of Different Surface Treatment Methods on the Friction and Wear Behavior of AISI 4140 Steel, *Journal of Materials Science & Technology*, 26(3), 251-257.
- [31] Elbah, M., Yallesc, M., Aouici, H., Mabrouiki, T. (2013). Comparative assessment of wiper and conventional ceramic tools on surface roughness in hard turning AISI 4140 steel, *Measurement*, 46, 3041–3056.
- [32] Khrais, S.K., Lin Y. J. (2007). Wear mechanisms and tool performance of TiAlN PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steel, *Wear*, 262, 64–69.
- [33] Aslan, E., Camuşçu, N., Birgören, B. (2007). Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al₂O₃ + TiCN mixed ceramic tool, *Materials and Design*, 28, 1618–1622.
- [34] Özler, L., Tosun, N., İnan, A. (2000). Investigation of Surface Roughness in Hot Machining of Austenitic Manganese Steel, *Turk J Engin Environ Sci*, 24, 287-296.
- [35] Kiyak, M., Uysal, A., Çakır, O., Altan, E. (2012). Tool life in orthogonal turning of high manganese steel with rounded hard metal tools, 3 *National Machining Symposium*, (pp. 496-502).
- [36] Demir, B. (2004). Examination of double-phase steel producibility from Ç4140 steel”, *Technology*, 4(1), 121-127.



EXPERIMENTAL DATA AND MODELING FOR THE ADSORPTION/DESORPTION OF TETRACYCLINE AND DICLOFENAC ON THE AGRICULTURAL SOILS

Ulker Asli Guler*¹ , Eliza Tuncel¹ 

¹Department of Environmental Engineering, Engineering Faculty, Sivas Cumhuriyet University, Sivas 58140, Turkey

Abstract

Original scientific paper

The adsorption-desorption characteristics of tetracycline and diclofenac onto two different agricultural soils (S1 and S2) were investigated using the batch equilibrium method. The adsorption experiments were used to optimize the two variable parameters (contact time (5-120 min), initial pollutant concentration (5-300 mg/L)) on the adsorption of tetracycline and diclofenac. The adsorption kinetics for tetracycline and diclofenac onto soil are well described by a bi-exponential adsorption model characterized by fast and slow adsorption rates. Non-linear adsorption curves fitted well to the Langmuir, Freundlich and Temkin equations. The maximum adsorption capacity (q_m) of tetracycline and diclofenac onto the soils S1 and S2 were calculated to be 55.90 mg/g, 41.92 mg/g, 26 mg/g and 6.42 mg/g, respectively. K_d , K_{oc} , f_{oc} and q_a values were calculated. The adsorption efficiency of tetracycline and diclofenac by the soils S1 and S2 was over 97%. The K_d parameters for the adsorption of tetracycline and diclofenac onto the soils S1 and S2 were found to be 3537 L/kg, 654 L/kg, 1669 L/kg and 3105 L/kg, respectively. The reversibility of the adsorption process was evaluated by desorption experiments using different concentrations of HDTMA and Triton-x surfactants. The desorption rates were higher for diclofenac than for tetracycline.

Keywords: Adsorption, desorption, diclofenac, soil, tetracycline.

TARIM TOPRAKLARINDA TETRASİKLİN VE DİKLOFENAK ADSORPSİYONU/DESORPSİYONU İÇİN DENEYSEL VERİLER VE MODELLEME

Özet

Orjinal bilimsel makale

Tetrasiklin ve diklofenakın iki farklı tarım toprağına (S1 ve S2) adsorpsiyon-desorpsiyon özellikleri kesikli denge yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri, tetrasiklin ve diklofenak adsorpsiyonunda iki değişken parametreyi (temas süresi (5-120 dakika), başlangıç kirletici konsantrasyonu (5-300 mg/L)) optimize etmek için kullanılmıştır. Tetrasiklin ve diklofenak için toprak adsorpsiyon kinetiğı, hızlı ve yavaş adsorpsiyon oranları ile karakterize edilen iki üslü bir adsorpsiyon modeli ile tanımlanmıştır. Non-linear adsorpsiyon izoterm eğrileri, Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine iyi uyum sağlamıştır. S1 ve S2 topraklarına tetrasiklin ve diklofenakın maksimum adsorpsiyon kapasitesi (q_m) sırasıyla 55.90 mg/g, 41.92 mg/g, 26 mg/g ve 6.42 mg/g olarak hesaplanmıştır. K_d , K_{oc} , f_{oc} ve q_a değerleri hesaplanmıştır. Tetrasiklin ve diklofenakın S1 ve S2 toprakları tarafından adsorpsiyon etkinliğı %97'nin üzerindedir. S1 ve S2 topraklarına tetrasiklin ve diklofenak adsorpsiyonu için K_d parametreleri sırasıyla 3537 L/kg, 654 L/kg, 1669 L/kg ve 3105 L/kg olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon işleminin tersinebilirliğı, farklı konsantrasyonlarda HDTMA ve Triton-x yüzey aktif maddeler kullanılarak desorpsiyon deneyleriyle değerlendirilmiştir. Desorpsiyon oranları diklofenak için tetrasikline göre daha yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, desorpsiyon, diklofenak, tetrasiklin, toprak.

1 Introduction

Many pharmaceuticals and healthcare products are significant pollutants released into the environment because of their active usage for human health and veterinary practices [1]. These active compounds are completely or partially discharged to the receiving

environment without being treated in wastewater treatment plants. Pharmaceuticals in bodies of water are classified as one of the emerging pollutant of concern groups as they are widely used and cause environmental pollution [2]. The environmental processes of these pharmaceuticals are sorption, decomposition, photodegradation, and hydrolysis [3]. Among them, soil

* Corresponding author.

E-mail address: asli.atay@cumhuriyet.edu.tr (U. A. Guler)

Received 07 July 2022; Received in revised form 03 October 2022; Accepted 04 October 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1141731>

adsorption of pharmaceuticals is the primary factor that affects the interaction between pharmaceuticals and soil component. The higher adsorption capacity, the purification process is the more effective. The parameters such as (i) the chemistry of compound, (ii) the amount of relevant matter, (iii) the climate factors such as temperature, and (iv) the type of soil (e.g., pH, soil organic matter (SOM) content, clay content) are essential to evaluate the distribution of a pharmaceutical compound between soil and aqueous phases [4-6]. Diclofenac, one of such pharmaceutical compounds and widely used for rheumatoid arthritis may have harmful effects on various environmental species at $\leq 1 \mu\text{g/L}$ concentration. Recently, diclofenac was included in the lists for the environmental monitoring of chemicals published by the European Commission (EU) [7]. Tetracyclines, one of the antibiotics widely used in human and veterinary medicine, are frequently found in surface waters, groundwater and soil [8]. When an antibiotic reaches the soil, it may stay there for a while, diffuse into the surface waters or enter the food chain by accumulating in plant tissues. There are also some studies on the emergence of bacterial resistance to antibiotics [9, 10].

Soil adsorption and desorption of organic chemicals are the main processes that characterize the mobility and transport of pollutants within the soil environment [11]. Since tetracyclines and diclofenacs enter the environment mostly through wastewater, most studies on their environmental fate so far have focused on their behavior during wastewater treatment processes and their interaction with sewage [8, 12, 13, 14]. Few studies have been done on their behavior in soil [7, 15, 16]. To protect surface and ground waters and aquatic organisms from tetracycline and diclofenac pollution, it is obligation to evaluate the sorption/desorption properties of these compounds in the soil environment. In addition, their behavior in the soil is important because sewage sludge is applied as agricultural fertilizer. Soils have great variety. Therefore, it is essential to examine different soil samples with different physicochemical properties to better understand tetracycline and diclofenac behavior and fate in the soil environment in terms of their adsorption/desorption.

Taking all this into account, in this work we used batch type experiments to study tetracycline and diclofenac adsorption and desorption in two agricultural soils with different physical and chemical properties.

The data obtained from these experiments were used to generate adsorption curves by plotting the adsorbed pollutant (q_a , mg/g) and the pollutant concentration remaining in equilibrium (C_e , mg/g). Different models such as Langmuir, Freundlich and Dubinin-Radushkevich models were used to describe such curves. This study allowed us to evaluate the effect of pollutant exposure time, initial pollutant concentration and exogenous surfactants (HDTMA and TritonX-100) on the adsorption of tetracycline and diclofenac in soil. Moreover, the effects of pH and adsorption coefficients (K_d , K_{oc} , f_{oc} and q_a) on the adsorption of tetracycline and diclofenac by the soil are discussed in detail.

2 Experimental

2.1 Chemicals

Tetracycline (TC) ($\text{C}_{22}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_8$) (>95) and diclofenac (DCF) ($\text{C}_{14}\text{H}_{11}\text{Cl}_2\text{NO}_2$) (≥ 98.5) were provided from Sigma-Aldrich and all chemicals were of high purity and analytical grade. The TC molecule is defined by a high S_w , and low K_{ow} . TC is hydrophilic and amphoteric. The three different dissociation constants are presence as cationic at $\text{pH} < 3.3$, zwitter anions at $3.3 < \text{pH} < 7.7$ and negative ions at $\text{pH} > 7.7$. TC stock solution was prepared using milliQ water. DCF including one-COOH group and pK_a is 4.15 [7]. DCF stock solution was dissolved in a little methanol (CH_3OH) and then added milliQ water. The chemical properties of the TC and DCF are showed in Table 1.

Table 1. The chemical properties of the pharmaceutical compounds [7], [17], [18].

Compound Name	Chlortetracycline	Diclofenac
	Oxytetracycline Tetracycline	
Molecular Formula	$\text{C}_{22}\text{H}_{24}\text{Cl}_2\text{N}_2\text{O}_8$ $\text{C}_{22}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_9$ $\text{C}_{22}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_8$	$\text{C}_{14}\text{H}_{11}\text{Cl}_2\text{NO}_2$
Molecular Weight (Da)	444.5-527.6	296.16
Water Solubility at 25 °C (mg/L)	230-52000	2.37
Log K_{ow}	-1.37	4.51
pKa	3.3/7.7/9.3	4.15
Henry law constant ($\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$)	$1.7\cdot 10^{-26}$ - $4.8\cdot 10^{-25}$	$4.79\cdot 10^{-7}$

2.2 Soil Samples and Characteristics

The samples were collected from soils at a depth of 0-20 cm from agricultural land in two cities (Sivas (S1) and Malatya (S2)) of Turkey. After removing foreign matter, the soil samples were kept in the laboratory at room temperature for drying, passed through a 2 mm sieve, and stored in glass bottles. The soil elemental composition was found through the XRF analysis. The elemental composition of the soils is shown in Table 2.

Table 2. The elemental composition of the Sivas agricultural soil (S1) and Malatya agricultural soil (S2).

Name	S1	S2	Name	S1	S2
	%	%		%	%
Ca	42.76	1.26	Cr	0.05	0.03
Si	8.75	51.32	S	0.04	0.16
Al	3.00	19.07	Na	0.04	0.72
Fe	2.81	10.47	Ni	0.03	0.03
Mg	1.57	2.36	Pb	0.02	0.01
Ti	0.22	0.82	Cl	0.01	0.03
K	0.21	3.98	Zn	0.01	0.03
Sr	0.12	0.02	Zr	-	0.03
Mn	0.08	0.25	Cu	-	0.03
P	0.06	0.56	Rb	-	0.02
Ba	0.05	0.34	Ga	-	0.06

2.3 Adsorption/Desorption Experiments

The batch adsorption experiments were conducted in 250 mL Erlenmeyer and all Erlenmeyer were hold in a

incubator shaker (Gerhard) at 180 rpm and after centrifuged (Hettich EBA21) for 15 min. All experiments were performed in duplicated. The Erlenmeyer containing 1 g soil and 100 mL TC or DCF (50 mg/L) solution at pH 4.0 were shaken at different contact time (5-10-15-30-45-60-90-120 min) for adsorption kinetic studies. The isotherm studies were conducted at a constant pH 4.0 and temperature of 25 °C. 1 g soil were added to 250 mL Erlenmeyer and then spiked with 100 mL working solution to produce eight different initial concentrations (5, 10, 25, 50, 100, 150, 200 and 300 mg/L) for TC or DCF in the aqueous solution. Desorption studies were conducted after adsorption. After removing the supernatants, the soil samples for desorption experiments were resuspended in 50 mL of Triton X-100 (nonionic surfactant) (C₁₆H₂₆O₂) (0,1-0,5-1M) and Hexadecyltrimethylammonium bromide (HDTMA; cationic surfactant) (CH₃(CH₂)₁₅N(Br)(CH₃)₃) solutions (0,1-0,5-1M). The samples were equilibrated for 24 h and then centrifuged for 15 min, and residual TC and DCF in the aqueous solution determined. TC (λ 357 nm) and DCF (λ 285 nm) concentration were determined by UV-Visible spectrophotometer (Spectroquant Pharo 300, Merck).

The amount of pollutant adsorbed by the unit soil was calculated using Eq. (1).

$$q_a = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

where, C₀ and C_e are initial and final concentration of pollutant in the aqueous phase, m is soil amount, V is the volume of the aqueous solution, respectively.

The pH of the TC and DCF solutions was measured using the WTW (Inolab) pHmeter. The pHmeter was adjusted with solutions of NaOH (Sigma Aldrich) and HCl (Merck, 37%).

3 Results and Discussion

3.1 Adsorption Kinetics

The kinetic models are important because they control the time to equilibrium and the efficiency of the process. It also defines the uptake rate of the pollutant on the adsorbent surface [19]. This study, the kinetic models of TC and DCF on the soils S1 and S2 was investigated. As shown in Fig. 1, both TC and DCF reached adsorption equilibrium by approximately 45 min after application.

To explain the adsorption process of TC and DCF on the soils S1 and S2, bi-exponential model was selected to fit the kinetic data (Eq. (2)). The bi-exponential model is often used to correlate the two-step kinetics of the adsorption. This model describes two different adsorption sites, defined as fast and slow adsorption, both chemically and mathematically [20].

$$q_t = q_a - q_1 \exp(-k_{D1}t) - q_2 \exp(-k_{D2}t) \quad (2)$$

where q_t and q_a are the adsorption capacity at time t and equilibrium, respectively (mg/g); q₁ (mg/g) and k_{D1} (min⁻¹) are two parameters showing the adsorption

capacity and the adsorption rate of the rapid step; q₂ (mg/g) and k_{D2} (g/mg.min) are the corresponding parameters of the slow step [19, 20].

According to Figure 1; the model prediction was in good agreement with the experimental data and the parameters are showed in Table 3.

The adsorption capacities (q_i) at time t=0 for TC and DCF were <1.0, indicating that important adsorption occurred at the very short time. The kinetic model suggested a rapid initial transfer of TC and DCF to the soil surface boundary layer followed by a two-step diffusional transport to the interior [20]. In the first 10 min., TC and DCF concentrations in S1 soil were approximately 76-96% of the initial concentration and their concentrations in S2 soil were approximately 50-92% of the initial concentration (Figure 1).

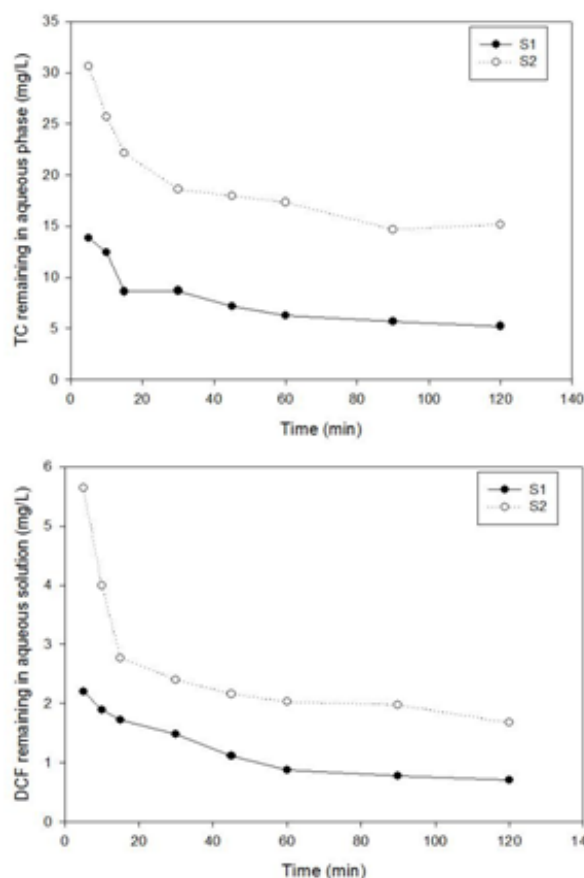


Figure 1. Adsorption behaviors of TC and DCF on the soils S1 and S2 (pH 4, C₀=50 mg/L, 10 g/L soil amount, 25 °C).

Table 3. The parameters of a bi-exponential model.

	S1						
	q _a	q ₁	q ₂	k _{D1}	k _{D2}	R ₁ ²	R ₂ ²
TC	4.48	3.07	4.53	0.007	0.111	0.624	0.999
DCF	49.12	38.74	49.26	0.023	0.549	0.601	0.999
	S2						
	q _a	q ₁	q ₂	k _{D1}	k _{D2}	R ₁ ²	R ₂ ²
TC	3.48	3.02	3.64	0.002	0.054	0.862	0.999
DCF	47.60	36.62	47.84	0.023	0.189	0.604	0.999

At 120 min., the TC and DCF concentrations on the soils S1 and S2 were approximately 89-99% and 70-97% of the initial concentrations, respectively. The fast adsorption in the first 10 min. can be attributed to the rapid complexation of the soil with organic chemicals [21]. Slow sorption rates (k_{D2}) were found to be higher

than fast sorption rates (k_{D1}) for TC and DCF (Table 3). The q_2 values obtained by calculation was close to the actual values, indicating that TC and DCF adsorption in the soils S1 and S2 is not simply a single-step phenomenon, but is affected by several factors, including the physicochemical characteristics of the soils and the nature of the TC and DCF [4]. This is consistent with the previous studies [20, 22].

3.2 Adsorption Isotherms

The data obtained from isotherm experiments are explained by Freundlich (Eq. (3)), Langmuir (Eq. (4)) and Temkin (Eq. (5)) models [23]:

$$q_a = K_F C_e^{1/n} \tag{3}$$

$$q_a = \frac{K_L C_e q_m}{1 + K_L C_e} \tag{4}$$

$$q_a = \frac{RT}{b} \ln(AC_e) \tag{5}$$

where q_a (mg/L) is the amount of adsorbate adsorbed onto the soil at equilibrium; C_e (mg/L) is the concentration of the adsorbate in the solution at equilibrium; K_F (mg/g) is the affinity; n is the index; K_L (L/mg) is a Langmuir constant, and q_m (mg/g) is maximum adsorption capacity. Finally, b (g.kJ/mg.mol) is the Temkin isotherm constant; A (L/mg) is the equilibrium binding constant; T (K) is temperature, and R is the universal gas constant (8.314 J/mol.K). All of the isotherms are nonlinear. In Fig. 2 are given TC and DCF adsorption curves for the soils S1 and S2.

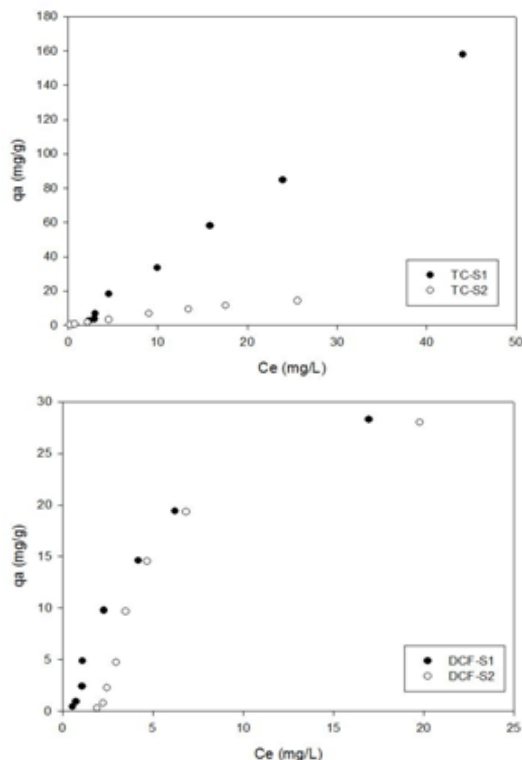


Figure 2. Adsorption curves for TC and DCF in two selected agricultural soil samples (pH 4, 120 min, 10 g/L soil amount, 25 °C).

Firstly, the amount of adsorbed TC and DCF increased with the increase in the initial concentration of adsorbate added. Then it began to reach equilibrium. TC and DCF adsorption curves for the soils S1 and S2 are L-type and S-type, respectively [24]. L-type curves indicate that site availability decreases as the adsorbate concentration increases. According to the results of the literature; L-type curves are often observed. Likewise, mineral and organic cations as well as different soils and sediments adsorb solutes according to L-isotherms [25]. An S-type curve means that the adsorption becomes easier as the adsorbate concentration increases. Literature shows that S-type curves are observed in montmorillonites and sometimes in other clay types. Thus, it can be discussed that S-type curves will be characteristic of the adsorption of organics onto clay surfaces [26]. Weber et al. (1986) have reported that adsorption of fluridone was characterized by an S-type isotherm in soils having a high montmorillonite content and a low SOM content [26]. Langmuir, Freundlich and Temkin isotherms very well described the adsorption mechanism with $0.751 \leq R^2 \leq 0.987$, $0.734 \leq R^2 \leq 0.983$ and $0.724 \leq R^2 \leq 0.993$, respectively (Table 4).

Table 4. Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm model parameters.

Model	S1		S2	
	TC	DCF	TC	DCF
Langmuir				
q_m	55.90	44.92	26.00	6.42
K_L	0.005	0.107	0.084	0.042
R^2	0.984	0.987	0.751	0.921
Freundlich				
k_F	2.11	4.92	2.73	2.92
n	0.88	1.56	1.45	1.28
R^2	0.983	0.965	0.734	0.903
Temkin				
A	0.70	1.53	1.31	0.54
b	0.094	0.294	0.525	0.193
R^2	0.813	0.993	0.724	0.981

The n parameter indicates the reactivity and heterogeneity of the active sites of the adsorbents. When $n=1$ the adsorption is linear, while when $n>1$ the adsorption process is chemical in nature, and when $n<1$ there are heterogeneous sites of high adsorption energy with adsorption being predominantly physical and the high energy sites are the first to be occupied [4]. The value of n was highest at DCF-S1 with a value of 1.56 and lowest at TC-S1 with a value of 0.88. A larger k_F meant that the adsorbate was easier to adsorb in the soil [27]. The k_F values of TC and DCF ranged from 2.11 (TC-S1) to 4.92 (DCF-S1). According to Vijayaraghavan et al., (2006), the highest adsorption capacity and affinity between adsorbent and adsorbate are associated to the highest K_F values and to the lowest n values. In general, soils with high organic material have more functional groups than soils with low organic material [28]. The differences in k_F values are thought to be related to these edaphic parameters [29]. Therefore, it indicates a higher adsorption capacity and higher affinity for soils with high organic matter content [4].

The q_m values (mg/g) obtained from Langmuir model for the adsorption of TC and DCF on the soils S1 and S2 were 55.90, 26.00, 44.92 and 6.42, respectively. K_L for TC and DCF varied between 0.0050 and 0.1071

L/mg. The comparison of TC and DCF adsorption capacities of soils and other adsorbent materials used in the studies is given in Table 5. The organic matter and mineral component of the soil is important in adsorption by the soil.

Table 5. The adsorption capacity values obtained in this study as well as in other studies for TC and DCF adsorption in soils and other adsorbent materials.

	Adsorbent	q _m (mg/g)	References
TC studies	Soil	0.26-0.42	[30]
	Soil	3.79	[30]
	Soil	0.39	[31]
	Smectit	173-462	[32]
	S1 soil	55.90	Present study
	S2 soil	26.00	Present study
DCF studies	Activated biochar	392.94	[33]
	Montmorillonit	497	[34]
	Bentonite	62.50	[35]
	Granulated active charcoal	200	[36]
	S1 soil	44.92	Present study
	S2 soil	6.42	Present study

The results were also fitted by the Temkin model, which proposed a decrease in the heat of adsorption due to soil-adsorbate interactions. As a result, adsorption of TC and DCF could be described by a uniform distribution of binding energies [37].

According to Langmuir and Freundlich isotherm parameters; it was determined that TC adsorption to soils was higher than that of DCF in terms of amount and affinity. Other authors also reported strong interactions between TC and soil colloids with high adsorption capacities [38-40].

3.3 Roles of pH and adsorption coefficients for adsorption of TC and DCF

In this study, the adsorption process was performed at a pH 4.0 for TC and DCF. At pH 4.0, TC the species is in zwitter anions form. In addition, the pHPzc for the soils S1 and S2 were found to be 5.57 and 3.37, respectively. In this case, the S1 soil has been positively charged while the S2 soil was negatively charged at experimental pH 4.0. More adsorption has been occurred for TC than DCF (q_mTC > q_mDCF). The reason for this, for the soil S1 due to the attraction taking place between TC zwitter anionic species and the surfaces of the different soil, which present a dominance of positive charges at pH 4.0. In addition, the cation exchange mechanism is dominant in the soil S2 for the TC at pH 4.0. According to the literature; It is stated that Ca, Al and Fe form complexes with pharmaceutical compounds and play an important role in the adsorption capacity of soils [41, 42]. In this study; the soils S1 and S2 contained Si 8%, 51%; Ca 42%, 1%; Al 3%, 51% and Fe 2.8%, 19% (exchangeable matter), respectively (Table 2). In addition, an important mechanism in TC and DCF adsorption is cation exchange [43]. The results show that especially soil S1 has a high adsorption capacity for TC and DCF and a rapid adsorption takes place.

K_d or K_{oc} parameters are used to measure the mobility of a substance in the soil. The K_d parameter is an important indicator for comparing the adsorption capacity of an adsorbent, indicating the distribution ratio of pharmaceuticals between the soil phase and solution. K_{oc} is defined as the organic carbon-water partition coefficient. K_{oc} is a very important parameter used to predict the environmental fate and environmental hazard level of a chemical. If a chemical has a very high K_{oc} value (2000 ≤ K_{oc} ≤ 5000), it means that this chemical will be strongly adsorbed to the soil and SOM and will not move in the soil. A very low K_{oc} value (500 ≤ K_{oc} ≤ 2000) means that the chemical will be highly mobile in the soil [4]. The K_{oc} value of a chemical can be calculated from K_{ow} using the equation (6) [44]. TC and DCF compounds are neutral compounds with the log K_{ow} of -1.37 and 4.51:

$$\log K_{OC} = 0.52 \cdot \log K_{OW} + 1.02 \tag{6}$$

In a certain soil organic carbon content (f_{oc}), the K_{oc} and single-point soil adsorption coefficient (K_d) values at a specific C_e were calculated as follows [7]:

$$K_d = \frac{q_a}{C_e} \tag{7}$$

$$K_{OC} = \frac{K_d}{f_{oc}} \tag{8}$$

K_d, K_{oc}, f_{oc}, and q_a values are given in Table 6. According to Table 6, the K_{oc} value of DCF is considerably higher compared to TC. This indicates that DCF is immobile and is tightly bound to the soil. Thus, the use of DCF is to a certain extent less likely to cause groundwater contamination. The q_a values obtained under optimum conditions also confirm this situation. Accordingly, due to low q_a, K_d, and K_{oc} values, it can be thought that TC in agricultural soils will be more mobile than DCF and will be more prone to transporting to underground waters and rivers. Moreover, even in the studies on the adsorption coefficient of DCF in sandy sediments, it has been proven that adsorption takes place, and therefore DCF is less mobile in groundwater [45]. Additionally, due to its solubility lower than 2.37 mg/L in water, most of the DCF is expected to adhere to soil particles. This reveals that DCF can create a source of pollution long after the time of its application to the soil.

Table 6. K_d, K_{oc}, f_{oc}, and q_a values.

	TC-S1	TC-S2	DCF-S1	DCF-S2
K _d (L/kg)	3537	654	1669	3105
K _{oc}	2.03		2318	
f _{oc}	1742	322	0.72	1.34
q _a (mg/g)	16.02	12.84	203.77	144.90

3.4 Desorption of TC and DCF

Surfactants can provide mass transfer of organic compounds from the solid phase to the aqueous phase and they can improve desorption of pollutant from contaminated soils [46]. Generally, cationic and nonionic surfactants are adsorbed to soils by ion exchange reactions and hydrogen bond interactions, respectively

[47]. Fig. 3 shows the desorption results of TC and DCF in the soils S1 and S2. According to Fig. 3, desorption rates were higher for DCF than for TC. The desorption process followed immediately after TC adsorption by HDTMA solution for the soils S1 and S2 demonstrated high release values (between 96%-99%). In the DCF desorption process, a large amount of DCF (97%-99%) was released into the solution by both Triton X-100 and HDTMA solutions. The increased rate of desorption with increasing surfactant concentration may be related to competition [46].

3 Conclusion

TC adsorption was found to be much higher than DCF adsorption in the two soils studied. Experimental data of adsorption kinetics on soil for TC and DCF are well explained with a bi-exponential adsorption model. The adsorption process was characterized by fast and slow adsorption rates. The soil minerals (Si, Ca, Al and Fe) were showed significant cation exchange with the TC and DCF. Considering the Langmuir and Freundlich isotherms, TC adsorption to soils was found to be higher in amount and affinity than that of DCF. The K_d , K_{OC} , f_{OC} , and q_a values of TC and DCF affect the mobility of these compounds in the soil (bioavailability, infiltration and transfer to diverse environment and foods, etc.). Desorption rates were very high for DCF than for TC. The adsorption efficiency and desorption rate of TC and DCF by the soils S1 and S2 was over 96%. According to the data obtained; it showed that a high mobility in soil can be expected for TC compounds and soil adsorption is affected by the physicochemical properties of the soil and the different hydrophobic degrees of the pollutants.

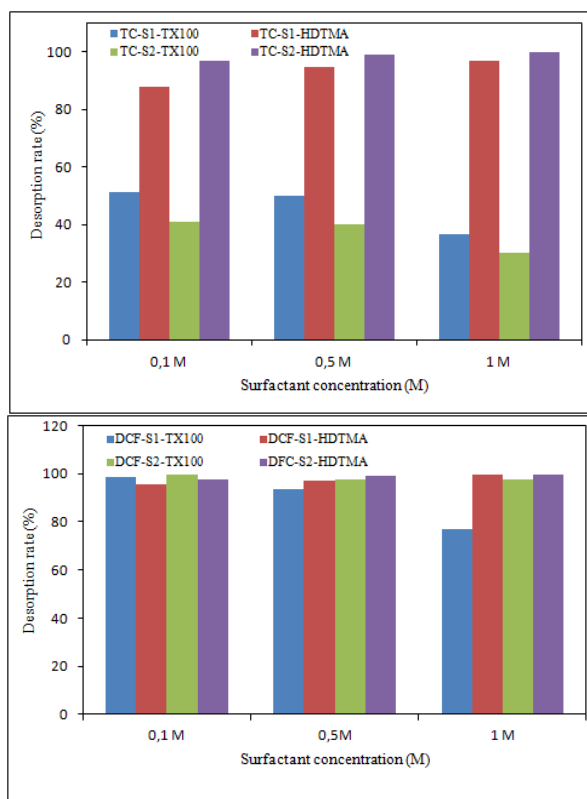


Figure 3. Desorption of TC and DCF from soils S1 and S2 in the presence of surfactants at 24 h contact time.

Acknowledgments

This study was supported by Cumhuriyet University, Scientific Research Project Funding (CUBAP/M-581).

Declaration

This study does not require ethics committee permission or any special permission.

References

- [1] Mejías, C., Martín, J., Santos, J. L., Aparicio, I., & Alonso, E. (2021). Occurrence of pharmaceuticals and their metabolites in sewage sludge and soil: A review on their distribution and environmental risk assessment. *Trends Environ. Anal. Chem.*, 30, e00125.
- [2] Peiris, C., Gunatilake, S. R., Mlsna, T. E., Mohan, D., & Vithanage, M. 2017. Biochar based removal of antibiotic sulfonamides and tetracyclines in aquatic environments: a critical review. *Bioresour. Technol.*, 246, 150-159.
- [3] Kümmerer, K. (2009). The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use-present knowledge and future challenges. *J. Environ. Manage.*, 90, 2354-2366.
- [4] Bian, C., Wang, L., Cui, Z., Dong, Z., Shi, X., Li, Y., & Li, B. (2022). Adsorption-desorption and transport behavior of pydiflumetofen in eight different types of soil. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 234, 113378.
- [5] Durak, S. G. (2020). Removal of maxilon golden yellow GL EC 400% from the wastewater by adsorption method using different clays. *Sakarya University Journal of Science*, 24, 5, 1081-1093.
- [6] OECD. (2000). Adsorption-desorption using a batch equilibrium method. OECD Guideline for the Testing of Chemicals 106. *Organization for Economic Cooperation and Development*, Paris, France.
- [7] Yu, C., Bi, E. (2019). Adsorption site-dependent transport of diclofenac in water saturated minerals and reference soils. *Chemosphere*, 236, 124256.
- [8] Shirani, Z., Song, H., & Bhatnagar, A. (2020). Efficient removal of diclofenac and cephalixin from aqueous solution using *Anthriscus sylvestris*-derived activated biochar. *Sci. Total Environ.*, 745, 140789.
- [9] Huijbers, P. M. C., Flach, C. F., & Larsson, D. G. J. (2019). A conceptual framework for the environmental surveillance of antibiotics and antibiotic resistance. *Environ. Int.*, 130, 104880.
- [10] Sun, H., Shi, X., Mao, J., & Zhu, D. (2010). Tetracycline sorption to coal and soil humic acids: an examination of humic structural heterogeneity. *Environ. Toxicol. Chem.*, 29, 1934-1942.
- [11] Li, Y., Su, P., Li, Y., Wen, K., Bi, G., & Cox, M. (2018). Adsorption-desorption and degradation of insecticides clothianidin and thiamethoxam in agricultural soils. *Chemosphere*, 207, 708-714.
- [12] Türk, H., Hanay, Ö. (2017). Nano boyutlu sıfır değerlikli demir ile sulu ortamlarda klortetrasiklin giderim mekanizmasının incelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 21(5), 1000-1007.
- [13] Oral, O., Kantar, C. (2019). Diclofenac removal by pyrite-Fenton process: Performance in batch and fixed-bed continuous flow systems. *Sci. Total Environ.*, 664, 817-823.
- [14] Vitiello, G., Iervolino, G., Imparato, C., Rea, I., Borbone, F., De Stefano, L., Aronne, A., & Vaiano, V. (2021). F-doped ZnO nano- and meso-crystals with enhanced photocatalytic activity in diclofenac degradation. *Sci. Total Environ.*, 762, 143066.

- [15] Doretto, K. M., Peruchi, L. M., & Rath, S. (2014). Sorption and desorption of sulfadimethoxine, sulfamonomethoxine and sulfamethazine antimicrobials in Brazilian soils. *Sci. Total Environ.*, 476-477, 406-414.
- [16] Álvarez-Esmoris, C., Conde-Cid, M., Ferreira-Coelho, G., Fernández-Sanjurjo, M. J., Núñez-Delgado, A., Álvarez-Rodríguez, E., & Arias-Estévez, M. (2020). Adsorption/desorption of sulfamethoxypyridazine and enrofloxacin in agricultural soils. *Sci. Total Environ.*, 706, 136015.
- [17] Skrášková, K., Santos, L. H. M. L. M., Satinsky, D., Pena, A., Conceição, M., Montenegro, B. S. M., Solich, P., & Nováková, L. (2013). Fast and sensitive UHPLC methods with fluorescence and tandem mass spectrometry detection for the determination of tetracycline antibiotics in surface waters. *J. Chromatogr. B.*, 927, 201-208.
- [18] Drugbank. Retrieved March 29, 2022 from <https://go.drugbank.com/drugs/DB00586>.
- [19] Silah, H., Gül, Ü. D. (2018). Adsorption of everzol black by using Amberlyst A21: isotherm and kinetic studies. *Sakarya University Journal of Science*, 22(3), 1063-1070.
- [20] Zhang, Q., Deng, S., Yu, G., & Huang, J. (2011). Removal of perfluorooctane sulfonate from aqueous solution by crosslinked chitosan beads: Sorption kinetics and uptake mechanism. *Bioresour. Technol.*, 102, 2265-2271.
- [21] Torrent, L., Marguí, E., Queralt, I., Hidalgo M., & Iglesias M. (2019). Interaction of silver nanoparticles with mediterranean agricultural soils: Lab-controlled adsorption and desorption studies. *J. Environ. Sci.*, 83, 205-216.
- [22] Li, F., Fang, X., Zhou, Z., Liao, X., Zou, J., Yuan, B., & Sun, W. (2019). Adsorption of perfluorinated acids onto soils: kinetics, isotherms, and influences of soil properties. *Sci. Total Environ.*, 649, 504-514.
- [23] Muendo, B.M., Shikuku, V.O., Getenga, Z.M., Lalah, J.O., Wandiga, S.O., & Rothballer, M. (2021). Adsorption-desorption and leaching behavior of diuron on selected Kenyan agricultural soils. *Heliyon*, 7, e06073.
- [24] Giles, C.H., Smith, D., & Huitson, A. (1974). A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm I. Theoretical. *J. Colloid Interface Sci.*, 47, 755-765.
- [25] Calvet, R. (1989). Adsorption of organic chemicals in soils. *Environ Health Perspect.*, 83, 145-177.
- [26] Weber, J.B., Shea, P.H., & Weed, S.B. (1986) Fluridone retention and release in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 582-588.
- [27] An, B., Xu, X., Ma, W., Huo, M., Wang, H., Liu, Z., Cheng, G., & Huang, L. (2021). The adsorption-desorption characteristics and degradation kinetics of ceftiofur in different agricultural soils. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 222, 112503.
- [28] Zhou W., Zhang, Y., Li, W., Jia, H., Huang, H., & Li, B. (2019). Adsorption isotherms, degradation kinetics, and leaching behaviors of cyanogen and hydrogen cyanide in eight texturally different agricultural soils from China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 185, 109704.
- [29] Conde-Cid, M., Ferreira-Coelho, G., Núñez-Delgado, A., Fernández-Calviño, D., Arias-Estévez, M., Álvarez-Rodríguez, E., & Fernández-Sanjurjo, M.J. (2019). Competitive adsorption of tetracycline, oxytetracycline and chlortetracycline on soils with different pH value and organic matter content. *Environmental Research*, 178, 108669.
- [30] Conde-Cid, M., Fernandez-Calvino, D., Novoa-Munoz, J.C., Nunez-Delgado, A., Fernandez-Sanjurjo, M.J., Arias-Estévez, M., & Alvarez-Rodríguez, E. (2019). Experimental data and model prediction of tetracycline adsorption and desorption in agricultural soils. *Environmental Research*, 177, 108607.
- [31] Zhang, D., Yang, S., Wang, Y., Yang, C., Chen, Y., Wang, R., Wang, Z., Yuan, X., & Wang, W. (2019). Adsorption characteristics of oxytetracycline by different fractions of organic matter in sedimentary soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 5668-5679.
- [32] Li, Z., Chang, P.H., Jean, J.S., Jiang, W.T., & Wang, C.J. (2010). Interaction between tetracycline and smectite in aqueous solution. *J. Colloid Interface Sci.*, 341, 311-319.
- [33] Shirani, Z., Song, H., & Bhatnagar A. (2020). Efficient removal of diclofenac and cephalixin from aqueous solution using *Anthriscus sylvestris*-derived activated biochar. *Science of the Total Environment*, 745, 140789.
- [34] Kaur, M., & Datta, M. (2014). Diclofenac sodium adsorption onto montmorillonite: adsorption equilibrium studies and drug release kinetics. *Adsorption Science & Technology*, 32, 365-387.
- [35] Mabrouki, H., & Akretche, D.E. (2016). Diclofenac potassium removal from water by adsorption on natural and pillared clay. *Desalin. Water Treat.*, 57, 6033-6043.
- [36] Yehia, A.M., Elbalkiny, H.T., Riad, S.M., & Elshaharty, Y.S. (2019). Monitoring and optimization of diclofenac removal by adsorption technique using in-line potentiometric analyzer. *Microchem. J.*, 148, 521-530.
- [37] Khataee, A.R., Vafaei, F., & Jannatkah, M. (2013). Biosorption of three textile dyes from contaminated water by filamentous green algal *Spirogyra sp.*: kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Int Biodeterior Biodegradation*, 83, 33-40.
- [38] Teixido, M., Granados, M., Prat, M.D., & Beltran, J.L. (2012). Sorption of tetracyclines onto natural soils: data analysis and prediction. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 19, 3087-3095.
- [39] Figueroa, R.A., Leonard, A., & Mackay, A.A. (2004). Modeling tetracycline antibiotic sorption to clays. *Environ. Sci. Technol.*, 38, 476-483.
- [40] Pils, J.R., Laird, D.A. (2007). Sorption of tetracycline and chlortetracycline on K- and Ca- saturated soil clays, humic substances, and clay-humic complexes. *Environ Sci. Technol.*, 41, 1928-1933.
- [41] Conkle, J.L., Latta, C., White, J.R., & Cook, R.L. (2010). Competitive sorption and desorption behavior for three fluoroquinolone antibiotics in a wastewater treatment wetland soil. *Chemosphere*, 80, 1353-1359.
- [42] Zhang, J.O., Dong, Y.H. (2008). Effect of low-molecular-weight organic acids on the adsorption of norfloxacin in typical variable charge soils of China. *J. Hazard. Mater.*, 151, 833-839.
- [43] Lee, L.S., Carmosini, N., Sassman, S.A., Dion, H.M., & Sepulveda, M.S. (2007). Agricultural contributions of antimicrobials and hormones on soil and water quality. *Adv. Agron.*, 93, 1-68.
- [44] Martinez-Hernandez, V., Meffe, R., Herrera, S., Arranz, E. & de Bustamante, I. (2014). Sorption/desorption of personal care products from reclaimed water onto/from a natural sediment. *Sci. Total Environ.*, 472, 273-281.
- [45] Scheytt, T., Mersmann, P., Lindstadt, R., & Heberer, T. (2005). 1-octanol/water partition coefficients of 5 pharmaceuticals from human medical care: carbamazepine, clofibrac acid, diclofenac, ibuprofen, and propyphenazone. *Water Air and Soil Pollution*, 165(1):3-11.
- [46] Oleszczuk, P., Xin, B. (2011). Influence of anionic, cationic and nonionic surfactants on adsorption and desorption of oxytetracycline by ultrasonically treated and non-treated multiwalled carbon nanotubes. *Chemosphere*, 8, 1312-1317.
- [47] Jin, H., Zhou, W., & Zhu, L. (2013). Utilizing surfactants to control the sorption, desorption, and biodegradation of phenanthrene in soil-water system. *Journal of Environmental Sciences*, 25(7), 1355-1361.



INVESTIGATION OF POLY(LACTIC ACID) (PLA)/TITANIUM CARBIDE (TiC) NANOCOMPOSITE FILMS GAMMA RAY SHIELDING PROPERTIES

Mücahit Yılmaz*¹ 

¹Department of Physics, Faculty of Science, Firat University, Elazig, Turkey.

Abstract

Original scientific paper

In this study, gamma rays absorption properties of Poly(lactic Acid) (PLA)/Titanium Carbide (TiC) nanocomposite films produced by containing 5% TiC were investigated. In applications where radioactive sources such as industry and medical are used, protection from the harmful effects of radiation is very important. Researches on materials to be used in shielding as an alternative to lead are becoming widespread. Comfortable, easily shaped, thin, durable, non-toxic to the environment and the user are the features sought in an ideal shield materials. For this purpose, the gamma ray absorption properties of the PLA/TiC nanocomposite material and its effect on radiation shielding were investigated. The linear attenuation coefficient value of the sample with different thicknesses was obtained with the NaI(Tl) scintillation detector. A monochromatic gamma source, Cs-137 gamma radioisotope with 661.62 keV energy was used as the gamma radiation source. To determine the gamma ray shielding ability of materials Half value layer (HVL), tenth value layer (TVL) and radiation shielding efficiency (RPE) parameters of the material were calculated.

Keywords: Gamma irradiation, Linear attenuation coefficient, NaI(Tl), Nanocomposite film.

POLİLAKTİK ASİT (PLA) / TİTANYUM KARBÜR (TiC) NANOKOMPOZİT FİLMİN GAMA IŞINI ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, %5 TiC içeren Polilaktik Asit (PLA)/Titanyum Karbür (TiC) nanokompozit filmlerin gama ışınları absorpsiyon özellikleri incelenmiştir. Endüstri ve medikal gibi radyoaktif kaynakların kullanıldığı uygulamalarda radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak çok önemlidir. Kurşuna alternatif olarak zırhlamada kullanılacak malzemeler üzerine araştırmalar yaygınlaşmaktadır. Rahat, kolay şekillendirilebilen, ince, dayanıklı, çevreye ve kullanıcıya toksik olmayan ideal bir zırh malzemelerinde aranacak özelliklerdir. Bu amaçla PLA/TiC nanokompozit malzemenin gama ışını soğurma özellikleri ve radyasyon kalkanına etkisi araştırılmıştır. NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile farklı kalınlıktaki numunenin lineer zayıflama katsayısı değeri elde edilmiştir. Gama radyasyon kaynağı olarak monokromatik bir gama kaynağı olan 661.62 keV enerjili Cs-137 gama radyoizotopu kullanılmıştır. Malzemelerin gama ışını zırhlama kabiliyetini belirlemek için, malzemenin Yarı değer katmanı (HVL), onuncu değer katmanı (TVL) ve radyasyon zırhı verimliliği (RPE) parametreleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gama radyasyonu, lineer zayıflama katsayıları, NaI(Tl), Nanokompozit film.

1 Introduction

Radiation is the emission or transfer of energy in the form of electromagnetic waves or particles. In our daily life, we are inevitably exposed to natural radiation sources. Cosmic radiation coming to our world from space, radiation emitted by the decay of radioactive elements in water, soil, building materials and atmosphere can be counted among natural radiation sources [1]. In addition, it is known that exposure to artificial radiation sources in many fields such as medical fields and industry

for diagnostic and therapeutic purposes. Depending on the dose exposed, it causes genetic diseases caused by DNA damage, and diseases such as cancer, radiation burns, which can damage living cells and tissues [2-4]. Therefore, radiation protection methods are important. There are three basic rules among radiation protection methods: distance, time and shielding. The further our stay away from the radiation source, the less the dose is exposed. The radiation dose depends on inverse-square law. It changes inversely with the square of the distance. The less time is spent in the radiation environment, the

* Corresponding author.

E-mail address: muyilmaz@firat.edu.tr (M. Yılmaz)

Received 12 July 2022; Received in revised form 20 September 2022; Accepted 23 September 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1143273>

less dose is exposed. A barrier to be placed between the radiation source and the person will minimize the dose received [5]. The shield chosen for different types of radiation should be different. Chemical composition of the material, the radiation absorption coefficient of the material, the radiation energy and type are important factors in the selection of the shield material and determination of thickness [6]. Lead (Pb) sheets and lead vests are used in shielding. Pb is a very suitable material that is widely used in radiation shielding due to its physical and chemical properties. However, it has disadvantages such as inflexibility, heavy material and toxic effects. For this reason, many studies are carried out on radiation shielding as an alternative to lead [6-10].

In this study, gamma irradiation attenuation properties of PLA/TiC nanocomposite films and its effect on radiation shielding were investigated. Its usability as an alternative to lead shielding, which is frequently used today, was examined.

2 Material and Method

2.1 Theoretical Background

A decrease in the intensity of the photon beam falling on a material with a thickness of dx occurs. This decrease is due to the absorption of part of the incident photon beam by the material (Figure 1).

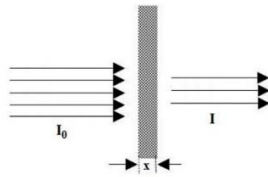


Figure 1. Attenuation of a photon beam.

The decrease in intensity of gamma rays as they pass through the dx thick layer can be written as in Eq.(1).

$$dI = -\mu I dx \tag{1}$$

In here, μ is the linear attenuation coefficient and is defined as the energy absorption fraction per unit thickness. The linear attenuation coefficient (μ) depends on the atomic number of the absorbing material and the energy of the photons that make up the incoming gamma ray beam [10]. I is the energy amount of the ray per unit time perpendicular to the direction of propagation of the gamma rays beam. Eq.(3) is obtained by integrating in Eq.(1) over a finite thickness x .

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\int_0^x \mu dx \tag{2}$$

$$\ln I - \ln I_0 = -\mu x \tag{3}$$

This is the equation of a line with a slope of $-\mu$ and crossing the x -axis at $\ln I_0$ using logarithmic operation properties, Eq.(4), known as Beer–Lambert's Law, is obtained.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{4}$$

$$\mu = \frac{\ln(I_0 / I)}{x} \tag{5}$$

I_0 ; the intensity of the incident photon without absorbing material between the source and the detector, and I ; indicates the intensity after passing through the absorber of thickness x [11]. Inhere, negative sign indicates the reduction in incoming intensity. If the energy of the incident beam changes, the values of the absorption coefficient of the shielding materials also change. The half value layer (*HVL*) and tenth value layer (*TVL*) of the material are described to quantify the gamma ray shielding. *HVL* and *TVL* are the thicknesses of a sample that will attenuate by half and tenth the incident photon intensity [12]. These values were calculated with Eq.(6) and 7, respectively.

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \tag{6}$$

$$TVL = \frac{\ln 10}{\mu} \tag{7}$$

HVL is the shielding thickness required to stop half of the gamma rays from the radioactive source. It is dependent on the gamma energy and the atomic number (Z) of the shielding material [10]. *TVL*, corresponds to the thickness value that reduces the incident beam by 10 times. The Radiation Shielding Efficiency (*RPE*) is an important parameter that indicates the shielding ability of the material and is calculated as shown in Eq.(8) [13].

$$RPE = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \times 100 \tag{8}$$

2.2 Preparation of PLA/TiC Nanocomposite Films

PLA/TiC nanocomposite film containing 5% TiC was prepared by solvent casting method. For this, 0.025 grams TiC nanoparticles were dispersed in 5 mL chloroform for 1 hour in an ultrasonic homogenizer. Meanwhile, 0.5 grams polylactic acid was mixed in a magnetic stirrer until it was completely dissolved in 5 mL chloroform. After 1 hour, the TiC nanoparticle solution was added to the PLA solution and the PLA/TiC nanocomposite was dispersed for an additional 15 minutes. The mixture was poured into a petri dish, dried in an oven at 40 °C for 24 hours, and a polymeric film was obtained. PLA/TiC nanocomposite films produced in different thicknesses are shown in Figure 2.

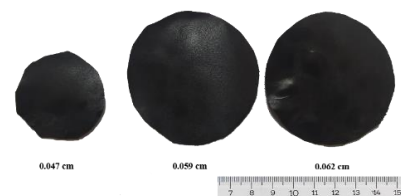


Figure 2. Images of PLA/TiC Nanocomposite Films.

2.3 Measurements of Gamma Irridation

Gamma irradiation measurements were made with a NaI(Tl) scintillation detector. Based on atomic excitation, this detector is widely used for the detection of gamma-rays. The detector was operated in the plateau region (650 V), which is the most ideal voltage range. Gamma radiation attenuation of PLA/TiC nanocomposite films was measured with the experimental setup shown in Figure 3. The detector window was adjusted according to the 661.62 keV energy of the Cs-137 radioactive source. Thus, the detector will only be sensitive to gamma radiation. First of all, background radiation counts were made without a radioactive source in the environment. Then, gamma counts were taken by placing the Cs-137 radioactive source NaI(Tl) in the detector window. Counts were repeated by placing the produced absorbent material between the source and the detector. Measurements were repeated 10 times, measuring $t=100$ for each sample. The linear absorption coefficient of the produced nanocomposite films was calculated with Eq.(5) using the slope of the graph depending on the thickness. Consequently; performance of the absorber material in gamma shielding was investigated by calculating the *HVL*, *TVL* and *RPE* values.

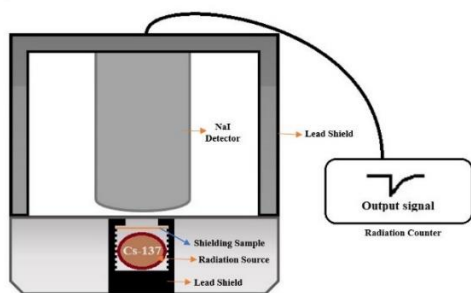


Figure 3. The experimental setup.

3 Results and Discussions

The thickness of the absorber is an important factor in attenuating gamma radiation. Samples have prepared in 3 different thicknesses, from 4.7 to 6.2×10^{-2} cm, to investigate absorption rate of the material produced. The graph of change of $\ln(I_0/I)$ depending on the thickness (x) is shown in Figure 4. The slope of the graph, the parameter of μ absorption coefficient.

This value was calculated as 4.670 cm^{-1} (Eq.5). As the thickness increases, the absorptive ability of the shielding material also increases. Depending on the μ value, *HVL*, *TVL* and *RPE* parameters are calculated and shown in Table 1.

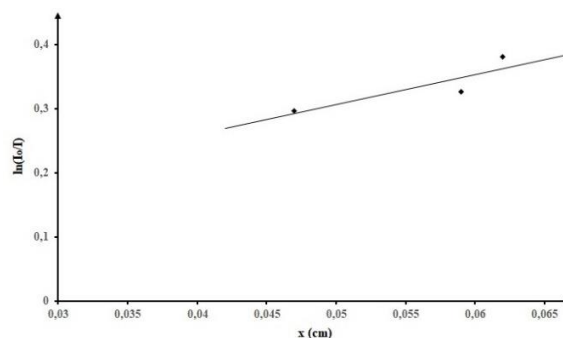


Figure 4. $\ln(I_0/I)=f(x)$ graph of change.

HVL value changes according to the intensity of the incident beam (I_0). When a radioactive source with relatively higher gamma energy than Cs-137 (661.62 keV), such as Co-60 (1173.23 and 1332.50 keV), is used, the absorbent material thickness increases. As the atomic number (Z) of the absorber material increases, the thickness required for the incident gamma-ray intensity to decrease to half its value will decrease.) The low *HVL* value is important in the successful acceptance of radiation shielding [14-17]. The small *HVL* value of the produced material can be considered to be successful in shielding.

As the thickness of the material increases, the percentage of gamma intensity reduction increases. This shows that the thickness is quite effective in shielding.

PLA/TiC nanocomposite film could be a potential candidate as an alternative to lead in gamma ray shielding applications. Among the advantages of the material are light, flexible and non-toxic. Shielding capacity can be improved by doping trace amounts of higher atomic number elements such as lead, bismuth, tungsten into the produced material. At the same time, it is possible to increase the absorption property by increasing the percentage of RPE by increasing the thickness due to the lightness of the material. Considering its performance at Cs-137 (661.62 keV), it can be said that it can operate more efficiently at relatively low energies.

Table 1. Half Value Layer (HVL) and absorption percentages.

Thickness (cm)	I_0 (count/s)	I (count/s)	$\ln(I_0/I)$	RPE (%)	μ (cm^{-1})	HVL (cm)	TVL (cm)
0.047	71.580	53.180	0.297	25.706			
0.059	72.536	52.342	0.326	27.840	4.670	0.015	0.493
0.062	72.706	49.690	0.381	31.656			

Declaration

Ethics committee approval is not required.

References

- [1] De Santis, M., Cesari, E., Nobili, E., Straface, G., Cavaliere, A.F., & Caruso, A. (2007). Radiation effects on development. Birth Defects Research Part C: *Embryo Today*, 81, 177-182.
- [2] Silindir, M., & Özer, A. Y. (2009). Sterilization methods and the comparison of E-beam sterilization with gamma radiation sterilization. *Fabard Journal of Pharmaceutical Sciences*, 34 (1), 43.
- [3] Kevin M. P., Giuseppe, S., Melvyn F., & Kathryn D. H. (2005). New insights on cell death from radiation exposure, *The Lancet Oncology*, 6 (7), 520-528.
- [4] Rosen, E. M., Day, R., & Singh V. K. (2015). New approaches to radiation protection, *Frontiers in Oncology*, 4, 2234-943X.

- [5] Martin, J.E., (2013). Physics for radiation protection. 3. *upd.*
- [6] Yıldız, N. Y., (2019). Gamma-ray shielding properties of lithium borate glass doped with colemanit mineral, *BEU Journal of Science*, 8 (3), 762-771.
- [7] McCaffrey, J. P., Shen, H., Downton, B., & Mainegra-Hing, E. (2007). Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments. *Medical physics*, 34(2), 530-537.
- [8] Mansy, M. S., Lasheen, Y. F., Breky, M.M.E., & Selim, Y. (2021). Experimental and theoretical investigation of Pb–Sb alloys as a gamma-radiation shielding material. *Radiation Physics and Chemistry*, 183, 109416.
- [9] Trubey, D. K., Eisenhauer, C. M., Foderaro, A., Gopinath, D. V., Harima, Y., Hubbell, J. H., & Shure, K. (1991). Gamma-ray attenuation coefficients and buildup factors for engineering materials. *Report ANSI/ANS 6.4.3.*
- [10] McAlister, D.R., (2012). Gamma ray attenuation properties of common shielding materials. *University Lane Lisle, USA.*
- [11] Canel E. (2020). A Study on the gamma-ray attenuation parameters of some commercial salt samples. *Sakarya University Journal of Science*, 24(2), 412-423.
- [12] Tsoufanidis, N. (1995). Measurement and detection of radiation. *Taylor & Francis Publisher, London.*
- [13] Singh, T., Kaur, A., Sharma, J., Singh, P. S. (2018). Gamma rays' shielding parameters for some Pb-Cu binary alloys, *Engineering Science and Technology*, 21(5), 1078-1085.
- [14] Aktas, B., Yalcin, S., Dogru, K., Uzunoglu, Z., & Yilmaz, D. (2019). Structural and radiation shielding properties of chromium oxide doped borosilicate glass. *Radiation Physics and Chemistry*, 156, 144-149.
- [15] Sayyed, M.I., Tekin, H.O., M. M., Taki, Mhareb, M.H.A., Agar, O., Şakar, E., & Kaky, K. M. (2020). Bi₂O₃-B₂O₃-ZnO-BaO-Li₂O glass system for gamma ray shielding applications. *Optik*, 201, 0030-4026.
- [16] Agar, O. (2018). Study on gamma ray shielding performance of concretes doped with natural sepiolite mineral. *Radiochimica Acta*, 106(12), 1009-1016.
- [17] Soylu, H.M., Yurt Lambrecht, F. & Ersöz, O.A. (2015). Gamma radiation shielding efficiency of a new lead-free composite material. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 305, 529–534.



CORNER REFLECTOR (CR) INSTALLATION AND CONTROLLING OF PERMANENT SCATTERER (PS) IN MINE SITES

Bekir Poyraz¹ , Yavuz Gül^{*2} 

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

Deformation in mining areas have been started to be monitored by satellite SAR-based methods, which have recently emerged as an alternative to classical methods (Global Positioning Systems, Geometric Leveling, Terrestrial Lidar, Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry, etc.). The most important advantage of this method is that quite wide areas can be monitored remotely. However, the mentioned way also has some disadvantages. The first of these; deformations can only be determined in the direction of the Satellite Line of Sight, and the second one is that there is no correlated reflective surface due to the continuous change of topography in the locations where mining activities are carried out. Within the framework of this study, it is aimed to monitor by placing corner reflectors in the locations where sufficient permanent scatterer cannot be produced in Kalburçayırı and Hamal Coal Fields of Kangal Thermal Reactor Electric production A.Ş. By considering the area through Sentinel-1A/B satellites, new permanent scatterers constituted by employing the corner reflectors facility has been successfully observed in locations, where permanent scatterer could not be produced before. The results show us that; placing corner reflectors in locations where sufficient permanent scatterer cannot be made or not determined at all, increases the number and quality of permanent scatterer positively.

Keywords: Deformation, InSAR, corner reflector (CR), mine sites, pscatterer (PS).

MADEN SAHALARINDA KÖŞE REFLEKTÖR (CR) TESİSİ VE SABİT SAÇICI (PS) KONTROLÜ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Maden sahalarındaki deformasyonlar son zamanlarda, klasik yöntemlerin (Global Konumlama Sistemleri, Geometrik Nivelman, Yersel Lidar ve İnsansız Hava Aracı Fotogrametresi vb.) alternatifi olarak ortaya çıkmaya başlayan uydu SAR tabanlı yöntemler ile izlenmeye başlanmıştır. Bu yöntemin en önemli avantajı, oldukça geniş alanların, alansal olarak uzaktan izlenebiliyor olmasıdır. Buna rağmen yöntem, bazı dezavantajlar da içermektedir. Bunlardan ilki; deformasyonların sadece uydu bakış doğrultusu yönünde belirlenebiliyor olması, ikincisi ise maden kazı faaliyetlerinin bulunduğu lokasyonlarda topoğrafyanın sürekli değişimine bağlı olarak eşlenik yansıtıcı yüzey bulunamamasıdır. Bu çalışma kapsamında, Kangal Termik Santral Elektrik Üretim A.Ş.'nin Kalburçayırı ve Hamal Kömür sahalarında sabit saçıcı olmayan lokasyonlara, köşe reflektörler yerleştirilerek sabit saçıcı takibi amaçlanmıştır. Sentinel-1A/B uyduları vasıtası ile saha takip edilerek daha önce sabit saçıcı üretilmeyen lokasyonlarda köşe reflektör tesisi ile oluşan yeni sabit saçıcılar başarı ile gözlemlenmiştir. Sonuçlar bize göstermiştir ki; yeterince sabit saçıcı üretilmeyen veya hiç görülmeyen lokasyonlara köşe reflektör yerleştirilmesi, sabit saçıcı sayısını ve kalitesini olumlu yönde artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon, InSAR, köşe reflektör (CR), madens, sabit saçıcı (PS).

1 Giriş

Uydu veri tabanlı deformasyon belirleme yöntemlerinden Interferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR), aynı bölgeye ait farklı zamanlarda veya farklı konumlarda elde edilen Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar, SAR) görüntülerinin piksel piksel eşleştirilmesi ve bunun sonucunda bir faz farkı oluşması temeline dayanmaktadır. Bu yöntemle uydu bakış yönünde

(LOS) santimetre veya santimetre altındaki yüzey deformasyonları belirlenebilmektedir [1]. InSAR yöntemi içerisindeki tekniklerden; Diferansiyel Yapay Açıklıklı Radar İnterferometrisi (DInSAR) ve Sabit Saçıcılar İnterferometrisi (PSI) arasında, en çok kullanılan PSI tekniğidir. PSI ile depremler, volkanlar, buzullar ve heyelanlar gibi olaylar sonucunda yüzeyde oluşan hareketler LOS yönünde belirlenerek deformasyonlar alansal olarak ortaya konulabilmektedir [2-8].

* Corresponding author.

E-mail address: ygul@cumhuriyet.edu.tr (Y. Gül)

Received 22 August 2022; Received in revised form 19 September 2022; Accepted 18 October 2022

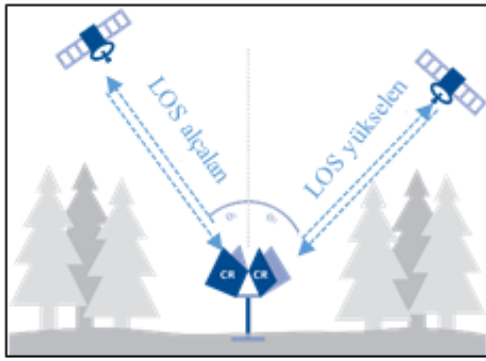
2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1165351>

PSI tekniği; farklı bir yaklaşımla ele alınarak, kabuk hareketlerinin deformasyon analizinde PS için standart bir yöntem olan StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) tekniği geliştirilmiştir [9]. Bu yöntem, bina gibi belirgin nesnelere olsun olmasın, her arazi türünde analiz yapmak için düşük faz değişimi gösteren pikselleri bularak interferometrik fazın mekansal korelasyonunu kullanmaktadır. Sabit saçıcı (PS) noktalarını belirlemek için interferogramlara ait uyum haritaları kullanılmaktadır. Bir hedef uygun bir değerden daha fazla uyum değeri gösteriyorsa bu nokta PS adayı olarak seçilir. Şehir alanlarındaki PS noktaları genellikle insan yapımı olan nesnelere (binalar, yollar, köprüler, direkler, limanlar, vb.) [10].

PSInSAR tekniğinde; InSAR yönteminde sorun teşkil eden atmosferik etkilerin filtrelenmesi için iki görüntüden daha fazla SAR görüntüsüne ihtiyaç vardır. Olumsuz faz katkıları azaltmak için hem zamansal hem de geometrik korelasyondan çok az etkilenen ve çok kararlı yansıtma değerleri sergileyen radar hedeflerine, PS'lere odaklanılmalıdır [11]. PSI tekniği ile deformasyon belirlemede PS nokta sayısı ve sıklığı doğruluk için en önemli etkenlerden birisidir [1].

Literatürde, köşe reflektör geometri parametreleri ve PSInSAR tekniğine katkılarıyla ilgili yayınlara daha sık olarak rastlanılmaktadır [12-20]. Köşe reflektörler uydu geçiş güzergâhına uygun bir şekilde konumlandırılarak uydu sinyallerini geri yansıtma temeli üzerine kurgulanmıştır (Şekil 1). Köşe yansıtıcı içeren bir çözünürlük hücresinden gelen sinyal-gürültü oranı, doğal saçıcılar içeren bir çözünürlük hücresinden çok daha büyük olacaktır [14].



Şekil 1. Köşe Reflektörlerin yönlendirilmesi [21].

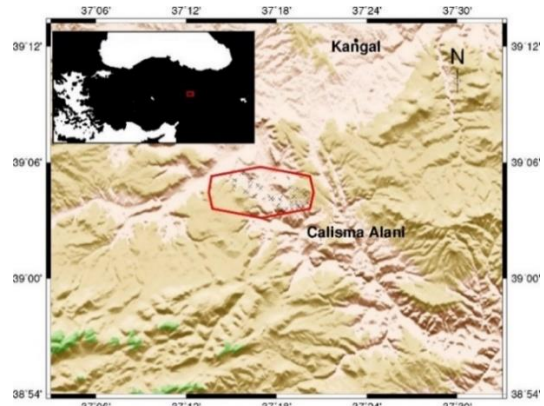
Maden sahalarında kazı dolgu çalışmaları nedeniyle topoğrafya hızlı olarak değiştiğinden, yeterince PS bulmak oldukça güçleşmektedir. Bir diğer taraftan özellikle takip edilmek istenilen bir lokasyonda PS görülemeyebilmektedir. Bu sorunun önüne geçebilmek amacıyla elektromanyetik yansıma özelliği olan, çevresel etkilerden (korozyon, yağmur, toz, kir vb.) etkilenmeyen, kararlı yansıtma özelliği gösteren sabit saçıcı köşe reflektörler (CR) tasarlanmıştır. Yeterli sayıda ya da hiç PS üretilmeyen lokasyonlara tesis edilen CR'ler ile bu sorun aşılmaya çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada geometrisi ve yerleştirilme düzeni özel olarak tasarlanan CR'ler, maden sahasında PS görülmeyen noktalara tesis edilmiştir. Yerleştirilen CR'lerin koordinat değerleri hassas bir şekilde kaydedilmiştir. Sahaya yerleştirilen CR'lerin yansımaları SNAP yazılımı ile kontrol edilmiş, bir grup

veri ile de CR yerleştirilmeden önceki ve sonraki PSInSAR/StaMPS tekniği ile LOS hızları mekansal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen veriler ışığında sahadaki CR kaynaklı PS'lerin takibi yapılmıştır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Çalışma Sahası

Çalışma sahası, Kangal Termik Santral Elektrik Üretim A.Ş.'nin kömür açık işletme sahalarıdır (Şekil 2). İşletme sahası Sivas'ın Kangal ilçesinin sınırları içinde olup, ilçe merkezinin güneyinde yaklaşık 30 km uzaklıkta bulunmaktadır (39° 03' 45"N, 39° 19' 36"E).

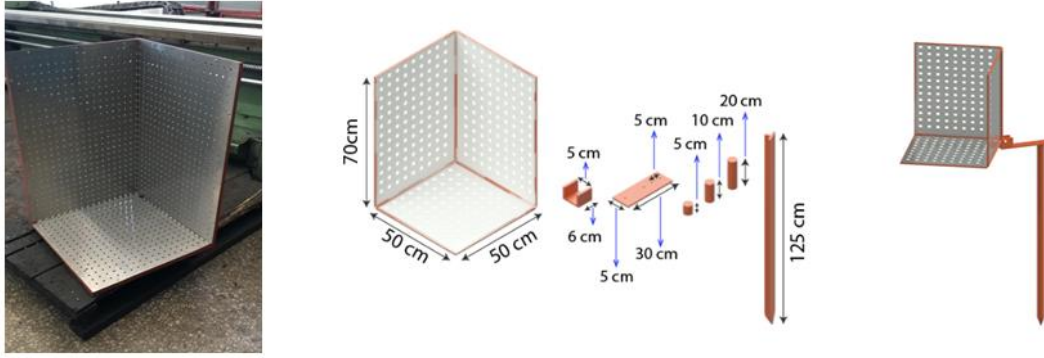


Şekil 2. Çalışma Alanı (GMTSAR yazılımında oluşturulmuştur [22, 23]).

İşletme sahası genellikle küçük engebeler içeren yüksek plato görünümünde olup, 1450-1690 metreleri arasında değişen yükseklikler vardır. Erozyonlar nedeniyle sahanın güneyi kuzeyine nazaran daha engebelidir. Sahayı kuzeyden güneye kat eden bir dere mevcuttur. Kangal Termik Santrali'nin kömür ihtiyacının karşılandığı sahada ortalama kalınlığı 7 metre olan iki adet kömür damarı mevcut olup 5-10 derece eğimle Kuzeybatı – Güneydoğu yönünde uzanmaktadır. İki kömür tabakası arasında yaklaşık 20 metre kalınlıkta, bantlar halinde kil ve marndan oluşan ara kesme mevcuttur. Kömür tabakalarının üzerine ise kireçtaşı, marn ve kilden oluşan örtü tabakası formasyonunun kalınlığı 40-45 metre arasında değişmektedir. Döküm sahası malzemeleri kil, marn ve kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Kömür açık işletmeciliği ile üretim faaliyetleri sürdürülen söz konusu işletmede ekskavator –kamyon ve dragline (70 yd³) yöntemleri kullanılmaktadır. Kömürün üzerindeki örtü tabakası ekskavator-kamyon, ara kesme ise dragline ile kaldırılmaktadır. Kömür üretimi ise ekskavator-kamyon yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Doğrudan kazı mümkün olmadığı için yalnızca kireçtaşında delme-patlatma işlemi uygulanmaktadır [24].

2.2 CR Tasarımı ve Sahaya Tesisi

Çalışma kapsamında sahaya, iki farklı lokasyonda 2'şer adet olmak üzere toplam 4 adet CR tesis edilmiştir. Her bir lokasyondaki CR'lerin birisi yükselen, diğeri ise alçalan uydu yörüngesine bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde farklı yörünge ve açığa sahip uydu görüntülerinin test edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3. CR tasarımı.

Bu CR'ler, Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) desteğiyle, Geomine Arge Mühendislik Danışmanlık Yazılım İhr. İth. Tic. Ltd. Şti. tarafından yürütülen "Maden sahalarında deformasyonların yapay açıklıklı uzay radar verilerinden yansıtıcı yüzey kullanılarak 2 boyutlu izlenmesi ve 'MineSAR' yazılımının geliştirilmesi" adlı çalışma kapsamında geliştirilmiş olan çoklu deformasyon izleme istasyonundan [25] faydalanılarak ve modifiye edilerek tasarlanmıştır (Şekil 3). CR'ler, korozyondan etkilenmemesi ve ağırlığının azaltılması amacıyla 2 mm kalınlığında alüminyum plakalardan üretilmiştir. Üç yüzeyde bulunan alüminyum plakalar üzerine, rüzgâr direncini kırmak ve oluşabilecek yağmur suyu ve kar birikmesini önlemek amacıyla 5 mm çapında delikler açılmıştır. Geometrik olarak küçük yer değiştirmelerin izlenmesi için dikdörtgen [18] olarak tasarlanmıştır. CR'ler sahanın belirlenen bölgelerine 24-26 Mayıs 2021 tarihleri arasında tesis edilmiştir. CR'lerin, tespit edilmiş [26] azimut açısı ve azami yükseklik açısı Tablo 1'de verilmiştir. Sahaya tesis edilmiş bir CR seti Şekil 4'de görülmektedir.

Tablo 1. CR yerleştirme parametresi.

	Sentinel 1A/B	
	Azimut açısı ($^{\circ}$)	Azami yükseklik açısı ($^{\circ}$)
Yükselen	260	18.74
Alçalan	99	13.74



Şekil 4. CR saha yerleşim şekli.

2.3 Veri Seti

Çalışma kapsamında Kangal Kalburçayırı ve Hamal sahalarına ait açık erişimli Sentinel 1A ve Sentinel 1B alçalan ve yükselen yörüngedeki uydu SAR verileri kullanılmıştır. Tablo 2'de kullanılan veri seti görülmektedir.

Tablo 2. Uydu radar veri seti.

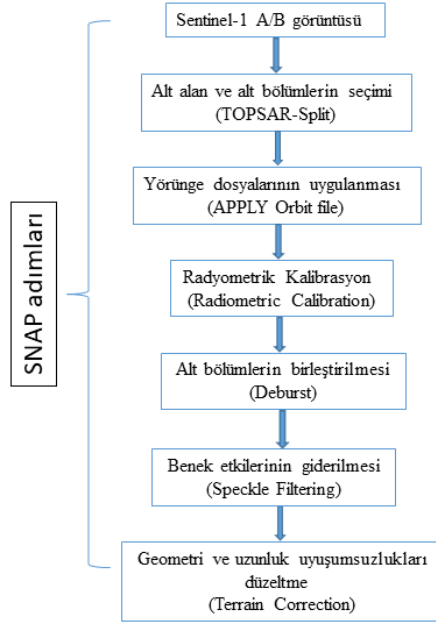
Periyot	Zaman aralığı	Sentinel 1A/1B yükselen		Sentinel 1A/1B alçalan	
		Görüntü sayısı	Zaman aralığı	Görüntü sayısı	Zaman aralığı
2021	1p	03012021-27042021	20	03012021-27042021	20
	2p	06092021-23122021	19	06092021-29122021	20

2.4 Veri İşleme

Çalışmanın amacı kapsamında; CR yardımıyla PS noktası elde edilip edilemediğini ortaya koyabilmek için aşağıda ayrıntıları verilen çalışmalar yapılmıştır.

- CR noktalarının tespiti için Avrupa Uzay Ajansı tarafından geliştirilen Sentinel Uygulama Platformunda (SNAP) Şekil 5'deki işlem adımları uygulanmıştır. Bu adımlar;
 - Verilerin girilmesi (görüntü tipi: SLC).
 - Dikey şerit (subswath), polarizasyon ve şeritler içinde yer alan, yatay şeritlerin (burst) seçimi (polarizasyon tipi: VV, sensör modu: IW).
 - Yörünge verilerinin girilmesi.
 - Görüntünün global geliş açısı ve sensöre özgü özellikleri dikkate alınarak, kalibre edilmiş bir ölçü sensörü tarafından alınan geri saçılma yoğunluğunun normalleştirilmiş radar kesitine (σ_0) dönüştürülmesi.
 - İnterferogram görüntüsündeki burst'lerin tek bir görüntü oluşturmak üzere birleştirilmesi.
 - Benek filtrelemesi. (Benek; ölçülen yüzeylerin, geri saçılan sinyale, pozitif ve negatif katkılarında kaynaklanan sistematik bir etkisidir.)
 - Geometri ve uzunluk uyumsuzluklarını ortadan kaldıran düzeltmelerin yapılması.
- CR yerleştirilecek olan noktaların kesin koordinat değerlerinin, Kontrol Noktası (Ground Control Points, GCP) olarak SNAP programında işaretlenmesi.
- CR yerleştirilmeden önceki Sentinel 1A/B yükselen ve alçalan uydu radar verisi yardımıyla, SNAP yazılımında GCP noktalarının bulunduğu piksellerdeki saçılımların incelenmesi.
- CR yerleştirilmeden önceki döneme ait (Tablo 2, 1.periyot) veri seti kullanılarak PSInSAR/StaMPS tekniği ile yükselen ve alçalan yörünge için LOS hızı mekansal dağılım haritalarının üretilmesi.

- v. CR yerleştirildikten sonraki Sentinel 1A/B yükselen ve alçalan uydu radar verisi yardımıyla, SNAP yazılımında GCP noktalarının bulunduğu piksellerdeki saçılımların incelenmesi.
- vi. CR yerleştirilmeden önceki ve sonraki geri saçılım katsayısı (Σ_0) değerlerinin okunması.
- vii. CR yerleştirildikten sonraki döneme ait (Tablo 2, 2.periyot) veri seti kullanılarak PSInSAR/StaMPS tekniği ile yükselen ve alçalan yörünge için LOS hızı mekânsal dağılım haritalarının üretilmesi.
- viii. CR yerleştirilmeden önceki ve sonraki durumlar için, oluşan saçılımların ve LOS hızları mekânsal haritalarının karşılaştırılması.



Şekil 5. CR tespiti için SNAP adımları.

3 Bulgular ve Tartışmalar

Yukarıda işaret edilen çalışmalar ışığında elde edilen bulgular;

- i. CR yerleştirmeden önceki 21-05-2021 tarihli yükselen Sentinel 1A ve 15-05-2021 tarihli yükselen Sentinel 1B uydu SAR verisi SNAP yazılımı ile değerlendirildiğinde, 4 no'lu bölgede köşe reflektör yansıması görülmemektedir (Şekil 6 a). Tablo 1 1p verileri kullanılarak PSInSAR/StaMPS tekniği ile yükselen yörünge LOS hızları bulunmuş ve mekânsal dağılım haritası üretilmiştir. LOS hızları mekânsal dağılım haritası incelendiğinde bazı bölgelerde PS olmadığı görülmüştür (Şekil 6 b).
- ii. Belirlenen bölgelere CR yerleştirildikten sonraki 02-06-2021 tarihli yükselen Sentinel 1A ve 08-06-2021 tarihli yükselen Sentinel 1B uydu SAR verisi SNAP yazılımı ile değerlendirildiğinde ise 4 no'lu bölgede köşe reflektör yansıması görülmektedir (Şekil 6 c). Tablo 1 2p verileri kullanılarak PSInSAR/StaMPS tekniği ile yükselen yörünge LOS hızları bulunmuş ve mekânsal dağılım haritası üretilmiştir. LOS hızları mekânsal dağılım haritası incelendiğinde CR tesis edilmiş lokasyonda PS görülmüştür (Şekil 6 d).

- iii. CR yerleştirmeden önceki 15-05-2021 tarihli alçalan Sentinel 1A ve 21-05-2021 tarihli alçalan Sentinel 1B uydu SAR verisi SNAP yazılımı ile değerlendirildiğinde, 4 no'lu bölgede köşe reflektör yansıması görülmemektedir (Şekil 7 a). Tablo 1 1p verileri kullanılarak PSInSAR/StaMPS tekniği ile yükselen yörünge LOS hızları bulunmuş ve mekânsal dağılım haritası üretilmiştir. LOS hızları mekânsal dağılım haritası incelendiğinde bazı bölgelerde yada konumlarda PS olmadığı görülmüştür (Şekil 7 b).
- iv. Belirlenen bölgelere CR yerleştirildikten sonraki 08-06-2021 tarihli alçalan Sentinel 1A ve 02-06-2021 tarihli alçalan Sentinel 1B uydu SAR verisi SNAP yazılımı ile değerlendirildiğinde ise 4 no'lu bölgede köşe reflektör yansıması görülmektedir (Şekil 7 c). Tablo 1 2p verileri kullanılarak PSInSAR/StaMPS tekniği ile yükselen yörünge LOS hızları bulunmuş ve mekânsal dağılım haritası üretilmiştir. LOS hızları mekânsal dağılım haritası incelendiğinde CR tesis edilmiş lokasyonda PS görülmüştür (Şekil 7 d).
- v. CR yerleştirilmeden önceki ve sonraki geri saçılım katsayısı (Σ_0) değerleri, SNAP yazılımı aracılığı ile okunarak [27, 28] toplu halde Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de görüldüğü gibi CR yerleştirildikten sonraki Σ_0 değerlerinde belirgin artışlar olmuştur. Σ_0 değerlerinin değişimi; dalganın geliş açısı, boyu, polarizasyonu ve yüzey saçılma özelliklerinin değişmesinden kaynaklanmaktadır [29]. CR yerleştirilen bölgelerde değişen Σ_0 değerleri, bu noktaların yeni PS adayı olabileceğini göstermektedir.

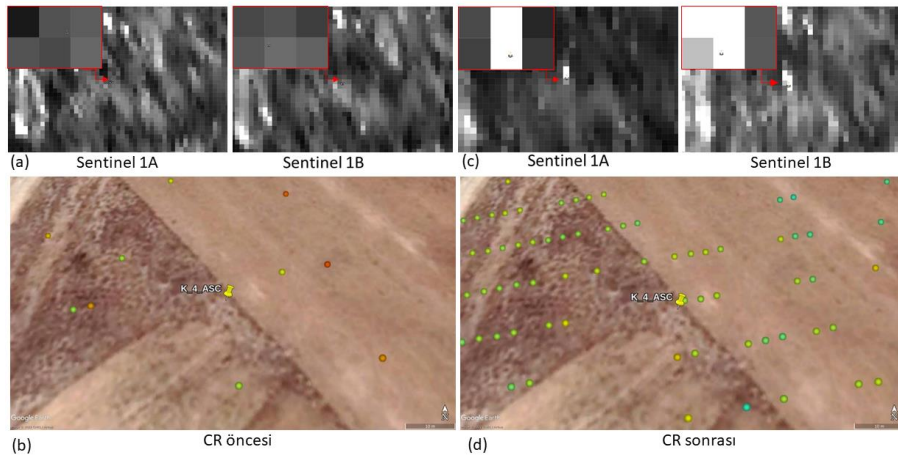
Tablo 3. CR öncesi ve sonrası geri saçılım katsayıları.

Geri saçılım katsayısı (Σ_0)	Sentinel 1A/B	CR öncesi	CR sonrası
Yükselen	1A	0,082	0,953
	1B	0,107	1,018
Alçalan	1A	0,017	2,977
	1B	0,037	0,274

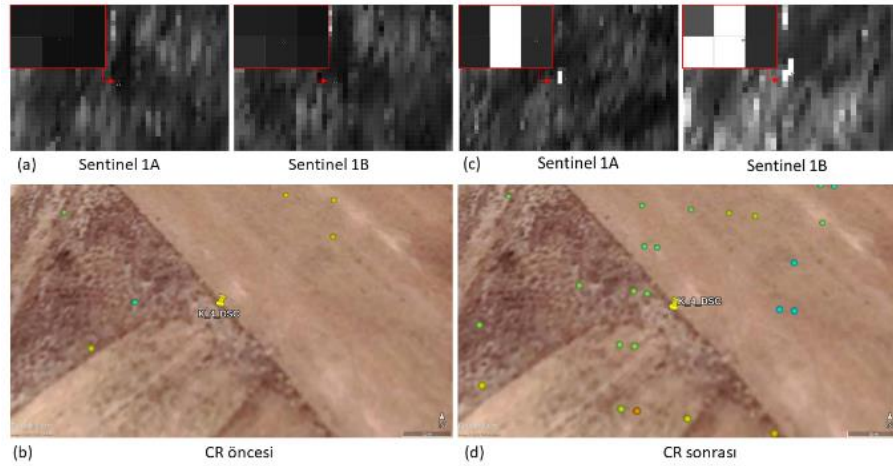
Bu bulgular, yeterince ya da hiç PS üretilmeyen lokasyonlara/bölgelere köşe reflektör tesisi ile PS üretilmesinin mümkün olacağını göstermiştir.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Uydu SAR verileri kullanılarak PSInSAR/StaMPS tekniği ile yapılan deformasyon belirleme çalışmalarında, PS sayısının fazlalığıyla daha anlamlı ve doğru sonuçlar elde edilmektedir. Değerlendirilecek lokasyon, bölge veya alanların öncelikle bir ön değerlendirme ile PS varlığı incelenmelidir. Yetersiz PS görülen veya görülemeyen alanlar, köşe reflektör tesis edilerek desteklenmelidir. Yapılan çalışma; özellikle topoğrafyanın değişiminden bağımsız, nokta bazlı izlemelerin, bu yaklaşım ile yapılabileceğini göstermektedir. Kış aylarında kar birikmesi, yoğun bitki örtüsü, çok derin ocaklarda oluşan yüksek eğimler veya yağmur kaynaklı oluşan aşırı nemlilik nedeniyle yetersiz sayıda veya hiç PS görülemeyen lokasyonlarda, bölgelerde, alanlarda ya da özellikle takip edilmesi istenilen yani ilgi alanındaki belirli bir noktaya tesis edilecek CR'ler ile PS noktaları takip edilebilecektir.



Şekil 6. CR öncesi ve sonrası yükselen yörünge a-c) Köşe reflektör yansımaları b-d) noktaya düşen PS.



Şekil 7. CR öncesi ve sonrası alçalan yörünge a-c) Köşe reflektör yansımaları b-d) noktaya düşen PS.

Teşekkür

Yazarlar CR tasarımındaki katkılarından dolayı Geomine Ar-Ge Mühendislik Danışmanlık Yazılım İhr. İth. Tic. Ltd. Şti.'ne, KOSGEB'e ve işbirlikleri için Kangal Kömür İşletmesi yetkililerine teşekkür ederler.

Yazar katkıları

Tüm yazarlar, çalışmanın konseptine ve tasarımına katkıda bulunmuştur. Yavuz Gül fikri kavramsallaştırdı ve araştırmayı formüle etti. Veri toplama ve analiz Bekir Poyraz tarafından gerçekleştirilmiştir. Makalenin ilk taslağı Bekir Poyraz tarafından yazılmıştır ve tüm yazarlar makalenin önceki sürümleri hakkında yorum yapmıştır. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

[1] Poyraz, F., GÜL, Y., & Duymaz, B. (2020). Determination of deformations by using the PSI technique at a common dump site of three different open-pit marble mines in Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(6).

- [2] Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. (2001). Permanent Scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 39(1):8–20.
- [3] Colesanti, C., Ferretti, A., Novati, F., Prati, C., Rocca, F. (2003). SAR monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the permanent scatterers technique. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41 (7): 1685-1701.
- [4] Colesanti, C., Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2003). Monitoring landslides and tectonic motions with the Permanent Scatterers Technique. *Engineering geology*, 68(1-2), 3-14.
- [5] Canuti, P., Casagli, N., Ermini, L., Fanti, R., Farina, P. (2004). Landslide activity as a geoinicator in Italy: significance and new perspectives from remote sensing. *Environmental Geology* 45 (7): 907-919.
- [6] Colesanti, C., Wasowski, J. (2004). Satellite SAR interferometry for wide-area slope hazard detection and site-specific monitoring of slow landslides. *In: Proceedings of the Ninth International Symposium on Landslides; Rio de Janeiro, Brazil.* (pp. 795-802).
- [7] Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., Casagli, N., Farina, P., & Young, B. (2005, May). Permanent Scatterers technology: a powerful state of the art tool for historic and future monitoring of landslides and other terrain instability phenomena. *In Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management*, Vancouver, BC, Canada (Vol. 31).
- [8] Gündoğdu, B., Erdoğan, H., & Oktar, O. (2021). Investigation of Disasters with Different InSAR Methods. *Turkish Journal of Geosciences*, 2(1), 33-45.

- [9] Hooper, A., Segall, P., Zebker, H. (2007). Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to Volca'n Alcedo, Gala'pagos. *Journal of Geophysical Research* 112: B07407.
- [10] Poyraz, F., & Hastaoğlu, K. Ö. (2020). Monitoring of tectonic movements of the Gediz Graben by the PSInSAR method and validation with GNSS results. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(17), 1-11.
- [11] Ferretti, A. (2014). *Satellite InSAR Data: reservoir monitoring from space (EET 9)*. Earthdoc.
- [12] Froese, C., Poncos, V., Skirrow, R., Mansour, M., & Martin, D. (2008). Characterizing complex deep seated landslide deformation using corner reflector insar (CR-INSAR): *Little Smoky Landslide, Alberta*. In *Proc. 4th Can. Conf. Geohazards*. (pp. 1-4).
- [13] Qin, Y., Perissin, D., & Lei, L. (2013). The design and experiments on corner reflectors for urban ground deformation monitoring in Hong Kong. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2013.
- [14] Garthwaite, M. C., Lawrie, S., Dawson, J., & Thankappan, M. (2015). Corner reflectors as the tie between insar and GNSS measurements: Case study of resource extraction in Australia. *Eur. Sp. Agency. Spec. Publ., ESA SP SP-731*.
- [15] Garthwaite, M. C. (2017). On the design of radar corner reflectors for deformation monitoring in multi-frequency insar. *Remote Sensing*, 9(7), 648.
- [16] Parker, A. L., Featherstone, W. E., Penna, N. T., Filmer, M. S., & Garthwaite, M. C. (2017). Practical considerations before installing ground-based geodetic infrastructure for integrated insar and cgns monitoring of vertical land motion. *Sensors*, 17(8).
- [17] Bányai, L., Nagy, L., Hooper, A., Bozsó, I., Szücs, E., & Wertzgom, V. (2019). Investigation of integrated twin corner reflectors designed for 3-D InSAR applications. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(6), 1013-1016.
- [18] Jauvin, M., Yan, Y., Trouvé, E., Fruneau, B., Gay, M., & Girard, B. (2019). Integration of Corner Reflectors for the Monitoring of Mountain Glacier Areas with Sentinel-1 Time Series. *Remote Sensing*, 11(8), 988.
- [19] Boukhemacha, M. A., Teleaga, D., Serbulea, M. S., Poncos, V., Serpescu, I., Manoli, D. M., ... & Haagmans, R. (2021). Combined in-situ and Persistent Scatterers Interferometry Synthetic Aperture Radar (PSInSAR) monitoring of land surface deformation in urban environments-case study: tunnelling works in Bucharest (Romania). *International Journal of Remote Sensing*, 42(7), 2641-2662.
- [20] Liu, Z., Bian, Z., & Liu, W. (2022). Monitoring of large and inconsistent deformation in coal mining area using point-like target offset tracking. *International Journal of Remote Sensing*, 43(4), 1157-1177.
- [21] Tre-Altamira (2022). Retrieved June 10, 2022 from <https://site.tre-altamira.com/insar-solutions/%20insar-corner-reflectors>.
- [22] GMTSAR (2010). An InSAR Processing System Based on GMT Retrieved September 13, 2022 from <https://topex.ucsd.edu/gmtsar>.
- [23] GMTSAR (2010). Generate DEM files for use with GMTSAR. Retrieved September 13, 2022 from <https://topex.ucsd.edu/gmtsar/demgen>
- [24] Gül, Y. (2006). *Bazı Açık İşletmelerdeki Değişik Kaya Birimlerinin Taşıma Kapasitelerinin Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi*. (Doctoral dissertation, Sivas Cumhuriyet University)
- [25] Gül, Y., Hastaoğlu, K.Ö., Poyraz, F., (2020). Maden sahalarında deformasyonların yapay açıklıklı uzay radar verilerinden yansıtıcı yüzey kullanılarak 2 boyutlu izlenmesi ve 'MineSAR' yazılımının geliştirilmesi. *KOSGEB Projesi*.
- [26] Heavens Above (2015). Retrieved June 6, 2022 from <https://www.heavens-above.com/SatInfo.aspx?satid=39634&lat=39.0935&lng=37.2906&loc=Hamal&alt=0&tz=TRT>
- [27] Braun, A. (2020). Sentinel-1 Toolbox, Synergetic use of radar and optical data, Combination of Sentinel-1 and Sentinel-2 and application of analysis tools, ESA, SkyWatch Space Applications Inc.,(pp.29)
- [28] Miranda, N., Meadows, P. J., Type, D., & Note, T. (2015). Radiometric calibration of S-1 level-1 products generated by the S-1 IPF. Retrieved June 2, 2022 from <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/S1-Radiometric-Calibration-V1.0.pdf>.
- [29] Kumar, D. (2021). Urban objects detection from C-band synthetic aperture radar (SAR) satellite images through simulating filter properties. *Scientific Reports*, 11(1), 1-24.



FORENSIC ANALYSIS OF CRIMES COMMITTED ON LIVE BROADCAST PLATFORMS ACCESSED VIA WEB BROWSERS

Nursena Atalay¹ , Aytuğ Boyacı*² 

¹Department of Digital Forensics Engineering, Fırat University, Elazığ, Turkey

²Department of Computer Engineering, Air Force Academy, National Defense University, Istanbul, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Live broadcast platforms are expressed as platforms that allow watching the online broadcast stream, which can be recorded simultaneously and broadcast in real time. Platforms are usually realized by the broadcaster speaking in real time and the audience participating in the chat section of the platform. The use of live broadcast platforms takes place through web browsers and mobile environments. According to the Criminal Procedure Law, which we encounter in the digital environment or in daily life, there are many types of crimes whose provisions are quite severe. The crimes committed and the rates of punishment vary according to the type and size of the crime. Many crimes can be committed in real time via live broadcast platforms that can be accessed via internet browsers and mobile media. Based on the detection of crime in live broadcast streams over internet browsers, in this study, forensic examination of broadcasts made from Periscope, YouTube, Facebook and Twitch live broadcast platforms over Google Chrome, Mozilla Firefox and Microsoft Edge internet browsers, and the findings for the detection of crime were revealed.

Keywords: Digital forensics, digital evidence, live broadcast platforms, social media.

WEB TARAYICILAR ARACILIĞI İLE ERİŞİM SAĞLANAN CANLI YAYIN PLATFORMLARINDA İŞLENEN SUÇLARIN ADLİ ANALİZİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Canlı yayın platformları, eş zamanlı olarak hem kayıt altına alınabilen hem de gerçek zamanlı olarak yayınlanan çevrimiçi yayın akışının izlenmesine olanak sağlayan platformlar olarak ifade edilmektedir. Platformlar genellikle yayını yapan kişinin gerçek zamanlı olarak konuşması ve platformun sohbet bölümüne izleyicilerin katılması ile gerçekleşmektedir. Canlı yayın platformlarının kullanımı, web tarayıcılar ve mobil ortamlar üzerinden gerçekleşmektedir. Dijital ortamda ya da günlük hayatta karşımıza çıkan Ceza Muhakemesi Hukukuna göre hükmü oldukça ağır olan birçok suç türleri bulunmaktadır. İşlenen suçlar ve cezalandırma oranları suçun türü ve boyutuna göre farklılık göstermektedir. İnternet tarayıcıları ve mobil ortamlar aracılığı ile erişilebilen canlı yayın platformları üzerinden de gerçek zamanlı olarak birçok suç işlenebilmektedir. İnternet tarayıcıları üzerinden canlı yayın akışlarında suçun tespitine dayalı olarak bu çalışmada, Google Chrome, Mozilla Firefox ve Microsoft Edge internet tarayıcıları üzerinden Periscope, YouTube, Facebook ve Twitch canlı yayın platformlarından gerçekleştirilen yayınların adli incelemesi gerçekleştirilerek suçun tespitine yönelik olarak elde edilen bulgular ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Adli bilişim, canlı yayın platformları, elektronik delil, sosyal medya.

1 Giriş

Kişisel canlı yayın teknolojileri, günlük hayatta birçok kişinin ilgi alanına göre çeşitli kategorilere sahip olan ve bu kategorilerde yayıncı olarak, canlı yayın açma ve izleyici olarak, canlı yayın akışına katılabilme imkânı sağlayan uygulamalardır. Canlı yayın platformları hem kişisel alanda hem de kamusal alanda iletişim kurma potansiyelini yüksek oranda arttırmaktadır. Bu

uygulamalar dünya genelinde teknolojinin ve sosyal ağların gelişimi ile doğru orantılı bir şekilde yaygınlaşmıştır [1]. Kullanıcı oturumu açarak canlı yayın açma ya da canlı yayın akışına izleyici olarak katılabilme yeteneğine sahip olan bu uygulamalar arasında Periscope, Twitch, Facebook ve Youtube gibi yaygın kullanılan uygulamalar yer almaktadır. Yaygın olarak kullanılan platformlara kullanıcılar, kullanıcı oturumu açarak ya da kullanıcı oturumu açmaksızın erişim sağlayabilmektedir.

* Corresponding author.

E-mail address: aytugboyaci@hho.msu.edu.tr (A. Boyacı)

Received 20 May 2022; Received in revised form 24 November 2022; Accepted 02 December 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1117692>

Canlı yayın akış platformlarının kullanımı suça konu olabilecek hususları da beraberinde getirmektedir. Platformların yaygınlaşması ile birlikte gerçekleşen çocuk istismarı, telif hakkı ihlali, taciz vb. gibi suç unsurlarında ciddi artış gözlemlenmektedir [2]. Ceza muhakemesi kuralları gereğince işlenen suçların türüne ve şiddetine göre ceza hükümleri değişmektedir. Bazı ceza muhakemelerince canlı yayın platformları üzerinde işlenen suçların cezalandırılma hükmüne yönelik olarak kanun ve yasalar üzerinde değişikliklere gidilmiş ve ağır maddeler ile yeniden yapılandırılmıştır [3]. Canlı yayın platformlarına, mobil cihazlar üzerinden erişim sağlanabildiği gibi internet tarayıcıları üzerinden de erişim sağlanabilmektedir. İnternet tarayıcısı üzerinden yapılan canlı yayınlar ile ilgili suç unsuru analizi yayın yapılan mobil cihaz ya da bilgisayar üzerinde ki önbellek incelemeleri ile gerçekleştirilmektedir. Kullanıcının internet aktiviteleri bilgisayar ya da mobil cihazın geçici belleğinde ve kullanılan web tarayıcının geçici depolama alanlarında tutulmaktadır. İlgili alanların analizi ile canlı yayın platformlarında yapılmış olan aktivitelere tespit edilebilmektedir [4].

Bu çalışmada, internet tarayıcıları üzerinden canlı yayın akışlarında suçun tespitine yönelik olarak Google Chrome, Mozilla Firefox ve Microsoft Edge internet tarayıcıları aracılığı ile erişim sağlanan Periscope, YouTube, Facebook ve Twitch canlı yayın platformunun adli inceleme ve analizi "gerçekleştirilerek delil niteliği taşıyan veriler sunulmuştur.

1.1 Motivasyon

Canlı yayın platformları, teknolojinin ve sosyal medyanın gelişimine bağlı olarak mobil ortam ve internet tarayıcıları aracılığı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Canlı yayın platformlarının kullanımının artması ile birlikte yapılan canlı yayınların suç unsuru barındırıp barındırmadığı ile ilgili çalışmalar da yoğunlaşmıştır [5]. Platformlar üzerinden yapılan canlı yayınların mobil uygulama ya da web istemcisi üzerinde takip edilmesi için kullanılan yayın mekanizmaları çoğu zaman istemcinin ve kullanılan cihazın geçici bellek alanında işlenmektedir. İnternet tarayıcıları aracılığı ile erişim sağlanan sosyal medya uygulamalarına yönelik olarak yapılan analizler genel olarak ön bellek incelemesi ve internet artefekt incelemesi ile gerçekleşmektedir. Canlı yayın uygulaması adli inceleme ve araştırma kapsamında incelenen internet tarayıcıları üzerinden yapılan inceleme ve araştırmalarda tarayıcı internet artefektleri ve ön bellek incelemeleri ile suçların aydınlatılma yoluna gidilmektedir. Ön bellek ve internet artefektleri incelemesi ile resim, video vb. medya verileri, kullanıcı geçmişi, canlı yayın içeriği, yorumlar ve durum simgeleri gibi veriler elde edilebilmektedir. Suçun aydınlatılmasında delil niteliği taşıyan bu kalıntıların elde edilmesi kullanılan canlı yayın platformuna ve erişim sağlanan tarayıcı türüne göre değişiklik göstermektedir. Bu yüzden suça konu olan durumun istemciler üzerindeki analizinde elde edilecek olan kanıt niteliği taşıyabilecek en küçük bilgi bile son derece önem kazanmaktadır [6].

1.2 Araştırma Kapsamı

Çalışmada yaygın kullanılan Periscope, Twitch, Facebook ve Youtube platformlarından gerçekleştirilen canlı yayınların kullanıcı web tarayıcılarının ön bellek alanları ve internet artefekt izleri üzerinde adli analiz yapılmıştır. Gerçekleştirilen canlı yayınların izleri sık kullanılan Google Chrome, Mozilla Firefox ve Microsoft Edge tarayıcıları için analiz edilerek elde edilen bulgular ortaya konmuştur.

Yapılan analiz sonucu canlı yayının suç unsuru barındıran yayının ilgili cihaz ile gerçekleştirip gerçekleştirilmediğinin tespitine yönelik bulgular elde edilmeye çalışılmıştır. Adli için açık kaynaklı Autopsy yazılımı ve Magnet Forensic adli inceleme yazılımı kullanılmıştır.

1.3 İlgili Çalışmalar

Teknolojinin gelişimine bağlı olarak çeşitli sosyal medya vb. uygulamalar mobil ya da bilgisayar erişimi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bu uygulamalardan biri de canlı yayın uygulamalarıdır. Canlı yayın uygulamaları, günden güne kullanımı artan, izleyici olarak katılım sağlanabilen ya da canlı yayın açabilmeye imkân sağlayan uygulamalardır. Sosyal medya türünde ki uygulamaların kullanım sayısının artışına bağlı olarak, sosyal medya üzerinden işlenen suçlarında sayısının oranında artış olduğu görülmektedir [7]. Canlı yayın platformlarının adli incelemesine yönelik olarak gerçekleştirilen literatür taramasında problemin güncelliği ve canlı yayın uygulamaları üzerinde adli inceleme alanında yapılan çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir. Çalışma ile ilgili literatür aşağıda verilmiştir.

Graeme Horsman tarafından yapılan çalışmada canlı yayın platformlarında çocuk istismarı soruşturması ve incelemesi üzerine teknik ve yasal alanda olan zorlukların incelemesini gerçekleştirmiş ve çalışmada örnek olay incelemesi olarak Periscope uygulaması kullanılmıştır [8]. Patrick Verleg çalışmasında bir tarayıcının önbelleğini kullanıcının kişisel bilgisini saklamak için kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek amacıyla tarayıcı ön bellek incelemesi yapmıştır [9]. Philip Ndubueze, yüksek teknoloji suçlarının değişen dinamiklerini ve bu gelişimin geleneksel polislik politika ve uygulamalarına nasıl meydan okuduğunu analizini yapmış olduğu çalışmada ortaya koymuştur [10]. Kunwadee Sripanidkulchai ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise geniş kapsamlı bir içerik dağıtım ağından canlı akış verileri incelenmiştir. İncelenen verilerin bugüne kadar internet'teki çalışılmış olan en kapsamlı canlı yayın verileri olduğunu iddia etmektedirler [11]. Zhicong Lu ve arkadaşları tarafından sunulan çalışmada, bazı canlı yayın platformlarının kullanımının araştırılması ve çalışma kapsamında çeşitli raporaj verilerine ulaşılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, yayımlanan farklı içerik kategorilerini ve bu içeriğin farklı boyutlarının izleyicileri nasıl etkilediğini ortaya koymuştur [12].

1.4 Makale Organizasyonu

Canlı yayın platformlarının adli inceleme ve analizi üzerine gerçekleştirilen çalışma 4 alt bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, canlı yayın platformları hakkında genel bilgi ve araştırma kapsamında gerçekleşen motivasyon ve uygulamalardan bahsetmektedir. İkinci bölüm adli inceleme yapılan dört adet canlı yayın platformu uygulamasının ve ön bellek incelemesinin nasıl yapıldığına yönelik olarak inceleme yöntem ve metodolojisinden bahsetmektedir. Üçüncü bölüm, canlı yayın uygulamalarına erişim sağlanan üç farklı internet tarayıcısı test ve bulgular sonuçları ile birlikte internet tarayıcıları arasında adli inceleme sonuçlarına yönelik olan karşılaştırma tablosunu içermektedir. Dördüncü bölümde, farklı internet tarayıcıları ile erişim sağlanan farklı canlı yayın platformlarının adli inceleme ve araştırma sonucu elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

2 Yöntem ve Metodoloji

Çalışmada Periscope, YouTube, Facebook ve Twitch canlı yayın platformlarının adli analizinin yapılabilmesi için öncelikle her bir platform için sanal bilgisayar kullanılmıştır. Her sanal bilgisayar için 4GB bellek alanı ve 2GB depolama alanı oluşturulmuştur. Her sanal bilgisayar üzerinde Google Chrome, Mozilla Firefox ve Microsoft Edge internet tarayıcıları yapılandırılmaları gerçekleştirilmiş ve canlı yayın platformlarında kullanıcı oturumları açılarak canlı yayın yapılması sağlanmıştır. Çalışmada canlı yayın platformlarının kullanımı canlı yayın sahibi ve canlı yayın izleyicisi olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Farklı internet tarayıcıları aracılığı ile kullanılan farklı canlı yayın platformlarının üzerinde gerçekleştirilen eylemler sonrasında sanal olarak oluşturulan bilgisayarların FTK Imager adli kopya alma programı aracılığı ile imajları alınmıştır. Her bir sanal bilgisayar Magnet ve Autopsy adli inceleme programları ile analiz edilmiştir. Adli inceleme sonucu, incelemesi yapılan imaj dosyalarında internet tarayıcıları üzerindeki bulgular, bilgisayar erişim verileri analiz edilmiş, tarayıcılar üzerinden erişilebilen bulgular ve canlı yayın platformları üzerinden erişilebilen bulgular ışığında internet tarayıcılarından ve platformlardan elde edilebilen bulgular kategorik olarak karşılaştırılarak çalışmanın test ve bulgular kısmında paylaşılmıştır.

2.1 Periscope

Periscope, kullanıcıların video içeriği yayınlayıp ya da hali hazırda yayında olan video akışlarına izleyici olarak katılabilecekleri bir canlı yayın hizmeti sunan canlı yayın uygulamasıdır. Platforma mobil ortamlar aracılığı ile erişim sağlanabildiği gibi internet tarayıcıları aracılığıyla da erişim sağlanabilmektedir. Periscope uygulaması üzerinde gerçekleşen canlı yayın akışlarına kullanıcı girişi yapmaksızın pasif olarak erişim sağlanabilmektedir. Canlı yayın açmak için aktif olarak kullanıcı oturumu açılması gerekmektedir [13].

2.2 Youtube

Youtube, kullanıcıların çeşitli video içerikleri izleyebileceği ve kullanıcı oturumu açtıktan sonra kişisel kanal adı verilen ortam üzerinden kendi içeriklerini paylaşabilmesine olanak sağlayan sosyal medya platformudur. Youtube platformu üzerinden paylaşılan içeriklere erişebilmenin yanında kullanıcı oturumu açılmadan canlı yayınlara erişilebilmektedir. Kullanıcı oturumu açıldığı takdirde erişilen canlı yayın akışlarına yorumlar ile aktif katılım sağlanabilmektedir. Kullanıcı oturumu açan her Youtube kullanıcısı platform üzerinden canlı yayın başlatabilmektedir [14].

2.3 Facebook

Facebook, kişiler arası aktif olarak iletişim sağlamak amacıyla kullanılan durum güncellemesi, video resim vb. medya paylaşımı yapmak, paylaşımlara yorum yapabilmek ve kullanıcılar arasında anlık sohbet imkânı sağlayan sosyal medya platformudur. Facebook platformu da kullanıcılarına canlı yayın içerikleri paylaşabilme imkânı sunmaktadır. Kullanıcı oturumu açan her kullanıcı platform üzerinde canlı yayın başlatabilmektedir. Canlı yayın içeriğini takip eden kullanıcıların oturum açma zorunluluğu bulunmamaktadır [15]. Facebook platformu da diğer canlı yayın platformlarında olduğu gibi kullanıcılar ile canlı yayın arasında interaktiviteye olanak sağlamak, canlı yayın akışı sırasında yorum ve simge ifadeleri ile kullanıcıların canlı yayına katkı sunması mümkün olabilmektedir [16].

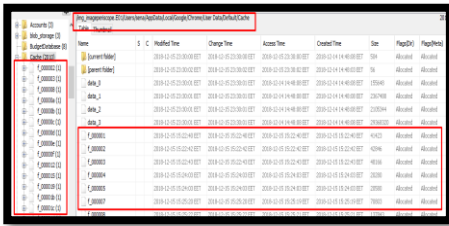
2.4 Twitch

Twitch platformu kullanıcıların aktif olarak giriş yaparak video içeriği yayımlayabildiği, aktif ya da pasif olarak yayında olan video akışlarına izleyici olarak katılım sağlayabildiği canlı yayın platform uygulamasıdır. Platform erişimi IOS ve Android tabanlı mobil uygulamalar ile yapılabildiği gibi bilgisayar aygıtlarında standart bir web tarayıcısı aracılığıyla sağlanabilmektedir [17]. Twitch platformu da diğer canlı yayın platformları ile benzer şekilde yorum bölümü kısmında aktif olarak yorum yapabileceği ve durum simgesi bırakabilme imkânı sağlamaktadır [18].

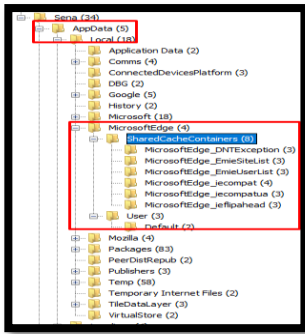
2.5 İnternet Tarayıcı Ön Belleği

İnternet tarayıcı ön belleği internet sitelerinin daha hızlı yüklenmesi amacıyla oluşturulmuş olan geçici depolama yapılan alan olarak tanımlanmaktadır [19]. Tarayıcı ön belleği, uygulama sunucusundan talep edilen içerik ile ilgili dosyaların bilgisayar hafızasına kaydederek, tekrar internet sunucusuna bağlanıp oradan indirmek yerine yerel hafızadan dosyaların çağrılmasına olanak tanımaktadır [20]. Ön bellek alanında uygulamaya ait yazı stillerini barındıran CSS dosyası, uygulamaya ait metin dili dosyası (Html), çeşitli güvenlik kontrolleri için ve hareketli menüler oluşturabilmek için kullanılan ve istemci tarafında çalışan script (js) dosyaları, uygulamada içinde barındırılan resim ve müzik (Jpeg, Png, Mp4 vb.) gibi medya dosyaları, indirilebilir dosya içerikleri (Docx, Pdf, Zip vb.) tutulmaktadır. İnternet tarayıcılarının adli

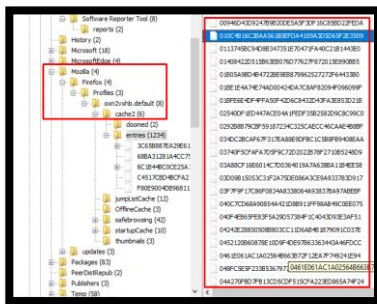
incelemeleri yapılırken genel olarak internet kalıntıları ve ön bellek analizi önemli bulgulara erişilebilmeye olanak sağlamaktadır [21]. İncelemesi yapılan tarayıcı ön bellekleri ile daha önce tarayıcı üzerinde gerçekleşmiş video izleme, resim, durum simgeleri, yorum sohbetleri vb. etkinliklere erişim sağlanabilmektedir. İnternet tarayıcıları ön bellek dosyalarını farklı şekillerde isimlendirerek farklı dosya konumlarında saklamaktadırlar [22]. Tarayıcıların kullanımını ile aktif olarak kaydedilen ön bellek dosyaları kaydedilen dosyanın resim, video vb. türüne göre farklı mantıklar ile isimlendirilerek ve sıralanarak kaydedilmektedir. Google Chrome tarayıcısı ön bellek dosya dizimi Şekil 1, Microsoft Edge tarayıcısı ön bellek dosya dizimi Şekil 2, Mozilla Firefox tarayıcısı ön bellek dosya dizimi Şekil 3 ile gösterilmektedir.



Şekil 1. Google Chrome tarayıcı ön bellek dosya dizimi.



Şekil 2. Microsoft Edge tarayıcı ön bellek dosya dizimi.



Şekil 3. Mozilla Firefox tarayıcı ön bellek dosya dizimi.

3 Test ve Bulgular

Bu çalışmada, Periscope, Twitch, Youtube ve Facebook canlı yayın platformlarının Google Chrome, Mozilla Firefox ve Microsoft Edge internet tarayıcıları üzerindeki bulguları analiz edilmiştir. Oluşturulan sanal makineler üzerinde canlı yayın platformlarına internet tarayıcıları üzerinden giriş yapılmış, kullanıcı olarak canlı yayın izleme, yayın için yorum yapma gibi platformun özellikleri kullanılmıştır. Yine canlı yayın platformlarında

canlı yayın yaparak yapılan canlı yayına ait internet tarayıcılarındaki bulguların analiz edilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan sanal makineler için imaj dosyaları Ftk imager adlı kopya alma programı ile alınmıştır. İmajlar üzerinde bulgulara erişilebilmek için Magnet ve Autopsy adlı inceleme yazılımları kullanılmıştır. Farklı tarayıcılar üzerinden kullanıcı gerçekleştiren canlı yayın uygulamalarının incelemeleri, tarayıcı ön bellek ve internet kalıntılarının incelemesi ile gerçekleştirilmiştir. İncelemesi yapılan adli kopyalardan, delil niteliği taşıyacak ses, video, resim vb. medya verileri, canlı yayın esnasında gerçekleşen durum yorum ve durum simge bilgileri gibi bilgilere erişilmiştir. Adli inceleme gerçekleşen farklı canlı yayın platformları ve farklı tarayıcıların inceleme sonuçları karşılaştırmaları bir şekilde sunulmuştur.

3.1 Google Chrome İnternet Tarayıcısına Ön Bellek Analizinden Elde Edilen Bulgular

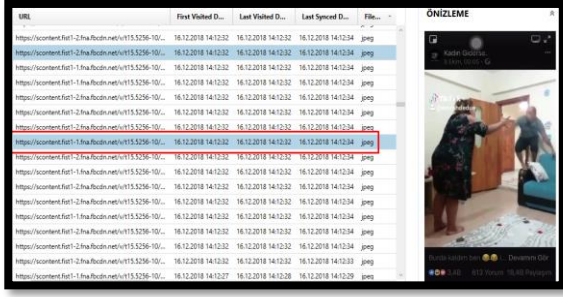
Canlı yayın platformları için gerçekleştirilen analiz için oluşturulan sanal makinede Windows 10 işletim sistemi kullanılmıştır. Google Chrome internet tarayıcısı üzerinden Facebook, Twitch, Youtube ve Periscope platformlarına öncelikli olarak kullanıcı oturumu açmadan erişim sağlanmış ve platformlar üzerinden canlı yayın erişimleri sağlanmıştır. Yine aynı platformlarda kullanıcı oturumu açılarak canlı yayınlara erişim sağlanmış, canlı yayınlara platform üzerinden yorum, beğeni gibi aktiviteler gerçekleştirilmiştir. Platform üzerinden üçüncü aşamada ise bir canlı yayını başlatılmış, canlı yayına kullanıcıların erişimi sağlanmıştır. Üç uygulamada içinde ayrı ayrı imajlar alınarak üç farklı durum için Google Chrome internet tarayıcısı üzerindeki bulguların analizi yapılmıştır. Adli analiz sonucunda, izlenilmiş olan canlı yayınların, kısa videolar şeklinde canlı yayın içerik bilgisi, erişim tarih ve saat bilgisi, canlı yayın başlık bilgisi, yayın sırasında gerçekleşen yorum ve simge bilgileri, canlı yayın izlenme sayısı, canlı yayına erişim sağlayan kullanıcı bilgisi, link adres bilgisi gibi canlı yayın uygulamasında gerçekleşen etkinlikler ile ilgili bulgulara erişilebilmiştir. Google Chrome tarayıcısı üzerinden elde edilen delil niteliği taşıyan bulgular Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 4'te Youtube canlı yayın platformunun Google Chrome internet tarayıcısından erişimi sonucu elde edilen bulgular gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi canlı yayına erişim zamanı kullanıcı bilgileri, canlı yayın erişim linki gibi kanıt niteliği taşıyabilecek bulgulara erişilebildiği görülmüştür.

Name	Date Created...	Value	Count	Kaynak
email	21.12.2018 16:00:23	deniz.demir.2327@gmail.com	1	youtube_image
email	21.12.2018 16:00:44	deniz.demir.2327@gmail.com	1	youtube_image
46432_92990p_46432_92990	21.12.2018 17:32:42	deci	1	youtube_image
46432_92990p_46432_92990	21.12.2018 17:32:42	+000000004552500	1	youtube_image
46432_92990p_46432_92994	21.12.2018 17:32:42	Student	1	youtube_image
46432_93000p_46432_93000	21.12.2018 17:32:42	Firat University	1	youtube_image
46432_92990p_46432_92992	21.12.2018 17:32:42	demir	1	youtube_image
46432_92990p_46432_92996	21.12.2018 17:32:42	deniz.demir.2327@gmail.com	1	youtube_image

Şekil 4. Youtube canlı yayın platformu kullanıcı hesap bilgileri.

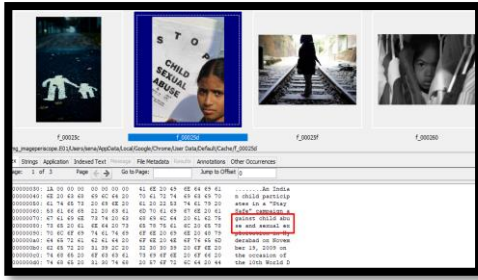
Şekil 5'de Facebook canlı yayın platformuna Google Chrome internet tarayıcısı üzerinden erişim ile ilgili bulgular gösterilmektedir. İmaj dosyası üzerinde

gerçekleştirilen adli analiz sonucunda canlı yayına ait erişim linki, ilk ve son erişim zaman damgaları, dosya türü gibi bulgulara ulaşılabildiği görülmüştür.



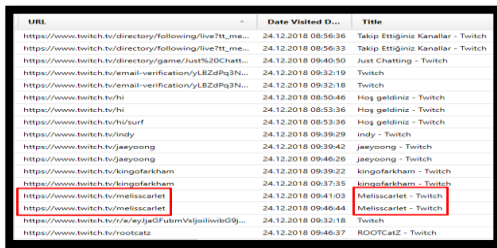
Şekil 5. Facebook canlı yayın içeriğine dair bulgular.

Şekil 6'da Periscope canlı yayın platformunun Google Chrome internet tarayıcısı üzerinde bıraktığı bulgular gösterilmektedir. Gerçekleştirilen Google Chrome ön bellek dosyalarının hex editör üzerinden yapılan incelemesinde yapılan yayınlar ile ilgili başlık ve resim türündeki medya verilerine erişilmiştir. Ayrıca hex editör üzerinde yayın ile ilgili kategori verileri ve yorumlara yönelik kanıt niteliği taşıyabilecek bulgulara erişilebildiği görülmüştür.



Şekil 6. Hex editörde Periscope canlı yayın uygulaması başlık ve resim türündeki ön bellek bulguları.

Şekil 7'de Twitch canlı yayın platformunun Google Chrome internet tarayıcısı ön belleğinde bıraktığı izler görülmektedir. İnceleme sonuçlarından canlı yayın başlık ve erişim linki, erişim zaman damgası, kategori verilerine ait kanıt niteliği taşıyabilecek bulguların elde edilebildiği görülmüştür.

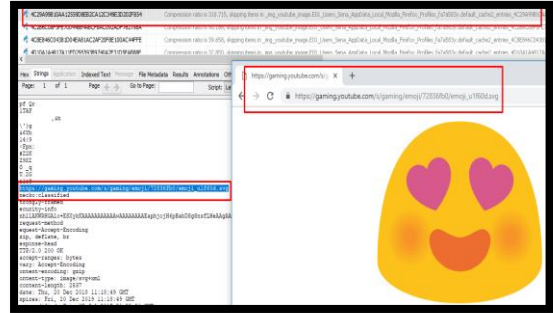


Şekil 7. Twitch canlı yayın uygulaması erişilen başlık ve link adresi bulguları.

3.2 Mozilla Firefox İnternet Tarayıcısına Ön Bellek Analizinden Elde Edilen Bulgular

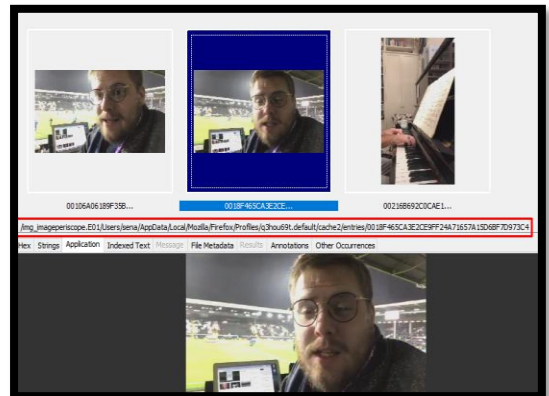
Canlı yayın platformlarına ait adli analizin yapılabilmesi için Google Chrome analizinde olduğu gibi üç farklı senaryo ışığında eylemler gerçekleştirilerek her

senaryoya ait imaj dosyaları alınmıştır. Bu kapsamda öncelikli olarak kullanıcı oturumu açmadan canlı yayınlar izlenmiş, ikinci olarak kullanıcı oturum açıldıktan sonra canlı yayınlar izlenmiş ve etkileşim sağlanmış, son olarak ise kullanıcı oturumu açıldıktan sonra canlı yayın yapılmış ve diğer kullanıcılar ile etkileşim sağlanmıştır. Alınan imaj dosyaları üzerinden Mozilla Firefox internet tarayıcısı ön bellek analizi yapılarak elde edilen bulgular ortaya konmuştur. Mozilla Firefox internet tarayıcısının ön bellek analizinde izlenilmiş ya da açılmış olan canlı yayınların, içeriğine yönelik olarak içerik bilgisi, erişim tarih ve saat bilgisi, canlı yayın başlık bilgisi, yayın sırasında gerçekleşen yorum ve simge bilgileri, canlı yayın izlenme sayısı, canlı yayına erişim sağlayan kullanıcı bilgisi, link adres bilgisi gibi canlı yayın uygulamasında gerçekleşen etkinlikler ile ilgili bulgulara erişilebildiği görülmüştür. Tarayıcılar üzerinde yapılan adli incelemeler sonucunda, delil niteliği taşıyacak verilerin sayısının en çok Mozilla Firefox tarayıcısından elde edildiği görülmüştür. Tarayıcı ön bellek analizinden elde edilen delil niteliği taşıyabilecek Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekil 8'de Youtube canlı yayın platformunun Mozilla Firefox internet tarayıcısı ön bellek dosyalarının analizinden elde edilen bulgular gösterilmektedir. Tarayıcı ön bellek analizi ile erişim sağlanan canlı yayın linkleri, http paket içeriği, resim, video içerikleri, kullanıcı bilgilerine ait bulgulara erişilebildiği görülmektedir.



Şekil 8. Hex editörde Youtube canlı yayın uygulaması simge ve yorum türündeki ön bellek bulguları.

Şekil 9'de Periscope canlı yayın platformuna Mozilla Firefox internet tarayıcısı ile sağlanan erişimlere ait bulgular görülmektedir. Tarayıcı ön bellek analizi ile canlı yayın ID bilgisi, erişim linki, canlı yayına ait küçük resimlere (thumbnail) erişilebildiği görülmektedir.

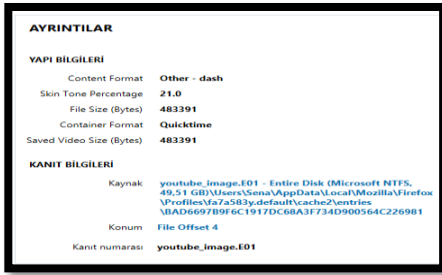


Şekil 9. Periscope canlı yayın içeriğine dair bulgular.

Şekil 10 ve Şekil 11’de Youtube canlı yayın platformuna Mozilla Firefox internet tarayıcısı ile erişim sonucu ön bellek dosyalarından elde edilen bulgular gösterilmektedir. Tarayıcı ön bellek analizinde canlı yayın videoları ve video kareleri, dosya bilgileri, erişim link bilgisi, dosya format ve boyut bilgisi gibi kanıt niteliği olabilecek bulgulara erişilebildiği görülmüştür.



Şekil 10. Youtube canlı yayın içeriğine dair bulgular.



Şekil 11. Youtube canlı yayın içeriğine dair bulguların dosya konumu.

3.3 Microsoft Edge İnternet Tarayıcısına Ön Bellek Analizinden Elde Edilen Bulgular

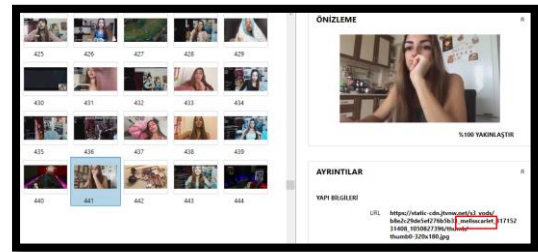
Periscope, YouTube, Facebook ve Twitch canlı yayın platformlarına yönelik olarak Microsoft Edge internet tarayıcısında da benzer şekilde üç senaryo ışığında eylemler gerçekleştirilerek sanal makinelerin imajları alınmıştır. Bu kapsamda öncelikle internet tarayıcılarından kullanıcı oturumu açmadan canlı yayınlara katılım sağlanmıştır. İkinci aşamada kullanıcı oturumu açarak canlı yayınlara katılım ve etkileşim sağlanmıştır. Üçüncü aşamada ise kullanıcı olarak canlı yayın açılmış ve canlı yayına diğer kullanıcıların katılımı sağlanmıştır. Gerçekleştirilen işlemler sonucunda makinelerin imajları alınarak adli analiz için Autopsy ve Magnet Forensic yazılımları ile veri kazıma yapılmış elde edilen bulgular ortaya konmuştur. Yapılan inceleme sonucunda Microsoft Edge internet tarayıcısından Youtube ve Facebook canlı yayın platformlarından kanıt niteliği taşıyabilecek bulguların elde edilemediği görülmüştür. Periscope ve Twitch ile yapılan işlemlerin Microsoft Edge internet tarayıcısı ön belleğinde bıraktığı

izler incelendiğinde ise canlı yayınlara ait tarih ve saat bilgileri, kısmen canlı yayın başlık bilgisi, erişim sağlayan kullanıcı bilgileri, katılım sağlanan link ve tarayıcı geçmiş bilgilerine erişim sağlanabildiği görülmüştür. Şekil 12’de Periscope canlı yayın platformunun Microsoft Edge tarayıcısının ön bellek dosyalarının inceleme sonuçlarından elde edilen kullanıcı hesap bilgisi, erişim link bilgisi, erişim zaman bilgisi, site erişim sayısı bilgisi gibi kanıt niteliği sayılabilecek bulguların geldiği gösterilmektedir.

User	URL	Accessed Date...	Access Count	Kaynak
senia	https://www.periscope.com/01b1a01adana1/12k2kDwveGv	15.12.2018 20:33:42	27	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/01b1a01adana1/12k2kDwveGv	15.12.2018 20:33:50	2	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/01b1a01adana1/12k2kDwveGv	15.12.2018 20:33:41	1	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/01b1a01adana1/12k2kDwveGv	15.12.2018 20:33:42	27	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/01b1a01adana1/12k2kDwveGv	15.12.2018 20:33:50	2	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/_Muzik_Peris/_18dvYOKP4DdX	15.12.2018 21:28:47	3	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/_Muzik_Peris/_18dvYOKP4DdX	15.12.2018 21:28:47	3	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/_Muzik_Peris/_18dvYOKP4DdX	15.12.2018 21:26:54	8	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/basrn1/tzqKV0emADMGB	15.12.2018 21:30:26	1	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/basrn1/tzqKV0emADMGB	15.12.2018 21:30:28	1	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/basrn1/tzqKV0emADMGB	15.12.2018 21:30:26	1	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/basrn1/tzqKV0emADMGB	15.12.2018 21:30:29	2	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/basrn1/tzqKV0emADMGB	15.12.2018 21:30:28	7	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/basrn1/tzqKV0emADMGB	15.12.2018 21:30:28	7	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/basrn1/tzqKV0emADMGB	15.12.2018 21:30:28	1	imageperiscope.E01
senia	https://www.periscope.com/basrn1/tzqKV0emADMGB	15.12.2018 21:30:28	7	imageperiscope.E01

Şekil 12. Periscope canlı yayın platform bulguları.

Şekil 13’de Twitch canlı yayın platformunun Microsoft Edge internet tarayıcısı ön bellek dosyalarının inceleme sonuçlarından elde edilen canlı yayın içeriğine dair bulgular gösterilmektedir. Microsoft Edge internet tarayıcısının ön bellek incelemesi ile Twitct üzerinden gerçekleştirilen canlı yayına ait küçük resimlere (thumbnail), canlı yayın erişim linkine, erişim linki üzerindeki kullanıcı bilgisine, yayın ID değerine ulaşılabildiği görülmüştür.



Şekil 13. Twitch canlı yayın bulguları.

Çalışma kapsamında Periscope, Twitch, Facebook ve Youtube platformlarından gerçekleştirilen canlı yayınların Google Chrome, Mozilla Firefox ve Microsoft Edge internet tarayıcıları üzerinden kullanımının ardından adli analizi gerçekleştirilerek delil niteliği taşıyabilecek bulgulara ulaşılmıştır. Adli analiz sonucu elde edilen bulgular Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 1. Google Chrome internet tarayıcısından elde edilen bulgular.

	Periscope	Facebook	Youtube	Twitch
Canlı Yayın İçerik / Video Erişimi	Yok	Yok	Var	Yok
Canlı Yayın Erişim Tarih-Saat Bilgisi	Var	Var	Var	Var
Canlı Yayın Başlık Bilgisi	Var	Var	Var	Var
Canlı Yayın Yorum Bilgisi	Yok	Yok	Var	Yok
Canlı Yayın Like -Unlike Bilgisi	Yok	Yok	Var	Yok
Canlı Yayın Emoji Bilgisi	Yok	Yok	Var	Yok
Canlı Yayın Takipçi – İzleme Sayısı	Yok	Yok	Yok	Yok
Canlı Yayın Erişim Kullanıcı Bilgisi	Var	Var	Var	Var
Tekrar Oynatma Bilgisi	Yok	Yok	Var	Yok
Canlı Yayın Link Adresi Bilgisi	Var	Var	Var	Var
Canlı Yayın / Video Kazıma	Yok	Yok	Var	Yok

Tablo 2. Mozilla Firefox internet tarayıcısından elde edilen bulgular.

	Periscope	Facebook	Youtube	Twitch
Canlı Yayın İçerik / Video Erişimi	Yok	Yok	Var	Var
Canlı Yayın Erişim Tarih-Saat Bilgisi	Var	Var	Var	Var
Canlı Yayın Başlık Bilgisi	Var	Var	Var	Var
Canlı Yayın Yorum Bilgisi	Yok	Var	Var	Yok
Canlı Yayın Like -Unlike Bilgisi	Yok	Yok	Yok	Yok
Canlı Yayın Emoji Bilgisi	Yok	Var	Var	Yok
Canlı Yayın Takipçi – İzleme Sayısı	Yok	Yok	Yok	Yok
Canlı Yayın Erişim Kullanıcı Bilgisi	Var	Var	Var	Yok
Tekrar Oynat	Yok	Yok	Var	Yok
Canlı Yayın Link Adresi Bilgisi	Var	Var	Var	Var
Canlı Yayın / Video Kazıma	Yok	Var	Var	Yok

Tablo 3. Microsoft Edge internet tarayıcısından elde edilen bulgular.

	Periscope	Facebook	Youtube	Twitch
Canlı Yayın İçerik / Video Erişimi	Yok	Yok	Var	Var
Canlı Yayın Erişim Tarih-Saat Bilgisi	Yok	Yok	Yok	Var
Canlı Yayın Başlık Bilgisi	Var	Var	Var	Var
Canlı Yayın Yorum Bilgisi	Yok	Yok	Yok	Yok
Canlı Yayın Like -Unlike Bilgisi	Yok	Yok	Yok	Yok
Canlı Yayın Emoji Bilgisi	Yok	Yok	Yok	Yok
Canlı Yayın Takipçi – İzleme Sayısı	Yok	Yok	Yok	Yok
Canlı Yayın Erişim Kullanıcı Bilgisi	Var	Yok	Yok	Var
Tekrar Oynat	Yok	Yok	Yok	Yok
Canlı Yayın Link Adresi Bilgisi	Var	Yok	Yok	Var
Canlı Yayın / Video Kazıma	Yok	Yok	Yok	Yok

4 Sonuç ve Değerlendirme

Adli bilişim incelemeleri kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda delil niteliği taşıyan resim, video vb. medya verileri, kullanıcı bilgileri, erişim tarih ve saat bilgileri gibi bulgulara erişilebilmesi ve incelenmesi ile suç konu olabilecek durumun açıklığa kavuşturulması mümkün olabilmektedir. Teknolojinin gelişimine bağlı olarak sosyal medya platformları her geçen daha da yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaygın kullanımının olumlu etkileri yansıdığı gibi çeşitli suçların oluşumu ve yaygınlaşması gibi olumsuz etkileri de yansıtmaktadır. Çalışmada sık kullanılan canlı yayın platformları üzerinden suç konu olabilecek bir yayın yapıldığında ya da o yayına katılım gösterildiğinde internet tarayıcıları ön bellek alanlarında bıraktığı izler analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında Periscope, YouTube, Facebook ve Twitch canlı yayın platformlarında gerçekleştirilen aktivitelerin Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge internet tarayıcılarında bıraktığı izler analiz edilmiştir. İnternet tarayıcısı ön bellek bulgularında canlı yayın içeriğine erişim bilgileri, canlı yayına erişim zaman damgası bilgileri, canlı yayına ait verilen başlık bilgisi, canlı yayın için yapılan yorumlar, beğeni bilgileri, emoji bilgileri, canlı yayına ait izlenme bilgileri, canlı yayın yapan ya da katılımcılara ait kullanıcı bilgileri, yayının tekrar oynatılma bilgileri ve veri kazıma sonucu gelen veriler analiz edilmiştir. Yapılan çalışma ile canlı yayın platformlarından yapılan yayınlarda suç konu olabilecek durumlara karşın delil niteliği taşıyabilecek bulguların elde edilebildiği görülmüştür.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Garfinkel, S. L. (2010). Digital forensics research: The next 10 years. *Digital investigation*, 7, S64-S73.
- [2] Al Fahdi, M., Clarke, N. L., & Furnell, S. M. (2013, August). Challenges to digital forensics: A survey of researchers & practitioners attitudes and opinions. In 2013 Information Security for South Africa (pp. 1-8). *IEEE*.
- [3] Ayers, R., Brothers, S., & Jansen, W. (2013). Guidelines on mobile device forensics (draft). *NIST Special Publication*, 800, 101.
- [4] Hoog, A. (2011). Android forensics: investigation, analysis and mobile security for Google Android. *Elsevier*.
- [5] Horsman, G. (2018). A forensic examination of the technical and legal challenges surrounding the investigation of child abuse on live streaming platforms: A case study on Periscope. *Journal of information security and applications*, 42, 107-117.
- [6] Horsman, G. (2018). Reconstructing streamed video content: A case study on YouTube and Facebook Live stream content in the Chrome web browser cache. *Digital Investigation*, 26, S30-S37.
- [7] Oh, J., Lee, S., & Lee, S. (2011). Advanced evidence collection and analysis of web browser activity. *Digital Investigation*, 8, S62-S70.
- [8] Horsman, G. (2018). A forensic examination of the technical and legal challenges surrounding the investigation of child abuse on live streaming platforms: A case study on Periscope. *Journal of Information Security and Applications* 42, 107-117.
- [9] Verleg, P. (2014). *Cache Cookies: searching for hidden browser storage*. (Bachelor Dissertation, Radboud University).
- [10] Ndubueze, P. (2017). High-Tech Crimes, Boundaryless policing and cyber security policy in digital Nigeria: A Periscope. *Federal University Dutse, Nigeria*.
- [11] Sripanidkulchai, K., Maggs, B., & Zhang, H. (2004, October). An analysis of live streaming workloads on the internet. In *Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement (pp. 41-54)*.

- [12] Lu, Z., Xia, H., Heo, S., & Wigdor, D. (2018). You watch, you give, and you engage: a study of live streaming practices in China. In *Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-13).
- [13] El-Tayeb, M., Taha, A., & Fayed, Z. T. (2022). Live-Streamed Video Reconstruction for Web Browser Forensics. Retrieved June 22, 2021 from <http://iieta.org/journals/isi>, 27(1), 61-66.
- [14] Kandias, M., Stavrou, V., Bozovic, N., & Gritzalis, D. (2013, November). Proactive insider threat detection through social media: The YouTube case. In *Proceedings of the 12th ACM workshop on Workshop on privacy in the electronic society* (261-266).
- [15] Chu, H. C., Deng, D. J., & Park, J. H. (2011). Live data mining concerning social networking forensics based on a facebook session through aggregation of social data. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 29(7), 1368-1376.
- [16] Umar, R., Yudhana, A., & Faiz, M. N. (2018). Experimental analysis of web browser sessions using live forensics method. *Int. J. Electr. Comput. Eng*, 8(5), 2951-2958.
- [17] El-Tayeb, M., Taha, A., & Fayed, Z. T. (2022). Live-Streamed Video Reconstruction for Web Browser Forensics. *Journal* 27(1), 61-66.
- [18] Liao, Y. C. (2018). Investigating the Use of Online Open Source Information as Evidence in European Courts. In *Proceedings of the 13th International Conference on Availability, Reliability and Security* (pp. 1-6).
- [19] Rathod, D. (2017). Web browser forensics: google chrome. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(7), 896-899.
- [20] Umar, R., Yudhana, A., & Faiz, M. N. (2018). Experimental analysis of web browser sessions using live forensics method. *Int. J. Electr. Comput. Eng*, 8(5), 2951-2958.
- [21] Faiz, M. N., Umar, R., & Yudhana, A. (2016). Analisis Live Forensics Untuk Perbandingan Keamanan Email Pada Sistem Operasi Proprietary. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 8(3), 242-247.
- [22] Rasool, A., & Jalil, Z. (2020). A review of web browser forensic analysis tools and techniques. *Researchpedia Journal of Computing*, 1(1), 15-21.



INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF MONTMORILLONITE NANOCCLAY ADDED LOW DENSITY POLYETHYLENE/POLYSTYRENE/STYRENE BUTADIENE STYRENE POLYMER COMPOSITE

Çağla Ceren Aydın¹ , Gizem Karadirek¹ , Münir Taşdemir^{*1} 

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

In this study; a polymer composite was produced by adding different proportions of polystyrene (PS), styrene ethylene butadiene styrene thermoplastic block copolymer (SBS) and montmorillonite nanoclay into low density polyethylene (LDPE). Six different polymer composites were produced by mixing all materials in a twin screw extruder. Later, standard test samples were molded from the obtained polymer composites by injection molding method. To learn about the various mechanical properties of polymer composite materials obtained; tensile, three point bending, hardness, impact tests were conducted to obtain information about the various mechanical properties of the composite. In addition, in order to see the distribution of nanoclay powders in the matrix, photographs of the broken surfaces obtained from the impact tests were taken with scanning electron microscopy (SEM). According to the results of the tests, with the increase of nanoclay powder ratio in the matrix; elasticity modulus, tensile strength, flexural modulus, maximum bending strength and hardness values were increased but % elongation, impact strength and bending elongation values were found to decrease.

Keywords: Low density polyethylene, nanoclay, mechanical properties, composite material, hardness, impact strength, tensile strength.

MONTMORİLLONİT NANOKİL İLAVE EDİLMİŞ DÜŞÜK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN/POLİSTİREN/STİREN BÜTADİEN STİREN POLİMER KOMPOZİTİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) içerisine farklı oranlarda polistiren (PS), stiren etilen bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri (SBS) ve montmorillonite nanokil katarak bir polimer kompoziti üretilmiştir. Tüm malzemeler çift vidalı ekstrüzyon makinesinde karıştırılarak altı farklı polimer kompoziti elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu polimer kompozitlerinden enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kalıplama yaparak standart test numuneleri basılmıştır. Kompozitin çeşitli mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek için çekme testi, üç nokta eğme testi, sertlik testi ve darbe testleri yapılmıştır. Ayrıca nanokil tozlarının matris içerisinde dağılımlarını görmek için darbe testleri sonucundan elde edilen kırık yüzeylerden taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile fotoğrafları çekilmiştir. Yapılan testlerin sonuçlarına göre, matris içerisinde nanokil toz oranının artmasıyla; elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, eğilme modülü, maksimum eğilme mukavemeti ve sertlik değerlerinin arttığı buna karşılık kopma uzaması, darbe mukavemeti ve eğilme uzaması değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düşük yoğunluklu polietilen, nanokil, mekanik özellikler, kompozit malzeme, sertlik, darbe mukavemeti, çekme mukavemeti.

1 Giriş

Doğal veya yapay iki (veya daha fazla) malzemenin birleşmesiyle elde edilen malzemeye kompozit denir [1]. Günümüzde çok çeşitli polimer kompozitleri elde edilebilmektedir. Polimerlere çeşitli kil ilavesi ile elde edilen polimerik kompozitler günümüzde birçok

uygulamalarda kullanılmaktadır. Maliyetlerinin düşük olması ve kolay elde edilebilmeleri bu uygulamalarda en önemli sebeplerdir [2-3].

Literatür incelendiğinde bu konuda bir çok çalışma olduğu görülmektedir. Örneğin, İskender ve arkadaşları Nanokil/polimer/bitüm nanokompozit hazırlama yönteminin asfalt karışım performansı üzerindeki

* Corresponding author.

E-mail address: munir@marmara.edu.tr (M. Taşdemir)

Received 29 March 2022; Received in revised form 27 October 2022; Accepted 23 November 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1095318>

etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, polimer modifiye asfalt nanokompozit üretiminde polimer ve nanokil eklenme sıralarının nihai asfalt karışımının performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Stren bütadien stiren ve etilen vinil asetat polimerleri nanokil ile birlikte katılma sıraları değiştirilerek yüksek sıcaklıkta karıştırma tekniği ile bitüme ilave edilmiştir. Deneyler sonucunda polimer içerisine nanokil ilavesi ile su hasar direncinin ve ısı çatlama direncinin arttığını belirlemişlerdir [4]. Kaştan ve arkadaşları ise PA₆/YYPE/nanokil kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozit malzemelerin çekme mukavemeti değeri üzerine uyumlaştırıcının çok iyi etkisinin olduğunu yapılan çalışma ile ortaya konmuşlardır. Bunu yanı sıra matris katılan nanokilin çekme mukavemeti üzerinde olumlu etkisinin olduğunu da gözlemlemişlerdir. Özellikle kompozit içerisindeki nanokil oranının artması ile kompozitin çekme mukavemeti değerinin arttığını belirlemişlerdir [5]. Başka bir çalışmada Uzun, düşük yoğunluklu polietilen içerisine kil katarak bir polimer kompoziti üretmiş ve elde ettiği kompozit malzemenin mekanik özelliklerini incelemiştir. Düşük yoğunluklu polietilen içerisindeki kil miktarının artması ile elastiklik modül değerinin arttığını belirlemiştir. Bunun yanı sıra kompozitin akma mukavemeti, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve sertlik değerlerinde de artışın olduğunu belirlemiştir [6]. Taşdemir ve arkadaşları ise yapmış oldukları bir çalışmada polistiren ile yüksek yoğunluklu polietileni, stiren bütadien stiren kopolimeri ile uyumlaştırmaya çalışmışlardır. Polistiren/yüksek yoğunluklu polietilen karışımının mekanik değerleri polistiren/yüksek yoğunluklu polietilen/stiren bütadien stiren polimer alaşımının mekanik değerleri ile karşılaştırıldığında stiren bütadien stiren ilavesi ile elastiklik modülü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinde bir azalmanın meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Buna karşılık stiren bütadien stiren ilavesi ile % uzama ve darbe mukavemeti değerlerinde de artış tespit etmişlerdir [7]. Gümüş çalışmasında cam küre ve nanokil katkılı yüksek yoğunluklu polietilen polimer kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen içerisine nanokil olarak montmorillonite katmıştır. Çalışmasında %20 oranında içi boş cam küre ve %1-5-10 ve 15 oranlarında kil kullanmıştır. Kil oranının artmasıyla elastiklik modül değerinin arttığını buna karşılık çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, sertlik ve % uzama değerlerinin düştüğünü belirlemiştir [8]. Zahang ve arkadaşları; polipropylene kırmızı çamur ekleyerek bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Polipropilen içerisinde kırmızı çamur tozunun artmasıyla gerilme ve eğilme mukavemet değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir [9].

Bu çalışmada; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) içerisine farklı oranlarda polistiren (PS), stiren etilen bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri (SBS) ve montmorillonite nanokil katarak bir polimer kompoziti üretilmiştir. Kompozitin çeşitli mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek için çekme testi, üç nokta eğme testi, sertlik testi ve darbe testleri yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçlarına göre, matris içerisinde nanokil toz oranının artmasıyla; elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, eğilme modülü, maksimum eğilme mukavemeti ve sertlik değerlerinin

arttığı buna karşılık kopma uzaması, darbe mukavemeti ve eğilme uzaması değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.

2 Materyal ve Metot

2.1 Kompozisyon ve Malzemeler

Düşük yoğunluklu polietilen içerisine katılan polistiren, stiren bütadien stiren ve nanokil oranları değiştirilerek altı farklı grup elde edilmiştir. Hazırlanan LDPE/PS/SBS/nanokil polimer kompozitinin karışım oranları Tablo 1’ de verilmiştir. Bu tablodaki oranların belirlenmesi için literatürler incelenmiş ve optimum oranlar oluşturularak gruplar belirlenmiştir. Kullanılan düşük yoğunluklu polietilen H2-8 kodlu Petkim tarafından üretilen polimerdir. Yoğunluğu 0,918-0,922 g/cm³ tür. Erime akış hızı (2,16 kg-190 °C) 1,7-3,0 g/10 dak arasındadır. Vicat yumuşama sıcaklığı 80 °C ve akma gerilme dayanımı ise 80 kg/cm²’ dir. Kullanılan nanokil yüzey modifiyeli kil (onium ion modifiyeli montmorillonite kil) ağırlıkça % 55-65 montmorillonite kil ve % 35-45 dimethyl dialkyl (C14-18) ammonium’ dan oluşmaktadır. Stiren bütadien stiren ise LLC (USA) tarafından üretilen Kraton D-1184 kodlu üründür. Yoğunluğu 0,938 g/cm³ ve stiren oranı ise %30’ dur.

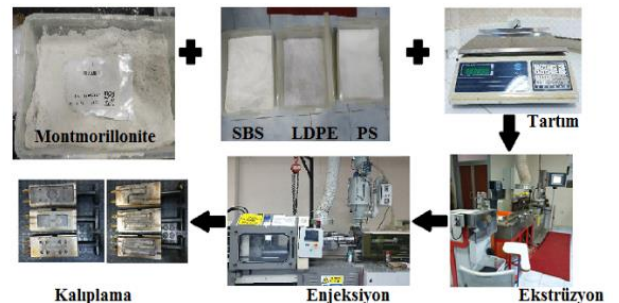
2.2 Numune Hazırlama

Düşük yoğunluklu polietilen, polistiren, stiren etilen bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri ve montmorillonite nano kili, Yamato ADP-31 tipi fırın içerisinde 105 °C’ de 8 saat boyunca kurutulmuştur. Şekil 1’ de bu deneysel çalışmanın aşamaları verilmiştir.

Nanokil tozları ve düşük yoğunluklu PE, PS ve SBS granülleri Patterson marka karıştırıcıda yirmi dakika süresince fiziksel olarak karıştırılmıştır. Bir sonraki aşamada ise Mikrosan marka çift vidalı ekstrüderde 25-30

Tablo 1. LDPE/PS/SBS/montmorillonite nanokil polimer kompozitinin karışım oranları (ağırlıkça).

Grup	LDPE (%)	PS (%)	SBS (%)	Montmorillonite Nanokil
1	100	-	-	-
2	50	50	-	-
3	45	45	10	-
4	40,5	40,5	9	10
5	36	36	8	20
6	31,5	31,5	7	30



Şekil 1. LDPE/PS/SBS/montmorillonite nanokil polimer kompozitinin deneysel çalışma aşamaları.

bar basınç altında, 25 dev/dak vida dönüş hızı ve 180-210 °C arasında bulunan sıcaklıklarda eritilerek karışımları gerçekleştirilmiştir. Buradan çıkan granüller enjeksiyonla kalıplama öncesinde tekrar kurutma fırınında 24 saat boyunca 105°C’de kurutulmuştur. Son olarak enjeksiyon

makinesinde standart test numuneleri basılmıştır. Tablo 2’de ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. LDPE/PS/SBS/montmorillonit nanokil polimer kompozitinin ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama parametreleri.

İşlem	Ekstrüzyon	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	180–210	180–210
Basınç (bar)	25-30	100–110
Kalıpta bekleme süresi (sn)	-	15
Vida hızı (dev/dak)	25	25
Kalıp sıcaklığı (°C)	-	35-40
Sıcaklık (°C)	180–210	180–210

2.3 Karakterizasyon

Mekanik özellikleri belirlemek için her grup için beş adet numune test edilmiş ve aritmetik ortalamaları verilmiştir. Çekme testleri Zwick Z010 test makinesi kullanılarak ASTM D638 standartlarına göre 50 mm/dak. çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Üç nokta eğme testi yine Zwick Z010 test makinesi kullanılarak ASTM D 790 ‘a göre yapılmıştır. Sertlik testi Zwick sertlik ölçüm cihazı ile ASTM D2240 yöntemine göre yapılmıştır. Çentikli Izod darbe testleri Zwick marka darbe test cihazı ile ASTM D256 yöntemine göre oda sıcaklığında yapılmıştır. Numunelerin yoğunlukları ISO 1183-1 (yöntem A) test yöntemine göre yapılmıştır. Darbe numunelerinden elde edilen kırık yüzeyler Polaron marka kaplama cihazında altın/paladyum alaşımı ile kaplanmıştır. 10 nm kalınlığındaki bu kaplama elektriksel yüklemeyi önlemek için yapılmıştır. Daha sonra numuneler 15 kV altında Jeol marka taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Şekil 2’ de bu çalışmada kullanılan test cihazları verilmiştir. Şekil 3’de ise test öncesi ve sonrası numuneler ve ölçüleri verilmiştir.



Çekme cihazı

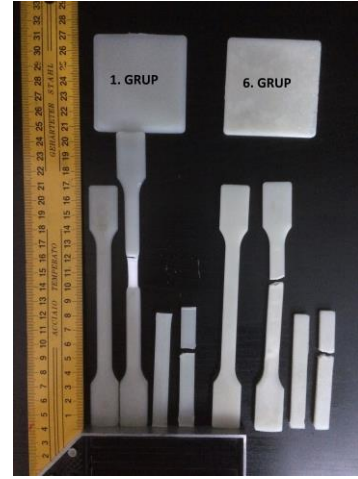
Sertlik cihazı

SEM



Darbe cihazı

Şekil 2. LDPE/PS/SBS/montmorillonit nanokil polimer kompozitinin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test cihazları.



Şekil 3. Test öncesi ve sonrası numuneler ve ölçüleri (Darbe ve eğilme numunesi ölçüleri:80x10x4 mm, çekme ve sertlik test numune kalınlığı 4 mm’dir.).

3 Bulgular ve Tartışma

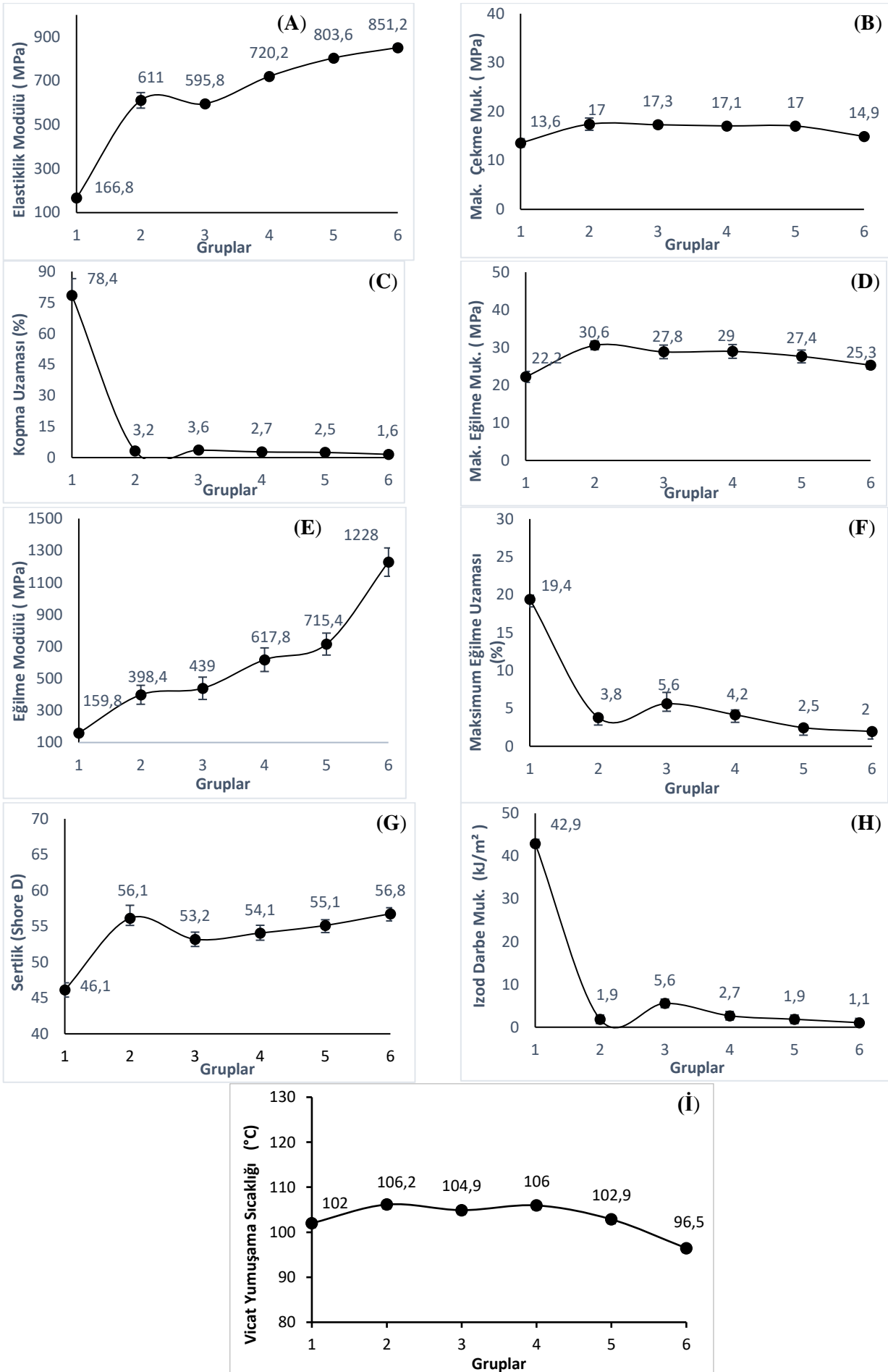
3.1 Mekanik Özellikler

Düşük yoğunluklu polietilenin içerisine farklı oranlarda polistiren, stiren bütadien stiren ve montmorillonite nano kili katılmasıyla elde edilen polimer kompozitinin çekme testi sonucu elde edilen elastiklik modül değerleri şekil 4A’ da verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi matris içerisine PS, SBS ve nanokil ilavesiyle kompozitin elastiklik modül değerinin arttığı görülmektedir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin elastiklik modül değeri 166,8 MPa olarak ölçülmüşken matrise ağırlıkça %50 oranında PS katıldığında bu değer artarak yaklaşık 611 MPa’ a çıktığı tespit edilmiştir. Bu durumun PS’nin rijit karakterde olmasından kaynaklanmaktadır. %10 oranında SBS ilave edildiğinde ise bu değer 595,8 MPa olduğu görülmektedir. % 30 montmorillonite eklendiğinde ise bu değer artarak 851,2 MPa’ a çıktığı tespit edilmiştir. Kaştan ve arkadaşları [5] yapmış oldukları bir çalışmada poliamid-6 (PA6) ile yüksek yoğunluklu polietileni (YYPE) karıştırmışlardır. Bu iki polimer uyumsuz olduklarından uyumlaştırıcı olarak melaik anhidrit ile aşılansız polietilen (PE-g-MA) kullanmıştır. Bunlara ek montmorillonit nanokili karışıma ilave edilmiş ve hazırlanan kompozitlerin içerisindeki uyumlaştırıcının ve montmorillonit nanokilinin kompozitin özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Kompozitlere elastiklik modülü, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, sertlik gibi mekanik testler uygulanmıştır. %5 montmorillonit nanokil ilavesi ile PA₆/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) malzemesi için elastiklik modül değeri %77 oranında artış göstermiştir. Sonuçlar Kusmono ve ark. [10] ile Touchaleaume ve arkadaşlarının [11] yapmış oldukları çalışmalarla da benzerlik göstermektedir. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin maksimum çekme mukavemeti değerleri Şekil 4B’ de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin mak. çekme mukavemeti değerinin 13,6 MPa olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistirenin ilavesi bu değeri 17 MPa’ la çıkartmıştır. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü polistiren, düşük yoğunluklu polietilene kıyasla daha rijit

karakterdedir. Düşük yoğunluklu polietilen matris içerisinde montmorillonite oranının %30 oranında olması çekme mukavemeti değerinde az da olsa bir azalmanın olmasına yol açmıştır. Kaştan ve arkadaşları [5] yapmış oldukları bir çalışmada PA₆/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) karışımına %5 montmorillonit nanokil ilavesi ile çekme mukavemeti değerinin %15 oranında arttığını belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada Taşdemir ve arkadaşları [12] akrilonitril bütadien stiren içerisinde bir kil olan kırmızı çamur tozlarını katarak bir polimer kompoziti elde etmişler ve kompozitin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Kırmızı çamur tozunun oranının artmasıyla elastik modülü ve çekme mukavemeti değerlerinin de arttığı belirlenmiştir.

LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin kopma uzaması değerleri Şekil 4C' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin kopma uzama değerinin %78,4 olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu değer %3,2' ye düşmüştür. Polistiren, düşük yoğunluklu polietilene nazaran daha sert ve rijit karakterde olması nedeniyle kopma uzaması değerinde azalma meydana gelmiştir. Kompozite montmorillonite ilavesiyle bu değer bir miktar daha düşmüş ve son grupta %1,6 değerine gelmiştir. Kısacası LDPE içerisine PS ve montmorillonite ilavesi kopma uzama değerini ciddi derecede düşürmüştür. Literatürde de benzer sonuçlar bulunmaktadır. Kaştan [5] yapmış olduğu bir çalışmada kompozite eklenen %1 oranındaki nanokilin ilavesiyle kopma uzama değerinin %13,3 oranında azaldığını belirlemiştir. Başka bir çalışmada Taşdemir [12] ABS'ye ilave edilen kırmızı çamur tozunun oranının artmasıyla kopma uzama değerinin azaldığını belirlemiştir. Scarrafo ve ark. [13] yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçları bulmuştur. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin eğilme mukavemeti değerleri Şekil 4D' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin eğilme mukavemeti değerinin 22,2 MPa olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi ile bu değer 30,6 MPa 'ya çıkmıştır. Kompozitin içerisindeki montmorillonite oranlarının artmasıyla bu değerde bir miktar daha düşme olmuştur. %30 montmorillonite ilavesinde bu değer 25,3 MPa olarak ölçülmüştür. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin eğilme modül değerleri Şekil 4E' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin eğilme modül değerinin 159,8 MPa olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu değeri 398,4 MPa 'ya çıkarmıştır. Kompozit içerisindeki montmorillonite oranlarının %30 artmasıyla bu değer ciddi oranda artarak 1228 MPa 'la çıkmıştır. Dayma ve arkadaşlarının [14] yapmış oldukları çalışma ile burada elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Bu durumu yapıya ilave edilen nanokilin polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlaması ile açıklamışlardır. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin eğilme uzama değerleri Şekil 3F' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin eğilme uzama değerinin %19,4 olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu

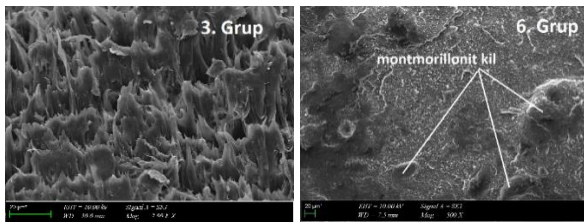
değeri %3,8' e düşmüştür. 3. Grupta SBS oranının artmasıyla eğilme uzama değeri bir miktar artarak %5,6 'ya çıkmıştır. Fakat kompozitin içerisindeki montmorillonite oranının artışıyla darbe eğilme mukavemeti değeri tekrar düşüş göstererek son grupta %2 seviyesine inmiştir. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin sertlik değerleri Şekil 4G' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin sertlik değerinin 46,1 Shore D olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu değeri 56,1 Shore D değerine çıkarmıştır. 3. Grupta SBS oranının artmasıyla Shore D değeri 53,2 'ye düşmüştür. Çünkü SBS ilavesiyle yapı burada daha yumuşak bir hal almıştır. Fakat kompozitin içerisindeki montmorillonite oranının artışıyla sertlik değeri tekrar yükseliş göstererek son grupta 56,8 değerine çıkmıştır. Bulgular Kumar ve arkadaşları [15] ile Srinath ve arkadaşlarının [16] yapmış oldukları çalışmalar ile uyumluluk göstermektedir. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin Izod darbe mukavemeti değerleri Şekil 4H' de verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf düşük yoğunluklu polietilenin darbe mukavemeti değerinin 42,9 kJ/m² olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu değer 1,9 kJ/m² 'ye düşmüştür. Bu da polistirenin rijit karakterde olmasından kaynaklanmaktadır. 3. Grupta SBS oranının artmasıyla Izod darbe mukavemeti değeri bir miktar artarak 5,6 kJ/m² 'ye çıkmıştır. Fakat kompozitin içerisindeki montmorillonite oranının artışıyla darbe mukavemeti değeri tekrar düşüş göstermiştir. Taşdemir [12] yapmış olduğu bir çalışmada da benzer sonuç bulunmuştur. Akrilonitril bütadien stiren içerisindeki kırmızı çamurun oranının artmasıyla Izod darbe mukavemeti değerlerinin düştüğünü belirlemiştir. Han ve arkadaşları [17] yüksek yoğunluklu polietilen içerisine bambu ve değişik miktarlarda montmorillonite nanokil ekleyerek mekanik özelliklerdeki değişimi ve kil dağılımını incelemişler. Kil oranı arttıkça darbe mukavemetinin azalmasını kilin kompozit içinde kümeleşmesine ve boşlukların varlığına dayandırmışlardır. Şekil 4I'ya bakıldığında düşük yoğunluklu polietilen içerisine %50 oranında polistiren ilavesi ile vicat yumuşama sıcaklık değerinin arttığı görülmektedir. Daha sonra karışıma %10 oranında SBS' nin ilavesiyle bu değerde bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Karışım içerisine %10 montmorillonit nanokilin ilavesi ile Vicat yumuşama sıcaklık değeri artmış, fakat Nanokil yüzdesi %20 ve 30'a çıkarıldığında Vicat yumuşama sıcaklığı değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Gümüş, B.[18] yapmış olduğu bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine cam küre ve montmorillonit katmıştır. Elde ettiği polimer kompoziti içerisinde kil miktarının artmasıyla Vicat yumuşama sıcaklığı değerlerinin de düştüğünü belirlemiştir. Taşdemir, M., ve arkadaşları [19] bir çalışmada polipropilen içerisine kil ve Mg(OH)₂ katıp süper kritik şartlarda CO₂ gazı emdirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kil miktarının artışıyla Vicat yumuşama değerinde azalmanın olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 4. LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin mekaniksel özellikleri.

3.2 Morfolojik Özellikler

LDPE/PS/SBS/nanokil polimer kompozitinin SEM görüntüleri Şekil 5’de verilmiştir. SEM fotoğraflarına bakıldığında matris ve montmorillonit nanokil partikülleri net olarak gözükmemektedir. Montmorillonit kil partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı da görülmektedir. Buna ek olarak matris ve kil partikülleri arasındaki ara yüzeylere bakıldığında bir adezyonun olduğu da söylenebilir. Bunun sebebinin uyumlaştırıcı olarak kullanılan stiren bütadien stiren kopolimerinden kaynaklandığını düşünmekteyiz. Mikroyapı fotoğrafları mekanik testler sonucu elde edilen değerlerin (modül ve sertlik) doğruluğunu da kanıtlamış oldu. Literatürde mikroyapı fotoğrafları ile elde edilen değerler arasında bir bağlantının olduğuna dair birçok çalışma mevcuttur [20-21].



Şekil 5. LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin SEM fotoğrafları.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada düşük yoğunluklu polietilen polimerine farklı oranlarda polistiren, stiren bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri ve nanokil eklenmiştir. Elde edilen polimer kompozitinin elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma uzaması, eğilme mukavemeti, eğilme modülü, eğilme uzaması, sertlik, Izod darbe mukavemeti ve Vicat yumuşama sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Bunlara ek olarak mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; LDPE/PS/SBS polimer alaşımına montmorillonit nanokil ilavesi ile elde edilen polimer kompozitinde montmorillonit nanokil ilavesinin artmasıyla elastiklik modül değerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Elastiklik modül değerindeki yükselmenin bir sebebi polistirenin rijit karakterde olması diğer sebebi ise kompozit içerisinde yine nispeten rijit karakterde olan kil oranının artmasından kaynaklıdır. Bu durum % uzama değerlerinde ise düşüşe neden olmuştur. Eğilme testi sonuçlarına göre eğilme modülü değerinde artışın olduğu buna karşılık eğilme uzaması değerlerinde ise düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Polistirenin ve kilin rijit karakterde olması eğilme modül değerini yükseltirken eğilme uzaması değerini ise düşürmüştür. Montmorillonit nanokil ilavesi elde edilen polimer kompozitini bir miktar sertleştirdiğinden ve dolayısıyla enerjiyi fazla absorbe edemediğinden darbe mukavemeti değerinde ise düşüşe sebebiyet vermiştir. SEM analizi sonucu elde edilen mikroyapılar incelendiğinde montmorillonit nanokilin homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum malzeme özellikleri hakkında güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Bilgilendirme

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Sabancı, S. (2005). *Fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerin enjeksiyon yöntemi ile üretimi*. (Master’s dissertation, Yıldız Technical University).
- [2] Bala, N., Kamaruddin, İ., Napiyah, M., & Sutanto, M. H. (2019). Polymer nanocomposite - modified asphalt: characterisation and optimisation using response surface methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering* 44, 4233–4243.
- [3] Oner, J. (2019). Examination of storage stability behaviour of polymer modified bitumen involving nanoclay. *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3, 49-55.
- [4] İskender, E., & Aksoy, A. (2021). Nanokil/polimer/bitüm nanokompozit hazırlama yönteminin asfalt karışım performansı üzerindeki etkilerinin araştırılması’, *Teknik Dergi*, 32(3), sf:10885-10906.
- [5] Kaştan, A., Yalçın, Y., Ünal, H., & Talaş Ş. (2015). PA6/YYPE/nanokil kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15, 9-20.
- [6] Uzun, M.T. (2017). *Kil takviyeli alçak yoğunluklu polietilen kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. (Master’s dissertation, Sakarya University).
- [7] Taşdemir M., & Yıldırım, H. (2002). Effect of styrene-sutadiene-Styrene addition on polystyrene/high-density polyethylene blends’, *Journal of Applied Polymer Science*, 83, 2967–2975.
- [8] Gümüş, B. E. (2018). Cam küre ve nanokil katkılı yüksek yoğunluklu polietilen polimer kompozitlerinin mekanik özellikleri’, *13. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Van, Türkiye*, ss. 20-28.
- [9] Zhang, Y., Zhang, A., Zhen, Z., Lv, F., Chu, P.K., & Ji, J. (2011). Red mud/polypropylene composite with mechanical and thermal properties. *Journal of Composite Materials*, 45(26), 2811–2816.
- [10] Kusmono, Z.A., Mohd, I., Chow., W.S., Takeichi, T., & Rochmadi, C. (2008). Compatibilizing effect of SEBS-g-MA on the mechanical properties of different types of OMMT filled polyamide 6/polypropylene nanocomposites, *Composites: Part A* 39, 1802– 1814.
- [11] Touchaleaume, F., Soulestin, F., Sclavons, M., Devaux, J., Lacrampe, M.F., & Krawczak, P. (2011). One-step water-assisted melt-compounding of polyamide 6/pristine clay nanocomposites: An efficient way to prevent matrix degradation. *Polymer Degradation and Stability* 96, 1890-1900.
- [12] Taşdemir, M., & Kurt, M. (2016). Acrylonitrile butadiene styrene/red mud polymer composites: Ultraviolet Annealing, *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 8, 804–809.
- [13] Scaffaro, R., Mistretta, M.C., & La Mantia, F. P. (2008). Compatibilize polyamide 6/polyethylene blend– clay nanocomposites: Effect of the degradation and stabilization of the clay modifier. *Polymer Degradation and Stability* 93, 1267–1274.
- [14] Dayma, N., & Satapathy, B. K. (2010). Morphological interpretations an micromechanical properties of polyamide-6/polypropylene-grafted-maleic anhydride/nanoclay ternary nanocomposites, *Materials and Design*, 31, 4693– 4703.

- [15] Kumar, B., Ravi, N., Suresha, B., & Venkataramareddy, M. (2009). Effect of particulate fillers on mechanical and abrasive wear behaviour of polyamide 66/polypropylene nanocomposites. *Materials and Design* 30, 3852–3858.
- [16] Srinath, G., Gnanamoorthy, R. (2007). Sliding wear performance of polyamide 6–clay nanocomposites in water. *Composites Science and Technology* 67, 399–405.
- [17] Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y., & Suzuki, S. (2008). Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites: Effect of coupling treatment and nanoclay. *Journal of Polymers and the Environment*, 16, 123-130.
- [18] Gümüş, B.E. (2021). Effect of montmorillonite clay on physical properties of HDPE/ HGS composites, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21:735-744.
- [19] Taşdemir, M., Caneba, G.T., Tiwari, R., & Wang, B. (2011). Characterization of PP/Mg(OH)₂ and PP/nanoclay composites with supercritical CO₂ (scCO₂), *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50(10): 1064-1070.
- [20] Naeemian, N., (2008). *Evaluating the properties of hybrid composition made of wood flour, hemp fibers/ polypropylene*. (Doctoral dissertation, Islamic Azad University).
- [21] Yeh, S. K., & Gupta, K., (2010). Nanoclay-reinforced, polypropylene-based wood–plastic composites’, *Polym Eng Sci* 50(10): 2013-2020.



DETECTION OF CONCRETE SURFACE CRACKS WITH DEEP LEARNING ARCHITECTURES

Arzu Sevinç^{*1} , Fatih Özyurt¹ 

¹Firat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yazılım Mühendisliği, Elazığ, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

The most basic problem for concrete surfaces is the presence of cracks. These cracks should be identified and repaired as soon as possible to ensure safety. Today, detection of cracks is carried out by human power. Although there is a lot of effort in the determinations made with manpower, the error rate is high. The aim of this study is to provide more accurate and faster detection of cracks. For this, an autonomous system is needed. Some Convolutional Neural Networks (CNN) have been used in the detection of concrete surface cracks. The image data used in this study were collected from the campus buildings of the Middle East Technical University. This data set contains 20000 Negative and 20000 Positive data. Image data was trained using ResNet-50, VGG-16, Inception-V3, Xception deep CNN architectures and MobileNet, ShuffleNet, EfficientNet lightweight CNN architectures. By comparing the data obtained as a result of the training, it was observed how the accuracy changed when fewer parameters were used. When the accuracy rates obtained from the deep CNN architectures and light CNN architectures used were compared, close and successful results were obtained.

Keywords: Crack detection, convolution neural network, lightweight convolution neural network, image processing.

BETON YÜZEY ÇATLAKLARININ TESPİTİNDE DERİN ÖĞRENME MİMARİLERİN KULLANILMASI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Beton yüzeyler için en temel problem çatlakların varlığıdır. Bu çatlaklar, güvenliğin sağlanabilmesi için mümkün olan en kısa sürede tespit edilip onarılmalıdır. Günümüzde çatlakların tespit edilmesi insan gücüyle gerçekleştirilmektedir. İnsan gücü ile yapılan tespitlerde fazla emek olmasına karşın hata oranı yüksektir. Bu çalışmanın amacı, çatlakların daha doğru ve hızlı tespit edilmesini sağlamaktır. Bunun için ise otonom bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Beton yüzey çatlaklarının tespitinde bazı Evrişimsel Sinir Ağları (CNN) kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan görüntü verisi Orta Doğu Teknik Üniversitesi kampüs binalarından toplanmıştır. Bu veri setinde 20000 Negatif ve 20000 Pozitif veri bulunmaktadır. Görüntü verileri, ResNet-50, VGG-16, Inception-V3, Xception derin CNN mimarileri ve MobileNet, ShuffleNet, EfficientNet hafif CNN mimarilerini kullanarak eğitildi. Eğitim sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılarak, daha az parametre kullanıldığında doğruluğun nasıl değiştiği gözlemlendi. Kullanılan derin CNN mimarileri ve hafif CNN mimarilerinden elde edilen doğruluk oranları karşılaştırıldığında birbirine yakın ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çatlak tespiti, evrişimli sinir ağı, hafif evrişimli sinir ağı, görüntü işleme.

1 Giriş

Beton yüzeylerde zamanla kendiliğinden veya deprem gibi doğal afetlerden kaynaklı bazı çatlamlar meydana gelmektedir. Çatlakların tespiti, olabilecek en kısa sürede ve en az hatayla gerçekleştirilmelidir. Bu sayede maddi ve manevi kayıplar en aza indirilebilir. Düzenli ve sürekli bir inceleme ile çatlaklar hızlıca tespit edilmeli ve onarılmalıdır. Böylece beton yüzeyler korunabilir ve daha dayanıklı hale getirilebilir.

Günümüzde beton bir yüzeyde bulunan çatlak tespiti çoğunlukla insan gücü kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Yetkili bir kişi yüzeyleri inceler ve çatlak tespit ettiği yüzeyin birçok açıdan fotoğrafını çeker ya da dronelar aracılığıyla yüzeylerin fotoğrafları çekilir. Daha sonra bu fotoğraflar tekrar incelenir ve gerekli raporlar hazırlanır. Harcanan emek ve zamana karşın insan gücüyle yapılan işlemlerde hata oranı da yüksektir.

Elazığ da 2020 yılında gerçekleşen deprem sonrasında birçok binada çatlaklar meydana gelmiş ve çatlakların tespiti manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Çatlakların tespit edilmesi uzun bir süre devam etmiş ve bu süre içerisinde gerçekleşen daha küçük depremlerde binaların bazıları yıkılmıştır. Bu yıkımlar ise maddi ve manevi bir çok zarara

* Corresponding author.

E-mail address: arzusevinc99@gmail.com (A. Sevinc)

Received 05 April 2022; Received in revised form 07 September 2022; Accepted 05 December 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1098046>

sebeptir. Benzer olaylar da göz önüne alındığında çatlak tespiti için otonom bir sistemin gerçekleştirilmesi gerektiği görülmektedir. Daha hızlı ve daha doğru sonuçlar ortaya koyan bir sistem sayesinde çatlak tespitleri gerçekleştirilirken bazı kayıplar önlenir.

Çatlak tespiti ile ilgili araştırmalarda genellikle CNN mimarileri kullanılmış ve önerilmiştir. Yapılan bir araştırmada 40000 görüntü verisi kullanılarak OLeNet modeli oluşturulmuştur. OLeNet modelinin doğrulama sığı katman yığını ile gerçekleştirilmiş ve maksimum %99,8 doğruluk elde edilmiştir [1]. Bu çalışma OLeNet mimarisinin başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca veri miktarını minimumda tutarak yüksek performans sağlayan yeni bir CNN mimarisi oluşturmanın daha iyi bir seçenek olabileceği de araştırılmaktadır. Bu araştırmada önceden eğitilmiş bir VGG-16 modeli ve özelleştirilmiş, veri sayısının da azaltıldığı, CNN modeli eğitilmiştir. Bu eğitim sonucunda özelleştirilmiş CNN mimarisinin hesaplama süresinin ve karmaşıklığının daha avantajlı olduğu görülmüştür [2]. Son dönemlerde derin CNN mimarilerinin yanı sıra Mask R-CNN ve Faster R-CNN mimarilerinin de bu tarz çalışmalara katkıda bulunacağı araştırılmaktadır. Mask R-CNN mimarisi, çatlak yüzeylerdeki önemli özelliklere karşılık gelen maskeleri elde ederek maliyeti düşürmeyi hedefler [3]. Ayrıca Faster R-CNN kullanılarak hava koşulları da gözlemlenerek çatlakların tespit edilmesi ile ilgili çalışmalarda yapılmıştır. Bu çalışmada 4128 x 2322 çözünürlüğüne sahip görüntüler kullanılmış ve çatlak tespiti analizleri beton bir yolda atış koşulları değiştirilerek yapılmıştır [4]. Faster R-CNN mimarisi ve Mask R-CNN mimarisi karşılaştırıldığında Mask R-CNN mimarisinin çatlak tespiti için daha iyi performans verdiği söylenebilir [5]. Başka bir araştırma da ise 1218 görüntüden oluşan bir veri setine tünel çatlaklarının tespit edilmesi için hafif evrişimli sinir ağı uygulanmıştır. Hafif Evrişimli Sinir Ağı SegNet, U-Net ve DeepCrack ile karşılaştırılmış ve daha hızlı olduğu görülmüştür. [6].

Çatlak tespiti ile ilgili çalışmaların yanı sıra derin öğrenme modellerinin kullanıldığı farklı çalışmalarda incelenmiştir. Çiçeklerin sınıflandırılması ile ilgili yapılan bir çalışma bunlardan biridir [7]. Burada oluşturulan model üç aşamadan geçirilerek oluşturulmuştur. İlk aşamada görüntü verileri, AlexNet, GoogleNet, ShuffleNet, EfficientNet0, ResNet ve InceptionV3 mimarilerini kullanarak sınıflandırılmıştır. İkinci aşamada ise Komşuluk Bileşen Analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan özellik haritaları optimize edilmiştir. Son olarak optimize edilen özellik haritası klasik makine öğrenmesi yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Oluşturulan bu model %93,49'luk yüksek bir doğruluk oranı elde etmiştir.

Bir diğer çalışma ise beyin tümörünün tespit edilmesi ile ilgilidir. Yapılan bu çalışmada, AlexNet, GoogleNet ve ResNet50 mimarileri kullanılmıştır. Kullanılan bu mimariler arasında ise en yüksek doğruluk oranına ResNet50 mimarisi ile ulaşılmıştır [8].

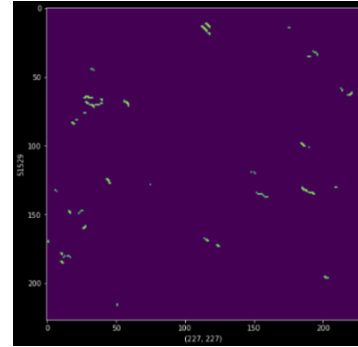
Yapılan bu çalışmada ise farklı çalışmalarda başarılı olduğu görülen mimarilerin bu veri seti üzerinde ki başarıları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. İlk olarak verile görüntü işleme tekniklerinden geçirilmiş daha sonra ise mimarileri kullanılarak sınıflandırılmıştır.

Görüntü işleme teknikleri kullanılarak bir görüntünün incelenmesi ve çatlakların tespit edilmesi, manuel olarak

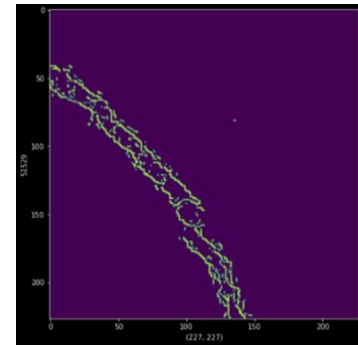
gerçekleştirilen incelemeyle karşılaştırıldığında daha hızlı ve daha doğru sonuçlar vermektedir. Yapılan bu çalışmada çatlak olan ve olmayan görüntü verileri görüntü işleme teknikleri ile incelenmiştir. Ve bu teknikler kullanılarak çatlaklarda belirgin özelliklerin ortaya çıkması ve tespitinin kolaylaştırılması hedeflenmiştir.

Çatlak tespitlerinde yaygın olarak kullanılan algoritmaların biri Canny Kenar algılama algoritmasıdır. 1986 yılında John Canny tarafından geliştirilen aşamalı bir kenar algılama algoritmasıdır [9]. Kenar tespiti ile görüntü üzerindeki nesnelerin özellikleri çıkarılabilir. Canny algoritmasında genelde köşeler yok sayılmaktadır. Kenar algılama algoritmalarındaki amacın piksel yoğunluklarından kaynaklanan kenar karmaşıklığını azaltmak ve görüntüdeki nesnelere tanımlamak olduğu söylenebilir.

Canny Kenar algoritması kullanılarak çatlak yüzeyler ve çatlak olmayan yüzeyler incelendi. Şekil 1' de Negatif bir görüntü ve Şekil 2' de ise Pozitif bir görüntü Canny Kenar algoritması ile gösterilmektedir. Şekil 2' de çatlak olan alanda bir yoğunluk meydana gelmiş ve çatlak tespit edilmiştir.



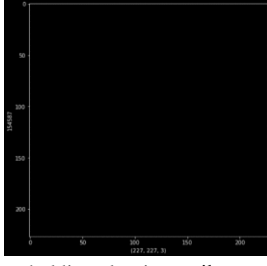
Şekil 1. Canny algoritması ile negatif görüntü.



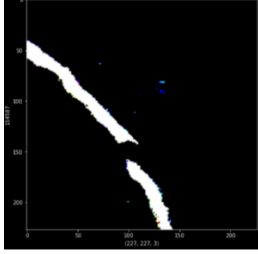
Şekil 2. Canny algoritması ile pozitif görüntü.

Bir diğer görüntü işleme tekniği ise Thresholding (eşikleme) algoritmasıdır. Bu algıtmada ise bir başlangıç değeri belirlenir ve her piksel değeri başlangıç değeri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma ile görüntü iki sınıfa bölünmektedir, piksel değeri başlangıç değerinden büyük olanlar ve başlangıç değerinden küçük olanlar. Görüntünün birden fazla bölgeye bölünmesi çok seviyeli eşiklemedir. Bölünme ve başlangıç değeri arttıkça yöntemin karmaşıklığı da artmaktadır. Eşikleme algoritması görüntü içerisindeki nesnelere birbirinden ayırmayı amaçlamaktadır.

Şekil 3' de Thresholding algoritması kullanılan Negatif bir görüntü verisi vardır. Negatif bir veride ayırıcı bir özellik fark etmediği için yalnızca zemini karartmıştır.



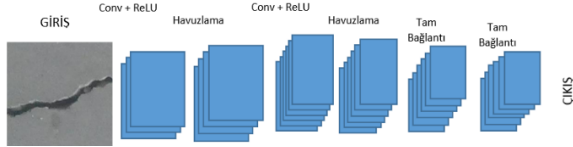
Şekil 3. Thresholding algoritması ile negatif görüntü.



Şekil 4. Thresholding algoritması ile pozitif görüntü.

Pozitif bir görüntüye uygulanan Thresholding algoritmasında zeminin üzerinde fark ettiği çatlağı ikinci bir nesne olarak alır ve çatlağı zeminden ayırmak için beyaz olarak gösterir. Şekil 4’ de pozitif bir görüntünün negatif bir görüntüden Thresholding algoritması kullanılarak net bir şekilde ayrılacağı görülmektedir.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) kampüs binalarından toplanan veriler üzerinde uygulanan algoritmalar Şekil 1, 2, 3, 4 gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan pozitif ve negatif veriler renkli ve 227x227 piksel özelliklere sahip görüntüler içermektedir. Bu görüntü verileri üzerinde Canny Kenar Algoritması ve Thresholding algoritması uygulanmıştır. Uygulanan bu algoritmalar ile çatlakların belirginleştirilebildiği görülmektedir.



Şekil 5. CNN mimarisi.

2 Materyal ve Metot

2.1 CNN Mimarisi

CNN mimarisi 1980’ lerde geliştirilmeye başlamasına karşın 2012 senesine kadar makine öğrenmesi alanına girememiştir. Büyük veri kümelerinin de kullanılmaya başlanması ile birlikte 2012’de CNN mimarisi bu alanda da kullanılmaya başlanmıştır.



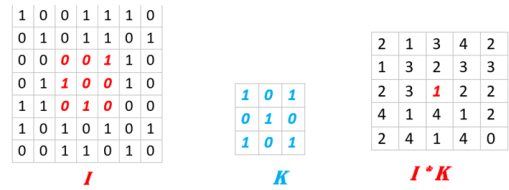
Şekil 10. ResNet-50 CNN mimarisi.

CNN, görüntüdeki nesnelerin özelliklerini çıkarabilen ve nesnelere birbirinden ayırt edebilen bir algoritmadır. Çoklu katmandan oluşan matematiksel bir yapıdır. Evrimsel sinir ağı, evrişim işlemi kullanır. Evrişim, bir şeklin diğer bir şekil tarafından nasıl değiştirildiğini gösteren yeni bir fonksiyon üreten matematiksel bir işlemdir. CNN, bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve bu iki katman arasındaki farklı katmanlardan oluşmaktadır. Ortada olan katmanlar matematiksel işlemleri (evrişimleri) gerçekleştiren katmanlardır.

Evrimsel sinir ağında evrişim katmanı çok katmanlı bir çekirdek kullanarak gerekli özellikleri alır ve tam bağlantılı katmanlar ise bu özellikleri kullanarak öğrenir [10].

2.1.1 Evrişim Katmanı

Görüntünün özelliklerini çıkaran katmandır. Bir filtre matrisi oluşturulur ve görüntü üzerinde dolaşır. Görüntü matrisi ile filtre çarpılır ve sonuç kaydedilir. Bu sayede görüntü özellikleri tespit edilebilmektedir.



Şekil 6. Evrişim katmanı.

Şekil 6’ da Görüntü matrisi üzerinde dolaşan bir filtre matrisi ve gerçekleştirdiği işlemlerle evrişim katmanı görülmektedir.

2.1.2 Havuzlama Katmanı

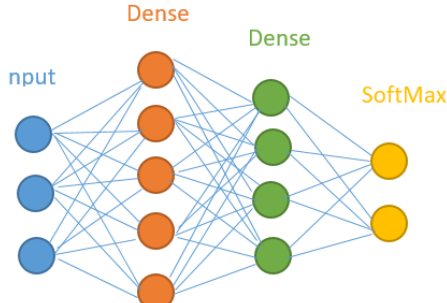
Veri boyutunu ve işlem süresini azaltmak için kullanılır. Boyut azaltılırken önemli bilgiler korunmaktadır. Farklı havuzlama çeşitleri vardır. Bunlardan ilki olan maksimum havuzlama, nöron kümelerinin maksimum değerini kullanır. Ortalama havuzlama ise, bu kümelerden ortalama bir değer çıkarır ve o değeri kullanır. Tüm nöron değerlerinin toplanması ise toplam havuzlamadır.



Şekil 7. Maksimum havuzlama katmanı.

2.1.3 Tam Bağlı Katmanlar

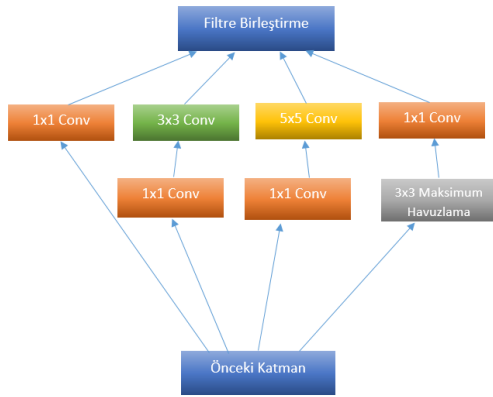
Bu katmanlar, katmanlarda olan nöronların birbiri ile tamamen bağlı olmasından kaynaklı bu ismi almıştır. Matrisler görüntüyü sınıflandırmak için tam bağlı katmanlardan geçmektedir. Şekil 8’ de görüldüğü üzere bu katmandaki tüm nöronlar birbiri ile bağlantılı bir şekildedir.



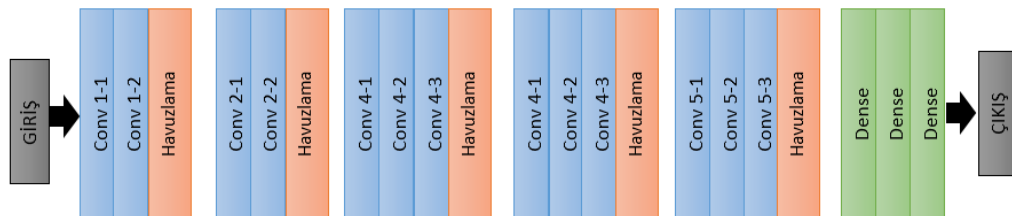
Şekil 8. Tam bağlı katman.

2.1.4 Inception-V3 mimarisi.

Inception-V3 [11], yaygın olarak kullanılan bir CNN mimaridir. Google tarafından oluşturulan Inception-V1 mimarisinin geliştirilmiş halidir. Bu mimari ilk olarak 2015 yılında kullanılmaya başlanmıştır. 42 katmandan oluşmaktadır. Bu mimaride 3x3 evrişim katmanı kullanılmaktadır. Evrişim katmanını azaltmak hesaplama maliyetini de azaltmaktadır.



Şekil 9. Inception-V3 CNN mimarisi.



Şekil 12. VGG-16 CNN mimarisi.

2.2 Hafif CNN Mimarisi

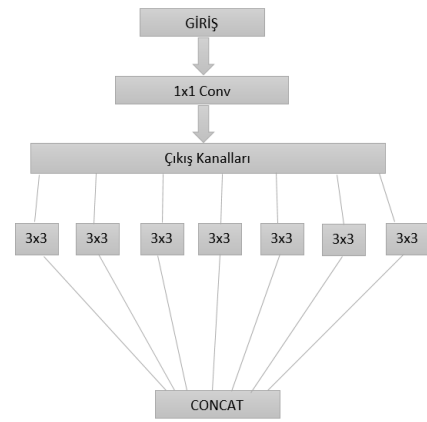
CNN mimarileri özellik çıkarmada yaygın olarak kullanılır ve yüksek performansı ile de önemli bir sinir ağıdır. Eğitim için kullanılan parametre sayısının fazla olması araştırmacıların parametre sayısını azaltmaya yönelik çalışmalar yapmasına sebep olmuştur. Hafif CNN

2.1.5 ResNet-50 Mimarisi

ResNet [12], ILSVRC-2015 yarışmasını kazanmıştır. En fazla 152 evrişim katmanından oluşmaktadır. ResNet mimarilerinde kısa yollar kullanılmaktadır. Bu kısa yollar, bozulmaların azalmasına ve çalışma hızının artmasına katkıda bulunmaktadır. Şekil 10, ResNet mimarisine ait bir resimdir.

2.1.6 Xception Mimarisi

Xception, Google araştırmacıları tarafından geliştirilen derin evrişimli sinir ağıdır. Inception mimarisinin daha derinlemesine eğitilmesi şeklinde tanımlanabilir. Xception mimarisinde 1x1 evrişim katmanları bulunmaktadır. ResNet mimarisinde olduğu gibi bu mimaride de bloklar arasında kısa yollar bulunmaktadır. Basit bir mimariye sahiptir.



Şekil 11. Xception CNN mimarisi.

2.1.7 VGG-16 Mimarisi

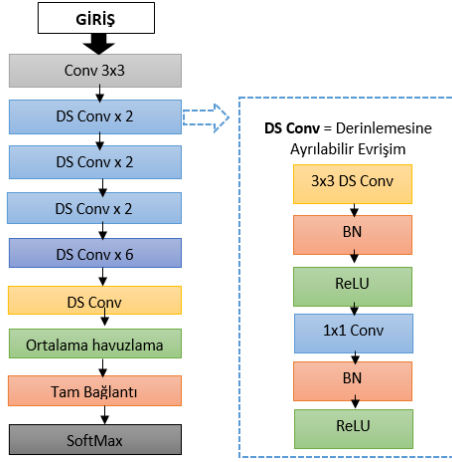
Açık kaynaklı bir CNN mimarisidir. 16 katmandan oluşmaktadır. VGG-16 [13] mimarisinde 224 x 224 RGB görüntüleri kullanılmaktadır.

Bu mimaride görüntü ilk olarak evrişimli katmanlardan geçmektedir. Bazı evrişimli katmanları korumak için maksimum havuzlama katmanı takip eder. 3 full bağlantı katmanı bulunmaktadır. Son katman ise softmax katmanıdır. Şekil 12’ da VGG-16 mimarisine ait mimari görülmektedir.

mimarileri, araştırmacıların bu probleme çözüm aramaları ile ortaya çıkmıştır. Hafif CNN mimarisi eğitim için daha az parametre kullanarak ve daha az katman ile uygulanır. Bu durum hesaplama gücünü azaltırken performansın da yüksek olmasını sağlamaktadır. MobileNet, ShuffleNet, EfficientNet iyi performanslar ile çalışan hafif CNN mimarilerinden bazılarıdır.

2.2.1 MobileNet Mimarisi

MobileNet [14], mobil görüntü uygulamaları için oluşturulmuş CNN mimarisidir. Derinlikli evrişim katmanı ve noktasal evrişim katmanı altında 28 katmandan oluşmaktadır.



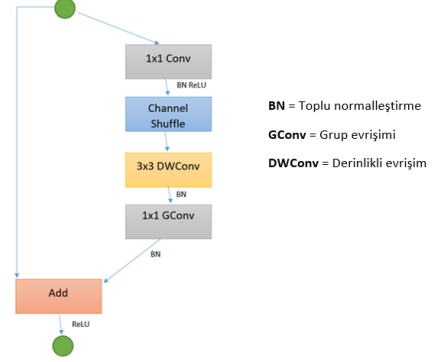
2.2.2 ShuffleNet Mimarisi

ShuffleNet Mimarisi [15], noktasal grup evrişimini ve kanal karıştırma işlemlerini kullanan bir mimaridir. Bu işlemleri kullanarak doğruluğu korumayı ve hesaplama maliyetini azaltmayı hedeflemektedir.

Grup evrişimi işlemi, evrişimlerin sadece kendisine karşılık gelen giriş kanalı grubunda çalışmasını sağlayan

işlemdir. Bu işlem aynı zamanda, verilerin paralel bir şekilde çalışmasına da izin vermektedir.

ShuffleNet mimarisinde yer alan ikinci önemli işlem ise, kanal karıştırma işlemidir. Bu işlem, özellik kanalları arasında bilgi akışına yardımcı olmak için, özellik haritalarını daha iyi düzenleyebilmek için gruplara ayırmaktadır.



2.2.3 EfficientNet Mimarisi

Bu mimariden ilk olarak Mingxing Tan ve Quoc V. Le tarafından yazılan "EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks" makalesinde bahsedilmiştir [16].

Ölçeklendirme temeline bağlı bu mimari, ağır derinlik, genişlik ve çözünürlük boyutlarını sabit ölçekleme katsayıları ile eşit bir şekilde ölçekleyerek daha iyi doğruluk ve verimlilik elde etmiştir.



3 Deneysel Sonuç

3.1 Veri Seti

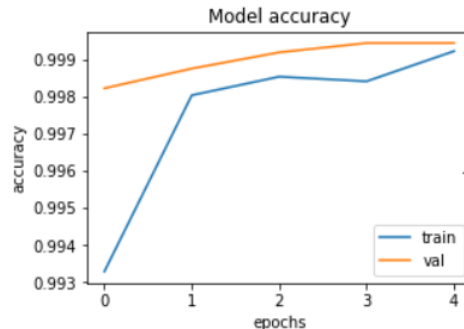
Bu çalışmada kullanılan veri seti ODTÜ kampüs binalarından toplanmış olup toplam 40000 veri içermektedir. Bu verilerden 20000 pozitif yani çatlakların olduğu veri 20000 ise negative veri içermektedir. Görüntü verileri RGB kanallı 227 x 227 piksel özelliklerine sahiptir [17].

3.2 Deneysel Sonuç

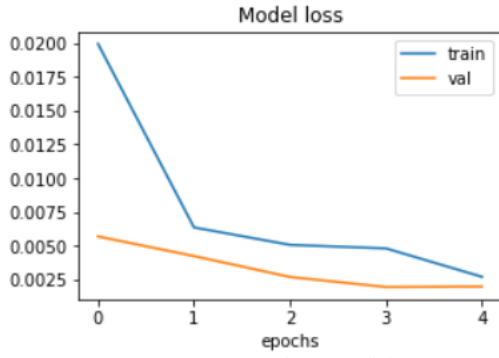
Veriler farklı CNN mimarileri ile eğitilmiştir. Bu eğitimlerden önce veriler üzerinde herhangi bir ön işleme tekniği kullanılmamıştır. Çalışmadaki temel amaç mimariler arasında eğitim sonrası doğruluk oranının değişimini incelemektir. Çalışmada veriler %20 test ve %80 eğitim verisi olarak ayrılmıştır.

İlk olarak CNN mimarilerinden VGG-16 mimarisi kullanılarak 'surface crack detection' veri setinin eğitimi gerçekleştirildi. Bu mimarinin eğitimi sonrasında elde edilen doğruluk oranı 0,9987' dir.

Eğitimin doğruluk ve kayıp grafiği aşağıda bulunan Şekil 16 ve Şekil 17' de verilmiştir.

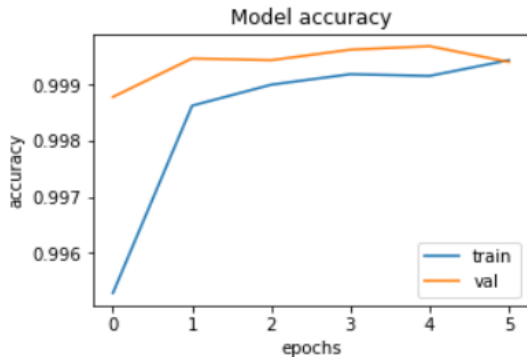


Şekil 16. VGG-16 doğruluk grafiği.

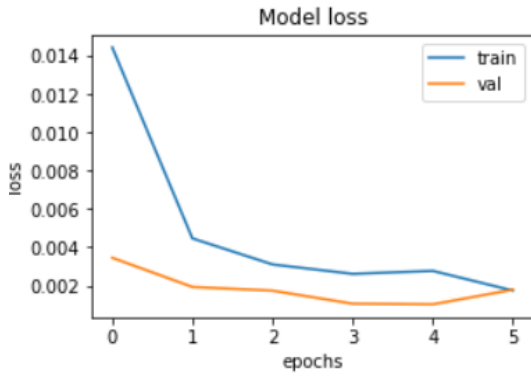


Şekil 17. VGG-16 kayıp grafiği.

ResNet-50 mimarisinin veri seti üzerindeki eğitimin sonuçları Şekil 18 ve Şekil 19’ de gösterilmektedir. Bu eğitimde elde edilen en yüksek doğruluk oranı 0,9985 olmuştur.

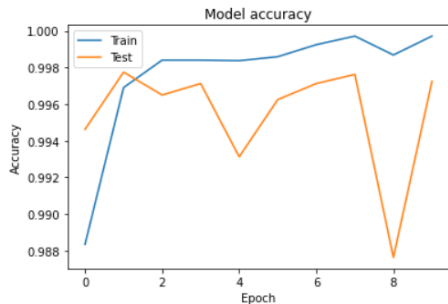


Şekil 18. ResNet-50 doğruluk grafiği.

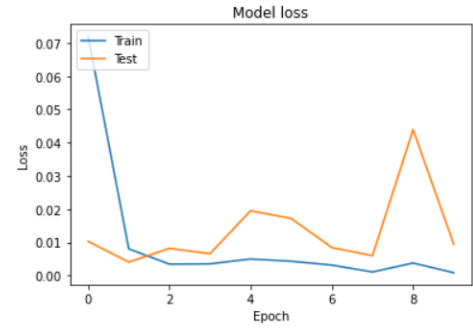


Şekil 19. ResNet-50 kayıp grafiği.

Inception-V3 mimarisi kullanılarak gerçekleştirilen eğitimin en yüksek doğruluk oranı 0,9974’ dür. Başarı ve başarısızlık grafikleri Şekil 20 ve Şekil 21’ de gösterilmektedir.

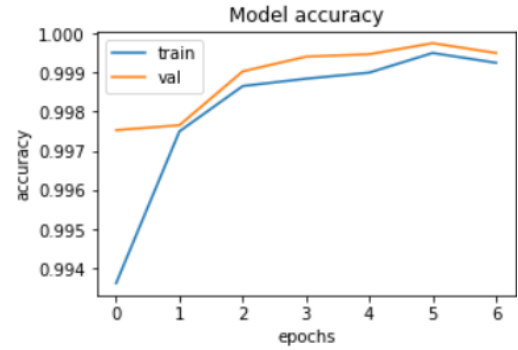


Şekil 20. Inception-V3 doğruluk grafiği.

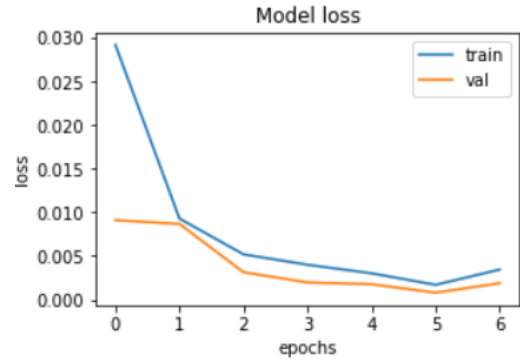


Şekil 21. Inception-V3 kayıp grafiği.

Xception mimarisi eğitildiğinde elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmektedir. Eğitim 0,9977’ lik en iyi sonuçla tamamlanmıştır.

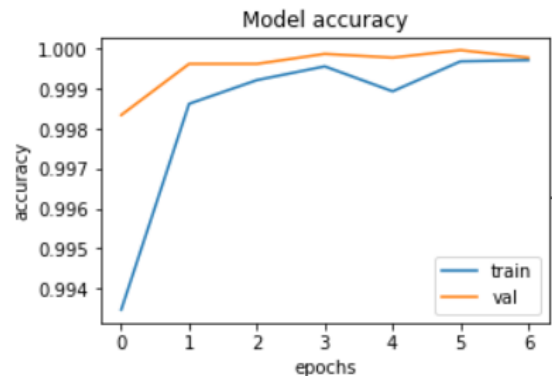


Şekil 22. Xception doğruluk grafiği.

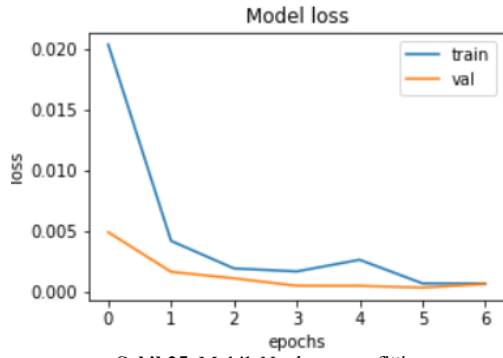


Şekil 23. Xception kayıp grafiği.

Hafif CNN mimarisi olan MobileNet mimarisinin eğitiminden 0,9988’ lik bir doğruluk elde edilmiştir. Bu mimaride elde edilen doğruluk ve kayıp grafikleri Şekil 24 ve Şekil 25’ de gösterilmektedir.

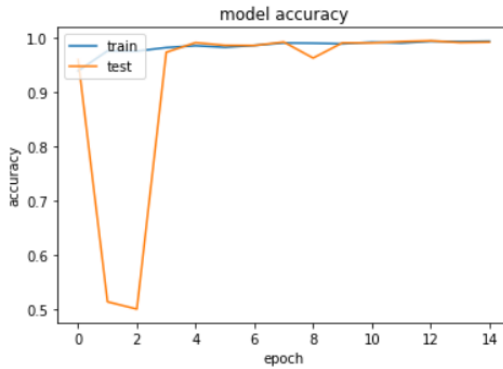


Şekil 24. MobileNet doğruluk grafiği.

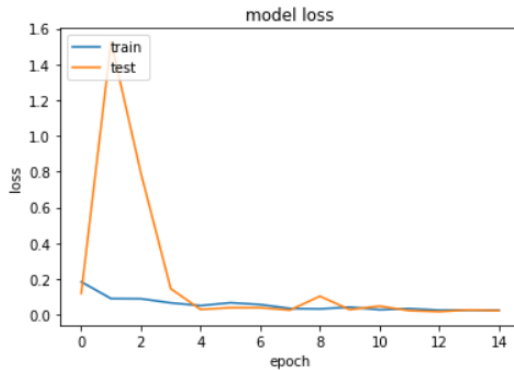


Şekil 25. MobileNet kayıp grafiği.

ShuffleNet mimarisinin eğitiminden en yüksek 0,9922 doğruluk elde edilmiştir. Bu hafif CNN mimarisinin doğruluk ve kayıp grafikleri aşağıda gösterilmektedir.

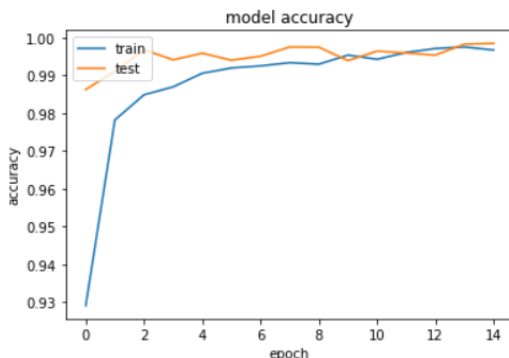


Şekil 26. ShuffleNet doğruluk grafiği.

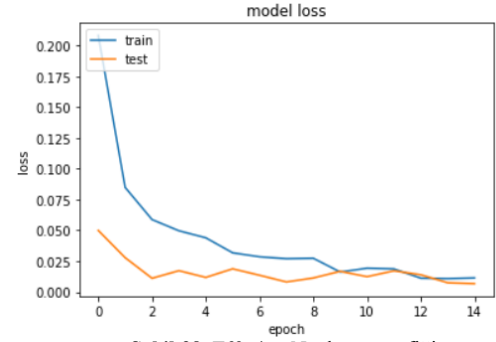


Şekil 27. ShuffleNet kayıp grafiği.

0,9984 doğruluk elde edilen hafif CNN mimarisi EfficientNet mimarisidir. Bu eğitimin sonucunda oluşan doğruluk ve kayıp grafikleri Şekil 28 ve Şekil 29' da gösterilmektedir.



Şekil 28. EfficientNet doğruluk grafiği.



Şekil 29. EfficientNet kayıp grafiği.

Mimarilerin eğitilmesi aşamasında çıktıları normalleştirmek için softmax aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Softmax fonksiyonunun normalleştirdiği çıktılarda her değer için olasılığ yorumlar.

Tablo 1' de mimarileri ve aldıkları en yüksek doğruluk oranları gösterilmektedir.

Tablo 1. Mimari isimleri ve doğruluk oranları.

Mimari İsmi	Doğruluk Oranı
0 MobileNet Mimarisi	0,9988
1 VGG-16 Mimarisi	0,9987
2 ResNet-50 Mimarisi	0,9985
3 EfficientNet Mimarisi	0,9984
4 Xception Mimarisi	0,9977
5 Inception-V3 Mimarisi	0,9974
6 ShuffleNet Mimarisi	0,9922

Tabloda da görüldüğü üzere mimarilerin doğruluk oranları arasında çok fazla fark bulunmamaktadır. Hafif CNN mimarilerinden MobileNet mimarisi en yüksek doğruluk oranına sahipken yine hafif CNN mimarisi olan ShuffleNet en az doğruluk oranına sahip mimari olarak görülmektedir. Buna karşın en başarılı sonuç veren mimari ile en az başarılı sonuç veren mimari arasında 0,0066' lık bir fark bulunmaktadır. Parametre sayısının azaltılması eğitimdeki başarıyı olumsuz bir şekilde etkilememiştir.

4 Sonuç

Bu çalışmada Orta Doğu Teknik Üniversitesi kampüs binalarından toplanmış 20000 Negatif ve 20000 Pozitif veri bulunan bir veri seti kullanılmıştır [17]. Derin CNN mimarileri ve hafif CNN mimarileri kullanılarak bu görüntü veri seti eğitildi. Elde edilen doğruluk oranları karşılaştırıldı. Hafif CNN mimarisinin, derin CNN mimarisinden ayrılan en önemli özelliği parametre sayısının azaltılmasıdır. Bu çalışma ile parametre sayısı azaltıldığında doğruluk oranının nasıl değiştiği incelenmiştir. Veriler tüm mimariler ile eğitildi ve test edildi. Eğitim ve test oranları tüm mimarilerde aynı tutularak sonuçların daha doğru yorumlanması istendi. Doğruluk oranları karşılaştırıldığında ise mimariler arasında büyük bir fark olmadığı görüldü. En yüksek başarıya hafif CNN mimarisi olan MobileNet %99,88 doğruluk oranı ile sahipken, en düşük başarıya ise %99,22 doğruluk oranına sahip ShuffleNet mimarisi ulaşmıştır. Bu durumda hafif CNN mimarisinin yüzey çatlak tespit etme çalışması için performansı düşürmediği gibi bu tarz çalışmalarda kullanılmasının avantaj sağladığı söylenebilir.

Bilgilendirme

Bu çalışmada etik kurul onay belgesi gerekli değildir. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynakça

- [1] Kim, B., Yuvaraj, N., Sri Preethaa, K. R., & Arun Pandian, R. (2021). Surface crack detection using deep learning with shallow CNN architecture for enhanced computation. *Neural Computing and Applications*, 33(15), 9289-9305.
- [2] Ali, L., Alnajjar, F., Jassmi, H. A., Gocho, M., Khan, W., & Serhani, M. A. (2021). Performance evaluation of deep CNN-based crack detection and localization techniques for concrete structures. *Sensors*, 21(5), 1688.
- [3] Attard, L., Debono, C. J., Valentino, G., Di Castro, M., Masi, A., & Scibile, L. (2019, September). Automatic crack detection using mask R-CNN. In *2019 11th international symposium on image and signal processing and analysis (ISPA)* (pp. 152-157). IEEE.
- [4] Hacıfendioğlu, K., & Başağa, H. B. (2022). Concrete road crack detection using deep learning-based faster R-CNN method. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 46(2), 1621-1633.
- [5] Xu, X., Zhao, M., Shi, P., Ren, R., He, X., Wei, X., & Yang, H. (2022). Crack Detection and Comparison Study Based on Faster R-CNN and Mask R-CNN. *Sensors*, 22(3), 1215.
- [6] Liao, J., Yue, Y., Zhang, D., Tu, W., Cao, R., Zou, Q., & Li, Q. (2022). Automatic Tunnel Crack Inspection Using an Efficient Mobile Imaging Module and a Lightweight CNN. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.
- [7] Bingöl, H. (2022). Derin Öğrenme Modellerinde Komşuluk Bileşen Analizi Yöntemi Kullanarak Çiçek Görüntülerinin Sınıflandırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(1), 439-447.
- [8] Bingöl, H., & Alatas, B. (2021). Classification of brain tumor images using deep learning methods. *Turkish Journal of Science and Technology*, 16(1), 137-143.
- [9] Wikipedia (2014). *Canny Edge Detector* Retrieved 24 June, 2022 from https://en.wikipedia.org/wiki/Canny_edge_detector
- [10] Niu, S., & Srivastava, V. (2022). Simulation trained CNN for accurate embedded crack length, location, and orientation prediction from ultrasound measurements. *International Journal of Solids and Structures*, 242, 111521.
- [11] Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2818-2826).
- [12] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- [13] Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- [14] Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., ... & Adam, H. (2017). Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint arXiv:1704.04861*.
- [15] Ma, N., Zhang, X., Zheng, H. T., & Sun, J. (2018). Shufflenet v2: Practical guidelines for efficient cnn architecture design. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* (pp. 116-131).
- [16] Tan, M., & Le, Q. (2019). Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In *International conference on machine learning* (pp. 6105-6114). PMLR.
- [17] Çağlar, F. O., & Özgenel, R. (2019). Concrete crack images for classification. *Mendeley Data*, 2.
- [18] Pujara, A. (2014). *Image Classification with MobileNet* 04 June, 2020 from https://en.wikipedia.org/wiki/Canny_edge_detector
- [19] Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2818-2826).



USAGE OF WASTE ASPHALT TREATED WITH METAL CONTAINED ACID SOLUTION AS A CATALYST IN HYDROGEN PRODUCTION

Saliha Özarlan^{*1}, Mustafa Durgun², Mustafa Kaya³

¹Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Vocational School of Technical Sciences, Amasya University, Amasya, Turkey

²Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Harran University, Sanliurfa, Turkey

³Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Siirt University, Siirt, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Wastes are an excellent starting point for preparing carbon materials, as it is plentiful, inexpensive and renewable. In this study, hydrogen synthesis was carried out in the methanolysis of NaBH₄ using a metal added waste asphalt catalyst treated with acetic acid. After trying different metal types and determining the most efficient metal type, different ratios of metal were used and the most effective catalyst was produced. The most efficient catalyst is waste asphalt catalyst treated with 3M acetic acid and 30% Cu. In the presence of the selected catalyst, experiments were carried out using different catalyst amounts, different NaBH₄ concentrations and different temperatures to obtain the highest hydrogen yield, and the results were interpreted. The maximum hydrogen generation efficiency was determined as 9518.3 mL min⁻¹ g⁻¹ and the activation energy of the catalyst was determined as 38.2 kJ/mol.

Keywords: Catalyst, copper, hydrogen, metal, waste asphalt.

METAL İÇERİKLİ ASİT ÇÖZELTİSİ İLE MUAMELE EDİLMİŞ ATIK ASFALTIN HİDROJEN ÜRETİMİNDE KATALİZÖR OLARAK KULLANIMI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Atıklar, bol, ucuz ve yenilenebilir olması bakımından karbon malzemeleri hazırlamak için mükemmel bir başlangıç noktasıdır. Bu çalışmada, asetik asit ile muamele edilmiş metal katkılı atık asfalt katalizörü kullanılarak NaBH₄ metanolizinde hidrojen sentezi gerçekleştirilmiştir. Farklı metal türleri denenerek en verimli metal türü belirlenmesinin ardından farklı oranlarda metal kullanılmış ve en etkin katalizör üretilmiştir. En verimli katalizör, 3M asetik asit ve % 30 Cu ile muamele edilmiş atık asfalt katalizördür. Seçilen katalizör varlığında, en yüksek hidrojen verimini elde etmek için farklı katalizör miktarları, farklı NaBH₄ konsantrasyonları ve farklı sıcaklıklar kullanılarak deneyler yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Maksimum hidrojen üretimi verimi 9518,3 ml dk⁻¹ g⁻¹ ve katalizörün aktivasyon enerjisi 38,2 kJ/mol olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık asfalt, bakır, hidrojen, katalizör, metal.

1 Giriş

Hızla artan dünya nüfusu, gelişen ekonomi ve kentleşme gibi faktörler, enerji talebinin de aynı ölçüde artmasına neden olmaktadır. Enerji ihtiyacı, coğrafi dağılım ve çıkarma kolaylığı sayesinde büyük oranda, sınırlı rezerve sahip hidrokarbon (fosil yakıt) enerji kaynaklarından karşılanmaktadır [1]. 1700'lerden bu yana, endüstriyel gelişmeler ve modern yaşamın bulunduğu kolaylıklar, enerji gücünü fosil yakıtlardan almaktadır. Ancak ettiğimiz topraktan, içtiğimiz sudan soluduğumuz havaya kadar çevre, bunun bedelini ağır ödemektedir [2]. Fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan emisyonlar,

asit yağmuru, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi zararlı sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca bağlantılı olarak bitki örtüsü, yaban hayatı ve halk sağlığı bu durumdan olumsuz etkilenmektedir [3]. Dünya genelinde oluşan farkındalık ve geliştirilen çözüm arayışı çalışmaları sayesinde birçok şehir, belediye ve yerel topluluk, bölgelerinin enerji arzını sürdürülebilir ve temiz bir enerji sistemine dönüştürmek için stratejiler tasarlama anlayışını benimsemiştir [4]. Bu arayışa cevaben yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji; güneş ışığı, rüzgâr, akan su, dünyanın iç ısı gibi kendi kendini yenileyen enerji kaynaklarına ve enerji bitkileri, tarım atıkları, endüstriyel atıklar ve belediye atıkları gibi

* Corresponding author.

E-mail address: saliha.ozarlan@amasya.edu.tr (S. Özarlan)

Received 09 September 2022; Received in revised form 11 November 2022; Accepted 05 December 2022

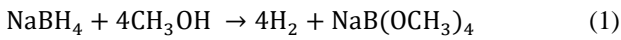
2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1173064>

biyokütleyle dayanan geniş bir kaynak yelpazesinden elde edilen enerjidir [5].

Yenilenebilir enerjiye %100 geçişteki ana zorluk, bu kaynakların değişken ve kesintili doğasıdır. Yenilenebilir enerjilerin geliştirilmesi ve CO₂ emisyonlarının azaltıldığı ulaşım araçlarına duyulan ihtiyaç, sürdürülebilir kalkınma için önemli bir bileşen olan depolamaya ilgiyi artırmıştır [1,6]. Bu bağlamda hidrojenin yenilenebilir ve sürdürülebilir enerjiden tam olarak yararlanmak için önemli bir enerji depolama vektörü olduğuna inanılmaktadır. Hidrojen, su, kömür, doğal gaz, biyokütle, hidrojen sülfür ve bor hidrürler gibi çok sayıda farklı hammaddeden biyokimyasal, termal, elektrolitik veya fotolitik işlemlerle üretilir [7]. Hidrojen, hava kirliliği ve küresel ısınma sorunlarını çözebilecek potansiyelde bir enerji türüdür [8]. Ancak yakıt olarak kullanılmasının en büyük dezavantajı, hidrojenin normal sıcaklık ve basınçlarda gaz halinde olmasının nakliye ve depolamayı zorlaştırmasıdır. Sıkıştırılmış hidrojen, sıvı hidrojen ve hidrojen ile bir depolama malzemesinin (örneğin metal hidrürler) kimyasal bağlarla bağlı olması geliştirilmekte olan depolama sistemleri arasındadır [9].

Kimyasal hidrojen depolama malzemeleri yüksek hidrojen içeriği sayesinde yakıt pilleri için oldukça umut verici hidrojen kaynakları olarak kabul edilir. Bunların arasında, metal bor hidrürler, amonyak boran, amonyak, sulu hidrazin ve hidrazin boran gibi malzemeler, hidrojen içeriği bakımından zengin olmakla birlikte ılıman koşullar altında depolanması ve taşınması kolay olması yönünden de ilgi çekicidirler [10-12]. Metal bor hidrürlerden biri olan NaBH₄ (sodyum bor hidrür), yakıt pilleri için saf hidrojen sağlamada bir kaynak olarak, hidrokarbon ve sera gazı üretmeyen sayılı malzemelerden biri olması, yanıcı olmaması, toksik olmaması ve yüksek gravimetrik hidrojen depolama kapasitesi sayesinde öne çıkmıştır. NaBH₄'ün en büyük avantajı ise, reaksiyon hızını kontrol etmek için katalizörler kullanılarak oda sıcaklığında dahi hidroliz yoluyla hidrojenin kolayca üretilmesidir [13]. Ancak araştırmacılar son zamanlarda çözücü olarak su yerine alkoller, özellikle metanol kullanımının daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir. NaBH₄ metanoliz yoluyla çok daha düşük sıcaklıklarda bile daha hızlı bir reaksiyon elde edilir. Ayrıca NaBH₄ metanol içerisinde suda olduğundan daha yüksek çözünürlüğe sahiptir [14]. NaBH₄'ün metanoliz reaksiyonu Denklem 1'de gösterildiği şekilde gerçekleşir.



Bununla birlikte, NaBH₄'ün metanolizinde bozunma reaksiyonlarının kinetik olarak sıfır olması karşılaşılan dezavantajlardan biridir. Ancak katalizör kullanılarak hidrojen üretimi hızı kontrol edilebilir [15]. Platin ve Rutenyum gibi değerli metallere, bilinen etkin katalizör malzemeleridir. Ancak bol bulunmaması ve kullanımının pahalı olması sebebiyle tercih edilmemektedir [16]. Bunun yerine son zamanlarda katalizör malzemesi olarak mikroalg türleri [17,18], kahve atığı [19], kayısı çekirdeği kabuğu [20], mısır sapı [21], pamuk lifleri [22], çay fabrikası atığı [23], nar kabuğu [24], göl tortusu [25], metalürjik atık çamur [26] ve portakal kabuğu [27] gibi malzemelerin kullanıldığı çalışmalara rastlamak mümkündür. Bu çalışmada ise, asetik asit ile muamele

edilmiş metal destekli atık asfalt katalizörü kullanılarak NaBH₄ metanoliz yoluyla hidrojen üretimi incelenmiştir. Yol yapısını oluşturan asfalt malzeme, kullanım ömrünü tamamladıktan sonra veya çeşitli nedenlerle deforme olmaktadır. Kullanılmaz hale geldiğinde kaplandığı yerden kazınarak sökülür. Sökülen asfalt tabakaları, içinde bulunan bitüm nedeniyle rijit bir yapıya sahip olmaması sonucunda doğrudan dolgu, beton gibi amaçlarla değerlendirilememektedir. Ancak çeşitli proseslerden ve uygulamalardan geçirilerek farklı alanlarda ve formlarda değerlendirilmesi mümkündür [28].

2 Materyal ve Metot

2.1 Metal Katkılı Atık Asfalt Katalizörünün Hazırlanması

Karayollarından alınan atık asfalt, ilk etapta 500 mikron boyutunda öğütülerek 3M HCl ile yıkandıktan sonra bolca saf sudan geçirilip kullanıma hazır hale getirilmiştir. Hazır hale getirilen atık asfalttan katalizörün hazırlanması için, 5 g atık asfalt üzerine 20 ml 3M CH₃COOH (asetik asit) çözeltisi ve ayrı ayrı % 30 metal olacak şekilde Cu²⁺ (Bakır), Ni²⁺(Nikel), Co²⁺(Kobalt) tuzları ile karıştırılmıştır. Elde edilen üç karışım 24 saat süreyle 80 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Daha sonra karışımlar, katalizörün sentezlenmesi için inert ortamda 400 °C'de yakılmıştır. Çalışma kapsamında farklı metal türleri (Cu, Ni ve Co) ile deneyler yapılarak en etkin metal türünün belirlenmesinin ardından farklı metal oranlarında (% 10, 20, 30, 40 ve 50) deneyler yapılmış ve en verimli katalizör içeriği belirlenmiştir. Ardından farklı katalizör miktarları (0,05, 0,1, 0,15 ve 0,25 gram), çeşitli NaBH₄ miktarları (0,1, 0,25, 0,5 ve 0,75 gram) ve farklı deney sıcaklıklarında (30, 40, 50 ve 60 °C) deneyler yapılarak en yüksek hidrojen veriminin elde edilmesi amaçlanmıştır. Son olarak katalizör art arda 5 farklı deneyde kullanılarak yeniden kullanılabilirliği test edilmiştir. Her bir deney öncesinde katalizör ayrıştırılıp yıkayıp kurularak hazırlık evresinden geçirilmiştir. Başlangıç şartlarında reaksiyon 0,1 gram katalizör, 0,25 gram NaBH₄ (% 98, Sigma aldrich) ve 10 ml metanol (≥% 99,9, Sigma aldrich) karışımının 30 °C sıcaklıkta tepkimeye girmesiyle gerçekleştirilmiştir. Oluşan hidrojen gazı, gaz toplama ünitesinde toplanarak zamana bağlı ölçümü yapılmıştır.

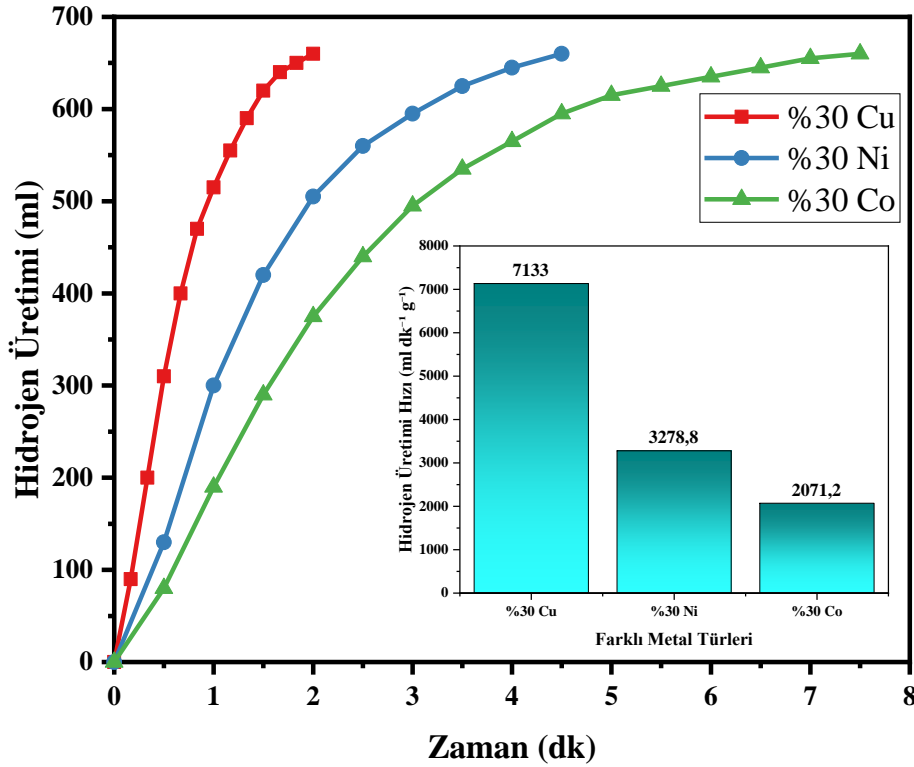
3 Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1 Farklı Metal Türlerinin Atık Asfalt Katalizörünün Katalitik Aktivitesine Etkisi

Atık asfalt (AA) malzemenin Cu, Ni ve Co olmak üzere 3 farklı metal kullanılarak hazırlanan katalizörlerin hidrojen üretimi verimleri Şekil 1'de görülmektedir. Deneyler sonucunda en yüksek verim Cu katkılı asetik asit ile muamele edilmiş atık asfalt katalizöründen elde edilmiştir. Hidrojen üretim hızı 7133 ml dk⁻¹ g⁻¹ olarak kaydedilmiştir. Ni ve Co için hidrojen üretimi hızları sırasıyla 3278,8 ve 2071,2 ml dk⁻¹ g⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Reaksiyon süreleri ise AA-Cu katalizörü için 2 dakika, AA-Ni katalizörü için 4,5 dakika ve AA-Co katalizörü için 7,5 dakikadır. Katalizörleri protonlamak için 3M CH₃COOH kullanılmıştır. Özarslan vd. [29],

NaBH_4 metanoliz reaksiyonunda çay fabrikası atıkları ve Cu katalizörü kullanarak yaptıkları çalışmada protonasyon ajanı olarak CH_3COOH kullanmışlardır. Buna göre hidrojen üretimi hızı $3687,6 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$, reaksiyon süresi ise 4 dakika olarak kaydedilmiştir. Xu vd. [30], NaBH_4 metanoliziyle hidrojen üretimi için

$\text{SO}^{2-}_4/\text{M}_x\text{O}_y$ ($\text{M} = \text{Cu}, \text{Co}, \text{Fe}$) katalizörlerinin katalitik özelliklerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre en verimli katalizörün Cu kullanılan katalizör olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda en kısa reaksiyon süresi bu katalizörde elde edilmiştir (yaklaşık 800 saniye).

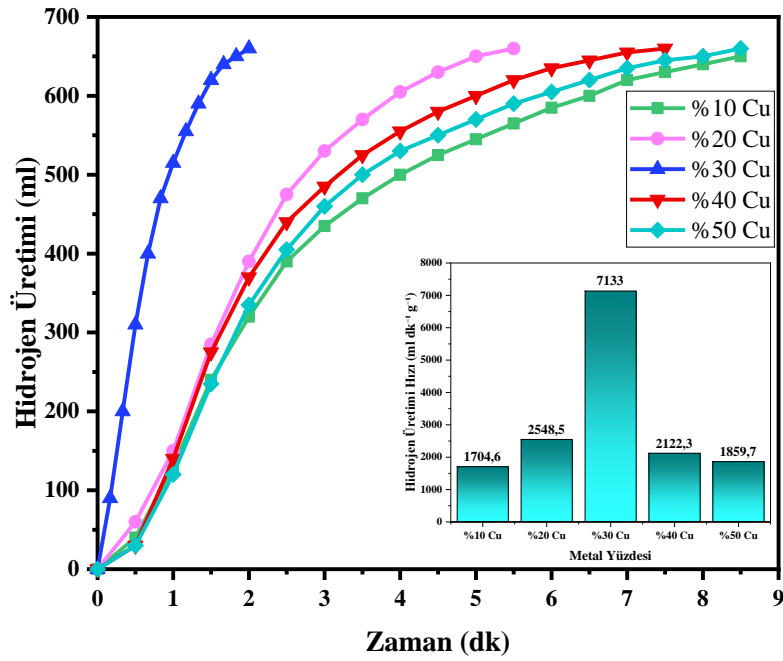


Şekil 1. Farklı metal türleri için zamanın bir fonksiyonu olarak hidrojen üretim hızının değişimi (Reaksiyon Koşulları: $\text{NaBH}_4 = 0,25 \text{ g}$, Katalizör = $0,1 \text{ g}$, $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $V_{\text{metanol}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$).

3.2 Farklı Bakır Oranlarının Atık Asfalt Katalizörünün Katalitik Aktivitesine Etkisi

En verimli metal türünün Cu olarak belirlenmesinin ardından farklı Cu oranlarında AA-Cu katalizörünün katalitik aktivitesi araştırılmıştır. % 10, 20, 30, 40 ve 50 olmak üzere beş farklı oranda Cu kullanılmıştır. $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında NaBH_4 metanolizi deneylerinde elde edilen sonuçlar Şekil 2'de görüldüğü gibidir. AA-Cu katalizörü için en iyi hidrojen üretimi verimi % 30 oranında elde edilmiştir ($7133 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$). En düşük hidrojen üretimi verimi ise % 10 Cu oranında $1704,6 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir. % 30 Cu oranında gerçekleştirilen reaksiyonun tamamlanma süresi 2 dakikadır. Cu oranı % 40'a yükseldiğinde reaksiyon süresinin 7,5 dakikaya uzadığı tespit edilmiştir. Saka vd. [31], yaptıkları çalışmada destek malzemesi olarak çinko klorür ile modifiye edilmiş *Chlorella Vulgaris* mikroalgi

ve CuB metal katalizörü kullanarak NaBH_4 metanolizinden hidrojen üretimini incelemişlerdir. % 10, 20, 30 ve 40 CuB katalizörleri ile yaptıkları deneylerde en yüksek verimi % 30 metal yüzdesinde elde etmişlerdir. Aynı zamanda, CuB yüzdesi % 40'a yükselirken, reaksiyonun tamamlanma süresinin 9,5 dakikadan 12 dakikaya yükseldiğini tespit etmişlerdir. Bu sonucun olası bir nedeni olarak Cu metal yüzdesindeki artış nedeniyle Cu metal agregasyonu oluşumunun katalitik aktiviteyi azalttığı düşünülebilir. Bekiroğulları [32], $3\text{M H}_3\text{PO}_4$ ile muamele edilmiş *Chlorella Vulgaris* mikroalg suşu desteği ile asal olmayan Cu-B katalizörünün NaBH_4 metanolizinde etkinliğini araştırdığı çalışmasında, % 10, 20, 30 ve 40 oranlarında Cu kullanmıştır. Maksimum hidrojen üretimi verimleri % 10 ila 40 arasında Cu oranları için sırasıyla $8800, 6500, 2222$ ve $1736 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

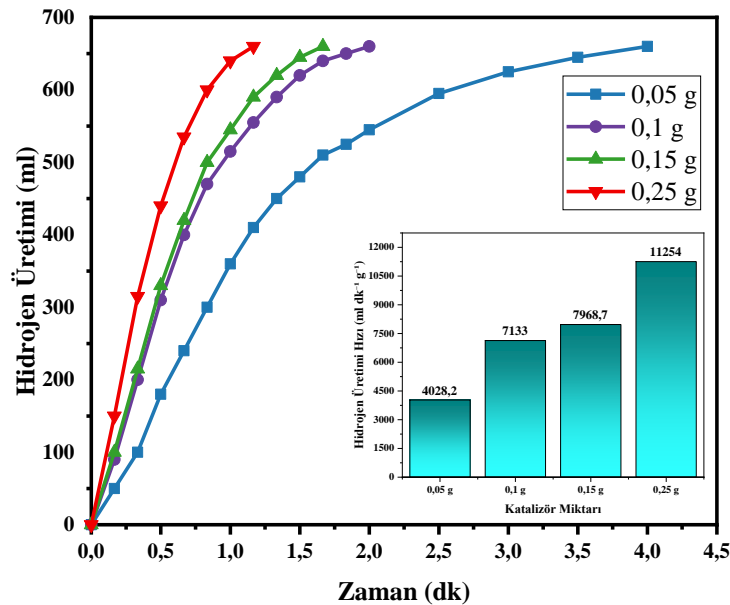


Şekil 2. Farklı metal oranları için zamanın bir fonksiyonu olarak hidrojen üretim hızının değişimi (Reaksiyon Koşulları: $\text{NaBH}_4 = 0,25$ g, Katalizör = 0,1 g, $T = 30$ °C, $V_{\text{metanol}} = 10$ ml).

3.3 Katalizör Miktarının Hidrojen Üretimi Üzerindeki Etkisi

Hidrojen üretiminin zamana bağlı değişimi % 30 oranında Cu kullanılan atık asfalt katalizörü kullanılarak ölçülmeye devam edilmiştir. Metanoliz deneylerinde farklı katalizör miktarlarının etkisinin araştırıldığı deney sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir. 0,05 ila 0,25 aralığında dört farklı konsantrasyonda katalizör kullanılmıştır. En yüksek hidrojen üretimi verimi 0,25 gram katalizör için $11254 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir. Katalizör miktarı azaldıkça hidrojen veriminin düştüğü görülmektedir (Şekil 3). Reaksiyon süreleri 0,05, 0,1, 0,15 ve 0,25 gram katalizör için sırasıyla yaklaşık 4, 2, 1,5 ve 1 dakikadır. Katalizör miktarının artmasıyla reaksiyon süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Karakaş vd. [17], Spirulina Platensis atık destekli Pd-Co katalizörü kullanarak

yaptıkları metanoliz deneylerinde aynı sonuca ulaşmışlardır. 30 °C deney sıcaklığında 0,05, 0,1, 0,15 ve 0,25 g katalizör için reaksiyonlar sırasıyla 4,3, 1,8 ve 1,4 ve 0,3 dakika sürede tamamlanmıştır. Bu deneylerin katalizör tarafından düzenlenen reaksiyonlar olduğu ve katalizör miktarı arttıkça NaBH_4 metanolizinin reaksiyon tamamlanma süresinin kısaldığı sonucuna varmışlardır. Kaya ve Bekiroğulları [33], Siirt fıstığı kabuğundan elde edilen aktif karbon destekli Co-B katalizörünü kullanarak yaptıkları NaBH_4 metanolizi çalışmalarında, katalizör miktarının hidrojen üretimine etkisini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre, 0,2 g katalizör varlığında gerçekleştirilen reaksiyon yaklaşık 1,7 dakikada, 0,05 g katalizör varlığında gerçekleştirilen reaksiyon 7,5 dakikada tamamlanmıştır. Kullanılan katalizör miktarı arttıkça reaksiyon süresinin kısaldığı tespit edilmiştir.

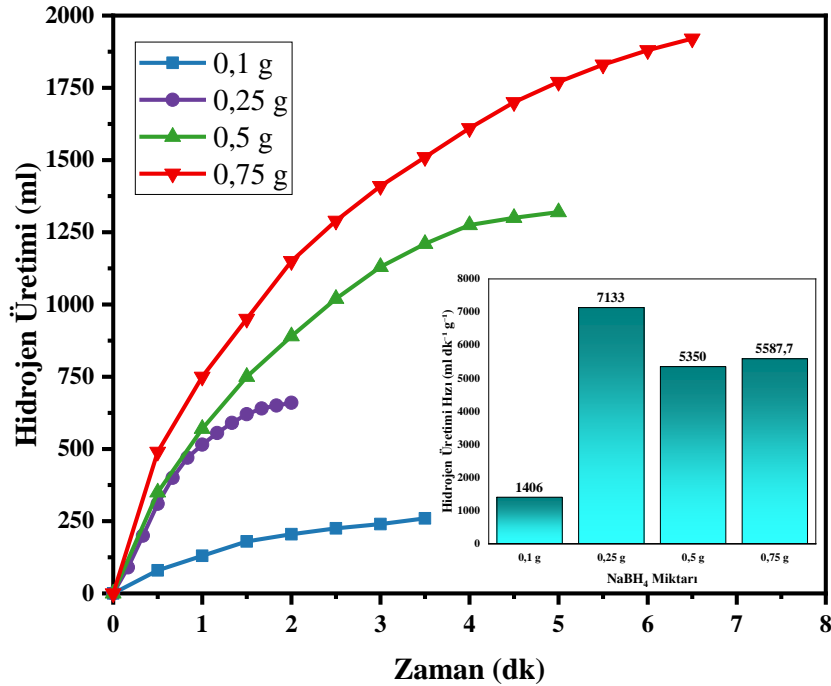


Şekil 3. Farklı katalizör miktarları için zamanın bir fonksiyonu olarak hidrojen üretim hızının değişimi (Reaksiyon Koşulları: $\text{NaBH}_4 = 0,25$ g, $T = 30$ °C, $V_{\text{metanol}} = 10$ ml).

3.4 NaBH₄ Miktarının Hidrojen Üretimi Üzerindeki Etkisi

% 30 Cu katkılı asetik asit ile muamele edilmiş atık asfalt malzemeden üretilen katalizör kullanılarak NaBH₄ miktarının hidrojen verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. 0,1, 0,25, 0,5 ve 0,75 gram olmak üzere dört farklı NaBH₄ konsantrasyonu için deney sonuçları Şekil 4'te görülmektedir. En yüksek hidrojen üretimi verimi 0,25 gram NaBH₄ miktarında 7133 ml dk⁻¹ g⁻¹ olarak kaydedilmiştir. Reaksiyon 2 dakika sürmüştür. 0,1, 0,5 ve 0,75 gram NaBH₄ miktarlarında hidrojen üretimi verimleri sırasıyla 1406, 5350 ve 5587,7 ml dk⁻¹ g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Duman vd. [15], Microcystis Aeruginosa

destekli manganiz katalizörü kullanarak NaBH₄ metanoliz deneyleri yapmışlardır. % 1, 2,5, 5 ve 7,5 NaBH₄ miktarlarında yaptıkları deneylerde NaBH₄ miktarı arttıkça hidrojen üretimi veriminin arttığını tespit etmişlerdir. AA-Cu katalizörü için böyle bir durumdan bahsedilemez. Su vd. [34], Ru/Al₂O₃ katalizörünü kullanarak yaptıkları çalışmada metanoliz ve hidroliz reaksiyonlarında NaBH₄'ün hidrojen üretimine etkisini ölçmek için % 1, 2,5, 5 ve 10 oranlarında NaBH₄ kullanmışlardır. Buna göre, hidrojen üretiminin hidroliz reaksiyonunda NaBH₄ konsantrasyonuna bağlı olduğunu ancak metanoliz için öyle olmadığını tespit etmişlerdir.



Şekil 4. Farklı NaBH₄ miktarları için zamanın bir fonksiyonu olarak hidrojen üretim hızının değişimi (Reaksiyon Koşulları: Katalizör = 0,1 g, T = 30 °C, V_{metanol} = 10 ml).

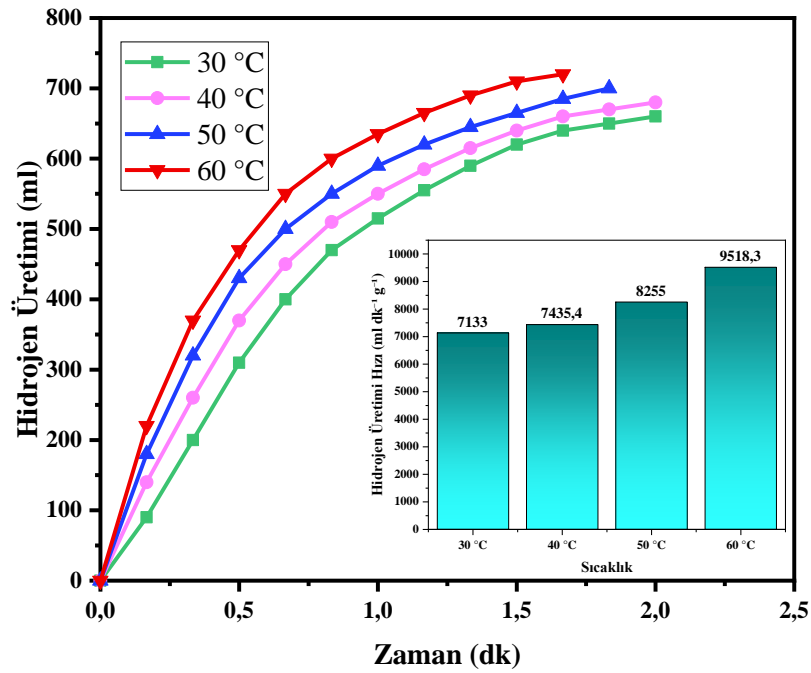
3.5 Deney Sıcaklığının Hidrojen Üretimi Üzerindeki Etkisi

Farklı deney sıcaklıklarının (30, 40, 50 ve 60 °C) etkisi 0,1 gram AA-Cu katalizörü, 0,25 gram NaBH₄ ve 10 ml metanol kullanılarak incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek verim (9518,3 ml dk⁻¹ g⁻¹) en yüksek sıcaklık olan 60 °C'de belirlenmiştir (Şekil 5). Aynı zamanda en kısa reaksiyon süresi de bu sıcaklıkta kaydedilmiştir. Hidrojen üretimi hızı sıcaklıkla birlikte kademeli olarak azalmıştır. 50, 40 ve 30 °C deney sıcaklıklarında sırasıyla 8255, 7435,4 ve 7133 ml dk⁻¹ g⁻¹ hidrojen üretimi hızı elde edilmiştir. Kaya [35], kahve atığı katalizörünü kullanarak yaptığı NaBH₄ metanoliz deneylerinde hidrojen üretimi hızının sıcaklıkla doğru orantılı şekilde arttığını tespit etmiştir. 60 °C sıcaklıkta elde ettiği hidrojen üretimi hızı 13332 ml dk⁻¹ g⁻¹'dir. Karakaş [36] ise nar kabuğu destekli NH₂/PdMnAg katalizörü varlığında NaBH₄ metanolizini araştırdığı

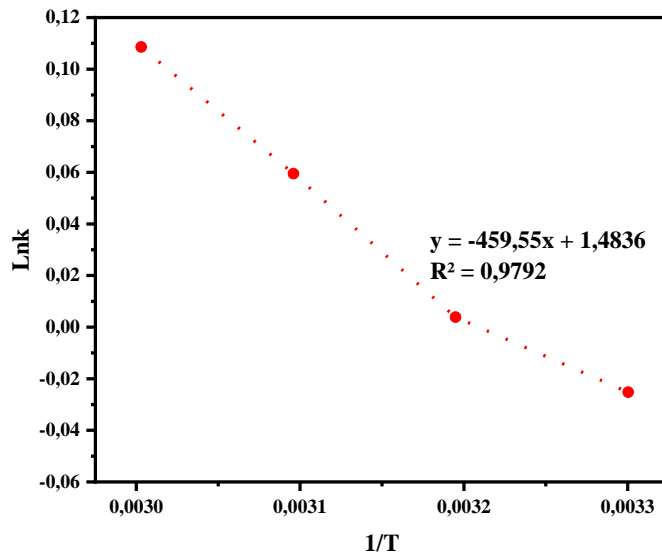
çalışmasında, 30, 40, 50 ve 60 °C deney sıcaklıklarında hidrojen üretimi verimlerinin sırasıyla 7209,4, 8689,6, 10324 ve 11334 ml dk⁻¹ g⁻¹ olduğunu tespit etmiştir. Reaksiyon süreleri sıcaklık arttıkça azalmıştır.

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

3M CH₃COOH ile muamele edilmiş Cu katkılı atık asfalt katalizörünün NaBH₄ metanolizinde hidrojen üretimi reaksiyonunda aktivasyon enerjisinin hesaplanması için Arrhenius denklemi kullanılmıştır. Denklem 2'de, k reaksiyon hız sabiti, A reaksiyon sabiti, E_a aktivasyon enerjisi (kJ/mol), T sıcaklık (K) ve R ideal gaz sabitidir. 1/T'ye karşı ln(k) grafiği Şekil 6'da gösterilmektedir. Eğri doğrusala yakın bir profil sergilemektedir. AA-Cu katalizörünün aktivasyon enerjisi 38,2 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Farklı deney sıcaklıkları için zamanın bir fonksiyonu olarak hidrojen üretim hızının değişimi (Reaksiyon Koşulları: NaBH₄ = 0,25 g, Katalizör = 0,1 g, V_{metanol} = 10 ml).

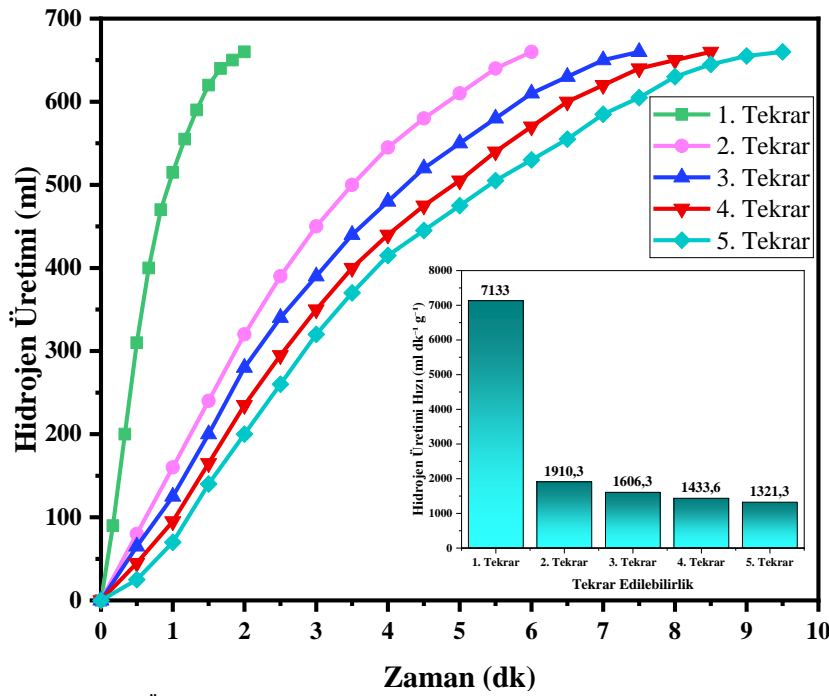


Şekil 6. Atık Asfalt Katalizörünün Kinetik Grafiği (NaBH₄ = 0,25 g, Katalizör = 0,1 g, V_{metanol} = 10 ml).

3.6 Metal Katkılı Atık Asfalt Katalizörünün Tekrar Kullanılabilirliğinin Ölçümü

AA-Cu katalizörünün yeniden kullanılabilirlik performansı art arda yapılan beş farklı metanoliz reaksiyonunda ölçülmüştür. Her bir deney öncesinde katalizör ayrıştırılmış, yıkanmış ve kurutulmuştur. İlk deneyde hidrojen üretimi hızı 7133 ml dk⁻¹ g⁻¹ iken verim kademeli olarak düşmüştür. 5. deneyde hidrojen üretimi hızı 1321,3 ml dk⁻¹ g⁻¹ olarak ölçülmüştür. Reaksiyon süreleri ise 1, 2, 3, 4 ve 5. deneylerde sırasıyla 2, 6, 7,5, 8,5 ve 9,5 dakika olmak üzere gittikçe uzadığı tespit edilmiştir (Şekil 7). Tekrar deneylerinde görülen verim düşüşünün olası sebepleri olarak katalizör hazırlık işlemlerindeki kütle kaybı ve yıkama sırasında özellik kaybı gösterilebilir. Xu vd. [13], Co/Al₂O₃ katalizörü kullanarak NaBH₄ metanolizinden hidrojen üretimi gerçekleştirmişlerdir. Katalizörün etkinliğini ölçmek için

tekrar deneyleri yapmışlardır. Her deneyden sonra, kullanılan katalizör ayrıştırılmış, deiyonize su ile durulanmış ve tekrar kurutulmuştur. Yaptıkları beş farklı tekrar deneyinin sonrasında katalizör yüzeyinin daha pürüzsüz hale geldiğini tespit etmişlerdir. Aktif madde içeriğinde kayıp ve yüzey bileşiminde değişim görülmüştür. Demirci vd. [37], NaBH₄ metanolizinden hidrojen üretimi için metal içermeyen bir katalizör olarak gözenekli karbon parçacıklarını kullanmışlardır. Tekrar deneyleri, NaBH₄ metanolizinde 20 ml metanol içeren 50 mg katalizöre 0,0965 g NaBH₄'ün arka arkaya beş kez eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Rejenerasyon çalışması ise metanolizde kullanılan katalizörün her kullanımdan sonra iki kez su ve ardından bir kez metanol ile yıkanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Katalizörün rejenerasyonu işleminin her kullanımdan sonra katalitik aktivitedeki düşüşü geciktirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. Atık Asfalt Katalizörünün Hidrojen Üretimi Deneylerinde Tekrar Kullanılabilirliği (Reaksiyon Koşulları: $\text{NaBH}_4 = 0,25$ g, Katalizör = 0,1 g, T = 30 °C, $V_{\text{metanol}} = 10$ ml).

4 Sonuç

Fosil enerji kaynaklarının yerini alabilecek yenilenebilir ve temiz enerji kaynağı arayışının hız kazandığı günümüzde, ekonomik değeri olmayan atık malzemelerin bu alanda değerlendirilmesi iki katı yarar sağlamak yönünden oldukça ilgi çekicidir. Bu çalışmada, atık asfalt malzemesi kullanılarak NaBH_4 'den metanoliz yoluyla hidrojen üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı metal türleri kullanılmış ve en verimli metal türünün Cu olduğu belirlenmiştir. Ardından farklı oranlarda Cu ile deneyler yapılmış ve en etkin katalizör % 30 oranında tespit edilmiştir. En verimli katalizör, 3M asetik asit ve % 30 Cu ile muamele edilmiş atık asfalt malzemenin elde edilmiştir. Belirlenen en verimli katalizör varlığında, en yüksek hidrojen verimini elde etmek için farklı katalizör miktarları, farklı NaBH_4 konsantrasyonları ve farklı sıcaklıklar kullanılarak deneyler yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Bu parametrelerden elde edilen en iyi maksimum hidrojen üretim hız sonuçları sırasıyla aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- 0,25 gram katalizör için $11254 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir.
- En yüksek hidrojen üretimi verimi 0,25 gram NaBH_4 miktarında $7133 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir. Reaksiyon 2 dakika sürmüştür. 0,1, 0,5 ve 0,75 gram NaBH_4 miktarlarında hidrojen üretimi verimleri sırasıyla 1406, 5350 ve $5587,7 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- 60 °C sıcaklıkta elde ettiği hidrojen üretimi hızı $13332 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$ 'dir.

Maksimum hidrojen üretimi verimi $9518,3 \text{ ml dk}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ve katalizörün aktivasyon enerjisi $38,2 \text{ kJ/mol}$ olarak belirlenmiştir. Atık bir malzemenin bu denli önemli bir alanda değerlendirilerek geçerli sonuçlar elde edilmesi oldukça umut vericidir.

Bilgilendirme

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Dawood, F., Anda, M., & Shafiuallah, G. (2020). Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(7), 3847-3869.
- [2] Najjar, Y. S. (2011). Gaseous pollutants formation and their harmful effects on health and environment. *Innovative energy policies*, 1, 1-9.
- [3] Slezakova, K., Pires, J., Martins, F., Pereira, M., & Alvim-Ferraz, M. (2011). Identification of tobacco smoke components in indoor breathable particles by sem-eds. *Atmospheric Environment*, 45(4), 863-872.
- [4] Thellufsen, J. Z., Lund, H., Sorknæs, P., Østergaard, P., Chang, M., Drysdale, D., Nielsen, S., Djørup, S., & Sperling, K. (2020). Smart energy cities in a 100% renewable energy context. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109922.
- [5] Bull, S. R. (2001). Renewable energy today and tomorrow. *Proceedings of the IEEE*, 89(8), 1216-1226.
- [6] Amrouche, S. O., Rekioua, D., Rekioua, T., & Bacha, S. (2016). Overview of energy storage in renewable energy systems. *International journal of hydrogen energy*, 41(45), 20914-20927.
- [7] Zhang, F., Zhao, P., Niu, M., & Maddy, J. (2016). The survey of key technologies in hydrogen energy storage. *International journal of hydrogen energy*, 41(33), 14535-14552.
- [8] Sürmen, Y. and Demrbas, A. (2002). Thermochemical conversion of residual biomass to hydrogen for turkey. *Energy Sources*, 24(5), 403-411.
- [9] Demirbas, A. and Arin, G. (2004). Hydrogen from biomass via pyrolysis: Relationships between yield of hydrogen and temperature. *Energy Sources*, 26(11), 1061-1069.
- [10] Yao, Q., Ding, Y., & Lu, Z.-H. (2020). Noble-metal-free nanocatalysts for hydrogen generation from boron-and nitrogen-based hydrides. *Inorganic Chemistry Frontiers*, 7(20), 3837-3874.

- [11] Hamilton, C. W., Baker, R. T., Staubitz, A., & Manners, I. (2009). B-n compounds for chemical hydrogen storage. *Chemical Society Reviews*, 38(1), 279-293.
- [12] Lang, C., Jia, Y., & Yao, X. (2020). Recent advances in liquid-phase chemical hydrogen storage. *Energy Storage Materials*, 26, 290-312.
- [13] Xu, D., Zhao, L., Dai, P., & Ji, S. (2012). Hydrogen generation from methanolysis of sodium borohydride over co/al₂o₃ catalyst. *Journal of natural gas chemistry*, 21(5), 488-494.
- [14] Demirci, S., Sunol, A. K., & Sahiner, N. (2020). Catalytic activity of amine functionalized titanium dioxide nanoparticles in methanolysis of sodium borohydride for hydrogen generation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 261, 118242.
- [15] Duman, F., Atelge, M., Kaya, M., Atabani, A., Kumar, G., Sahin, U., & Unalan, S. (2020). A novel microcystis aeruginosa supported manganese catalyst for hydrogen generation through methanolysis of sodium borohydride. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(23), 12755-12765.
- [16] Kaya, M. (2020). Evaluating organic waste sources (spent coffee ground) as metal-free catalyst for hydrogen generation by the methanolysis of sodium borohydride. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(23), 12743-12754.
- [17] Karakaş, D. E., Akdemir, M., Atabani, A., & Kaya, M. (2021). A dual functional material: Spirulina platensis waste-supported pd-co catalyst as a novel promising supercapacitor electrode. *Fuel*, 304, 121334.
- [18] Inal, I. I. G., Akdemir, M., & Kaya, M. (2021). Microcystis aeruginosa supported-mn catalyst as a new promising supercapacitor electrode: A dual functional material. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(41), 21534-21541.
- [19] Akdemir, M., Avcı Hansu, T., Çağlar, A., Kaya, M., & Demir Kıvrak, H. (2021). Ruthenium modified defatted spent coffee catalysts for supercapacitor and methanolysis application. *Energy Storage*, 3(4), e243.
- [20] Fangaj, E. and Ceyhan, A. A. (2020). Apricot kernel shell waste treated with phosphoric acid used as a green, metal-free catalyst for hydrogen generation from hydrolysis of sodium borohydride. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(35), 17104-17117.
- [21] Bolat, M., Yavuz, C., & Kaya, M. (2021). Investigation of dual-functionalized novel carbon supported sn material from corn stalk for energy storage and fuel cell systems on distributed generations. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(13), 18123-18137.
- [22] Ali, F., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2019). Chitosan coated cellulose cotton fibers as catalyst for the h₂ production from NaBH₄ methanolysis. *International journal of hydrogen energy*, 44(8), 4143-4155.
- [23] Özarslan, S., Atelge, M. R., Kaya, M., & Ünalın, S. (2021). Production of dual functional carbon material from biomass treated with naoh for supercapacitor and catalyst. *Energy Storage*, 3(5), e257.
- [24] Akdemir, M., Karakaş, D. E., & Kaya, M. (2022). Synthesis of a dual-functionalized carbon-based material as catalyst and supercapacitor for efficient hydrogen production and energy storage: Pd-supported pomegranate peel. *Energy Storage*, 4(1), e284.
- [25] Bekiroğulları, M., Abut, S., Duman, F., & Hansu, T.A. (2021). Lake sediment based catalyst for hydrogen generation via methanolysis of sodium borohydride: An optimization study with artificial neural network modelling. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 134(1), 57-74.
- [26] Fangaj, E., Ali, A. A., Güngör, F., Bektaş, S., & Ceyhan, A.A. (2020). The use of metallurgical waste sludge as a catalyst in hydrogen production from sodium borohydride. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(24), 13322-13329.
- [27] Karakaş, D. E. (2021). A novel cost-effective catalyst from orange peel waste protonated with phosphoric acid for hydrogen generation from methanolysis of NaBH₄. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- [28] Şeref, O., Yılmaz, B., & Mazlum, M. S. (2018). Geri kazanılan asfalt kaplamaların sıcak asfalt karışımlarda yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 87-93.
- [29] Özarslan, S., Atelge, M., Kıvrak, H.D., Horoz, S., Yavuz, C., Kaya, M., & Ünalın, S. (2021). A double-functional carbon material as a supercapacitor electrode and hydrogen production: Cu-doped tea factory waste catalyst. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(24), 28909-28918.
- [30] Xu, D., Lai, X., Guo, W., Zhang, X., Wang, C., & Dai, P. (2018). Efficient catalytic properties of so₄²⁻/m_xo_y (m= cu, co, fe) catalysts for hydrogen generation by methanolysis of sodium borohydride. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(13), 6594-6602.
- [31] Saka, C., Kaya, M., & Bekiroğulları, M. (2020). Chlorella vulgaris microalgae strain modified with zinc chloride as a new support material for hydrogen production from NaBH₄ methanolysis using cub, nib, and feb metal catalysts. *International journal of hydrogen energy*, 45(3), 1959-1968.
- [32] Bekiroğulları, M. (2019). Catalytic activities of non-noble metal catalysts (cub, feb, and nib) with c. Vulgaris microalgal strain support modified by using phosphoric acid for hydrogen generation from sodium borohydride methanolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(29), 14981-14991.
- [33] Kaya, M. and Bekiroğulları, M. (2019). Tarımsal atıktan elde edilen aktif karbon destekli co-b katalizörü varlığında sodyum borhidrürün metanolizi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(1), 80-86.
- [34] Su, C.-C., Lu, M.-C., Wang, S.-L., & Huang, Y.-H. (2012). Ruthenium immobilized on al₂o₃ pellets as a catalyst for hydrogen generation from hydrolysis and methanolysis of sodium borohydride. *RSC advances*, 2(5), 2073-2079.
- [35] Kaya, M. (2020). Production of metal-free catalyst from defatted spent coffee ground for hydrogen generation by sodium borohydride methanolysis. *International journal of hydrogen energy*, 45(23), 12731-12742.
- [36] Karakaş, D.E. (2021). Nar kabuğu destekli nh₂/pdmnag katalizörü varlığında sodyum bor hidrürün metanolizinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 72-83.
- [37] Demirci, S., Yıldız, M., Inger, E., & Sahiner, N. (2020). Porous carbon particles as metal-free superior catalyst for hydrogen release from methanolysis of sodium borohydride. *Renewable Energy*, 147, 69-76.



MODELLING OF THE EFFECTS OF ANGLE DEEP DRAWING PROCESS PARAMETERS OF SQUARE PROFILE CUP WITH FUZZY LOGIC

Engin Ünal^{*1}, Betül Akın¹, Faruk Karaca¹

¹Firat University Technology Faculty Department of Mechanical Engineering, Elazığ, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

In this study, the effects of punch radius, die radius, die angle and blank holder force, which are the parameters affecting the drawing process in angled deep drawing dies, on limit drawing ratio β , punch force F_z and wall thickness t were investigated by experimental and fuzzy logic method. In the experimental design, the punch and die radius is defined as 2 – 10 mm, the die angle is between 2.5° – 15°, and the pressure plate force is between 0 – 9800 N. The fuzzy logic model of the study was prepared in the MATLAB software by determining the appropriate linguistic expressions according to the defined interval values.

As a result, the results obtained with the fuzzy logic model were compared with the experimental data, and the error rates of the fuzzy logic data according to the experimental values were determined as 3.77% for the limit draw ratio, 7.83% for the punch force and 1.64% for the wall thickness. It has been observed that there is not much difference between them and they generally give close results to each other. Depending on these parameters, it will help to determine the limit draw ratio, the wall thickness that causes cup errors, and the most appropriate punch force.

Keywords: Deep drawing, die geometry, fuzzy logic, wall thickness, limit drawing ratio, MATLAB.

KARE PROFİLLİ KAPLARIN AÇILI DERİN ÇEKME İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN BULANIK MANTIK İLE MODELLENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, açılı derin çekme kalıplarında çekme işlemini etkileyen parametrelerden olan zımba radyüsü, kalıp radyüsü, kalıp açısı ve baskı plakası kuvvetinin, limit çekme oranı β (LÇO), zımba kuvveti F_z ve cidar kalınlığı t üzerindeki etkileri deneysel ve bulanık mantık yöntemi ile incelenmiştir. Deney tasarımında zımba ve kalıp radyüsü 2 – 10 mm, kalıp açısı 2.5° – 15°, baskı plakası kuvveti ise 0 – 9800 N arasında tanımlanmıştır. Tanımlanan aralık değerlerine göre uygun dilsel ifadeler belirlenerek, çalışmanın bulanık mantık modeli MATLAB paket programında hazırlanmıştır.

Sonuç olarak, bulanık mantık modeli ile elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile karşılaştırılmış, bulanık mantık verilerinin deneysel değerlere göre hata oranları limit çekme oranı için % 3.77, zımba kuvveti için %7.83 ve cidar kalınlığı için %1.64 olarak belirlenmiştir. Aralarında çok fazla fark olmadığı genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak limit çekme oranının, kapta meydana gelecek hatalara sebep olan uygun cidar kalınlığının ve zımba kuvvetinin belirlenmesinde yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Derin çekme, kalıp geometrisi, bulanık mantık, cidar kalınlığı, limit çekme oranı, MATLAB.

1 Giriş

Kalıplama yöntemi ile sac şekillendirme, seri üretim için yüksek hızı ve düşük maliyeti nedeniyle önemli bir üretim yöntemidir. Derin çekme, metal şekillendirme yöntemleri arasında önemli proseslerden biridir. Ancak sac malzemenin çekilebilirlik sınırları, ondülasyon ve yırtılma hasarları gibi proses hatalarının oluşması bu işlemi sınırlandırmaktadır [1], [2]. Derin çekmede işlem kalitesi,

kalıp boşluğu içine çekilen sacın ölçülerine bağlıdır. Bu işlemlerde önemli olan, malzemenin kalıp içerisine çökertilmesinin kontrol edilmesidir. Bu kontrol, baskı plakasının sac malzeme yüzeyine belirli bir kuvvet uygulaması ile sağlanmaktadır [3]. Dolayısıyla baskı plakası kuvveti, malzemenin kalıp içerisine üniform olarak akmasını sağlayan önemli bir parametredir. Baskı plakasına uygulanan kuvvete ek olarak zımba ve matris radyüsleri, şekillendirme kuvveti, ilkel parça boyutları ve

* Corresponding author.

E-mail address: enginunal@firat.edu.tr (E. Ünal)

Received 16 September 2022; Received in revised form 13 December 2022; Accepted 13 December 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1176199>

hadde yönü gibi faktörler de derin çekme işlemini etkilemektedir [4], [5]. Bu bakımdan, optimum şekillendirilmiş ürünler için çekme işlemini etkileyen uygun çekme parametrelerinin seçilmesi esastır[3], [4].

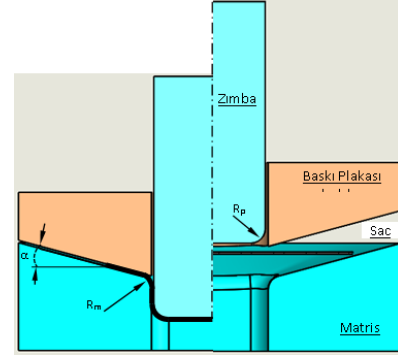
Derin çekilecek kabın birinci operasyonda bir kere eğilip doğrulduğu, ardından ikinci operasyonda ise ikinci sefer eğilerek doğrulduğu dikkate alındığında, derin çekme operasyonlarında işlemleri kolaylaştırmak için zımba ve matris radyüslerinin mümkün olduğu kadar büyük tutulması gerektiği düşünülmektedir. Ancak, gereğinden fazla olan radyüslerin, baskı plakası tutunma yüzeyi azaldığından dolayı ilkel parçanın zımba ile temas etmeyen yüzey alanı artmakta ve istenmeyen ondülasyonlar oluşmaktadır. Diğer taraftan kalıp radyüsünün küçük seçilmesi halinde ise, kap malzemenin kalıbın içine akışı için gerekli olan temas alanı azalmasından dolayı, zımba kesme kalıbı gibi davranacaktır. Bu şekilde yırtılması kolaylaşmaktadır [6]–[8]. Derin çekme işleminde yırtılma hasarı çoğunlukla zımba kenar radyüsündeki bölgede oluşur. Kalıp radyüslerinin küçük değerlerinde, malzeme özelliklerinin yetersizliği, derin çekme oranının büyük seçilmesi, sıkıştırma basıncının yüksek olması, çekme boşluğunun küçük olması, yağlamanın yetersiz veya uygun yağ türünün seçilmemesi bu hasara neden olmaktadır [9]. kalıp geometrisinin uygun olarak boyutlandırılması ve ideal baskı plakası kuvveti seçimi ile ondülasyonlar engellenebilir [10], [11]. Çekme işlemiyle seri üretim yapılabilmesi işlemleri etkileyen parametrelerin optimum değerleri ile mümkündür. Çekme işlemi esnasında kullanılan parametrelere etki eden faktörler bulanık mantık sistemleri kullanılarak modellenilmektedirler. Seri parça üretiminde bulanık mantık sistemlerinin kullanılması uzman bilirkişiye gerek duymaksızın sistem üzerinde uygun parametrelerin seçilmesini sağlamaktadır [12]. Günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan bulanık mantık sistemleri tahmini değerlerle işlem yaptığı için endüstrinin her alanında kullanılabilir.

Derin çekme işlemi endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ancak belirli geometrilerin oluşturulması aşamasında zaman ve maliyet kazanımı için deneysel çalışmalara hala ihtiyaç duyulmaktadır. Açık literatürde, genellikle dairesel geometrinin derin çekilmesine odaklanılırken, kare profile sahip kapların derin çekilmesi üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Literatür değerlendirildiğinde, açılı derin çekme kalıplarında zımba radyüsü, kalıp radyüsü, baskı plakası kuvveti, kalıp açısı ile limit çekme oranı, maksimum zımba kuvveti ve cidar kalınlığı arasındaki ilişkilerin bulanık mantık modeli ile çok fazla incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle parametrelerin tahmini değerlerini belirleyebilmek için bulanık mantık modeli oluşturulmuştur.

2 Materyal Metot

Deneylerde ticari olarak temin edilen soğuk şekillendirmeye uygun 0.9 mm kalınlığında DIN 1.0338 kodlu soğuk haddelenmiş düşük karbonlu çelik saclar kullanılmıştır. Test edilen malzemenin farklı haddeleme yönleri için mekanik özellikleri SHIMATZU çekme test makinesi kullanılarak 5 mm/dak sabit hızda akma dayanımı 194.44 N/mm², çekme dayanımı 318.05 N/mm², Uzama %35, elastikiyet modülü 195.00 kN/mm², ve Poission oranı 0.30 olarak belirlendi. Kalıp elemanları 3

eksenli dik işleme merkezi CNC tezgâhında işlenerek imal edilmiştir (Şekil 1). Kalıp elemanlarının boyutları Tablo 1'de özetlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 2 de gösterilmektedir. Derin çekme işlemi için 5 (mm/dak) sabit hızda 600 kN hidrolik pres tezgâhı kullanıldı. İlkel parçalar dairesel olarak 95- 135 mm aralığında 5 er mm artımlı olarak hazırlandı. Pres ile zımba arasına bağlanan 2 kg hassasiyetindeki 200 kN ölçüm kapasiteli mayın tipi yük hücresi ile zımba kuvveti ölçümleri yapıldı.



Şekil 1. Kalıp elemanları.

Tablo 1. Kalıp elemanlarının boyutları ve parametre seviyeleri.

	Malzemesi	DIN 1.0338 DC04
Sac	İlkel parça çapı (mm)	95-100-105-110-115 -120-125-130-135
	Kalınlık (mm)	0.9
	Malzemesi	DIN 1.2080/X210Cr12
Matris	Delik ölçüsü (mm)	50x50
	Köşe radyüsü (mm)	2 – 4 – 6 – 8 – 10
	Profil radrüsü (mm)	7
	Kalıp açısı (°)	0 – 5 – 10 – 15
Baskı plakası	Malzemesi	DIN 1.0540
	Delik ölçüsü (mm)	50x50
	Profil radyüsü (mm)	7
	Kalıp açısı (°)	0 – 5 – 10 – 15
Zımba	Baskı kuvveti (kN)	2.45 – 4.90 – 7.35 – 9.80
	Malzemesi	DIN 1.2842/90MnCrV8
	Zımba ölçüsü (mm)	48x48
	Köşe radyüsü (mm)	6
	Profil radyüsü (mm)	2 – 4 – 6 – 8 – 10

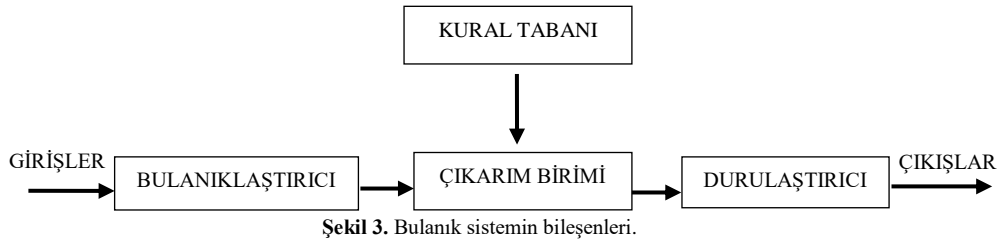


Şekil 2. Deneysel kurulum.

Bulanık kümelere dayalı olan bulanık mantık genelde, insan düşüncesine benzer işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlamakta, gerçek dünyada sık sık meydana gelen belirsiz ve kesin olmayan verileri modellemede yardımcı olmaktadır. Klasik mantıkta bir önerme doğru ya da yanlıştır. Fakat gerçek dünyadaki olayların ne derecede doğru ya da yanlış olduğunu belirlenmesi gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse 100 °C deki su “sıcak” olarak kabul edilirse 95 ve 80 °C deki için “Sıcak değildir” demek

doğru olmadığı gibi yanlışta değildir. Bu yüzden önermelerin “doğru“ ve yanlış değerleri arasındaki ara değerler “az sıcak”, “ılık”, “az soğuk” gibi sınıflandırmalar kullanılarak bulanık küme kavramı ortaya atılmıştır [13].

Bulanık sistemler genellikle matematiksel olarak modellenemeyen problemlerin çözülmesinde kullanılmaktadır. Bir bulanık sistem bulanıklaştırıcı, çıkarım birimi ve durulaştırıcıdan oluşur [14]. Şekil 3’de temel bir bulanık sistemin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 3. Bulanık sistemin bileşenleri.

Bu çalışmada, derin çekmede kalıplama işlemi gerçekleşmeden limit çekme oranı (LÇO), et kalınlığı ve zımba kuvvetinin tahmin edilebilmesi ve istenen değerlerin kontrol altında tutulması için bulanık mantık modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu bulanık mantık modeli MATLAB ortamında Fuzzy Logic Toolbox kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan model için uygun giriş ve

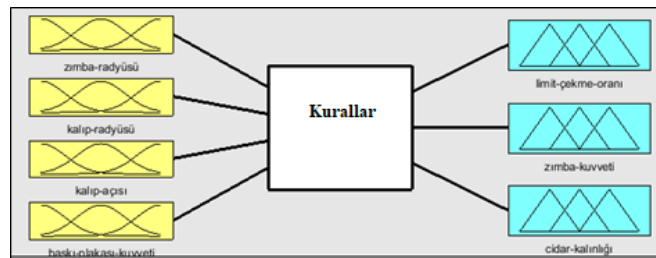
çıkış değişkenleri belirlenmiştir. Limit çekme oranı, et kalınlığı, zımba kuvveti ise çıkış değişkenleridir. Giriş ve çıkış değişkenlerinin dilsel üyelik dereceleri kullanılarak 2240 tane kural ile uygun kural tablosu oluşturulmuştur. Modele uygulanacak giriş değişkenleri ve değerleri Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Bulanık mantık modeline uygulanacak giriş değişkenleri

Zımba Radyüsü r_z (mm)	Kalıp Radyüsü r_k (mm)	Baskı Plakası Açısı ($^{\circ}$)	Matris Açısı ($^{\circ}$)	Baskı Plakası Kuvveti F_b (N)
2	2	0-5	0-5	0-2400
2-4	2-4	5-10	5-10	2400-4800
4-6	4-6	10-15	10-15	4800-7200
6-8	6-8			7200-9600
8-10	8-10			

Giriş ve çıkış değişkenlerinin dilsel ifadelerle dönüştürülme işlemine bulanıklaştırma işlemi denilmektedir. Yapılacak olan ilk işlem ise giriş ve çıkış değişkenlerinin belirlenmesidir. Giriş değişkenleri kalıp radyüsü, zımba radyüsü, matris açısı ve baskı plakası kuvveti, çıkış değişkenleri ise limit çekme oranı, cidar kalınlığı ve çekme kuvveti olarak belirlenmiştir. Belirlenen

giriş ve çıkış değişkenlerine dilsel ifadeler vermek amacıyla üyelik dereceleri tanımlanmıştır. Bulanık mantık modelinin giriş ve çıkış parametreleri Şekil 4’de, giriş parametrelerinin üyelik fonksiyonları ve sınır şartları Şekil 5’de, çıkış parametrelerinin üyelik fonksiyonları ve sınır şartları ise Şekil 6’da gösterilmiştir.



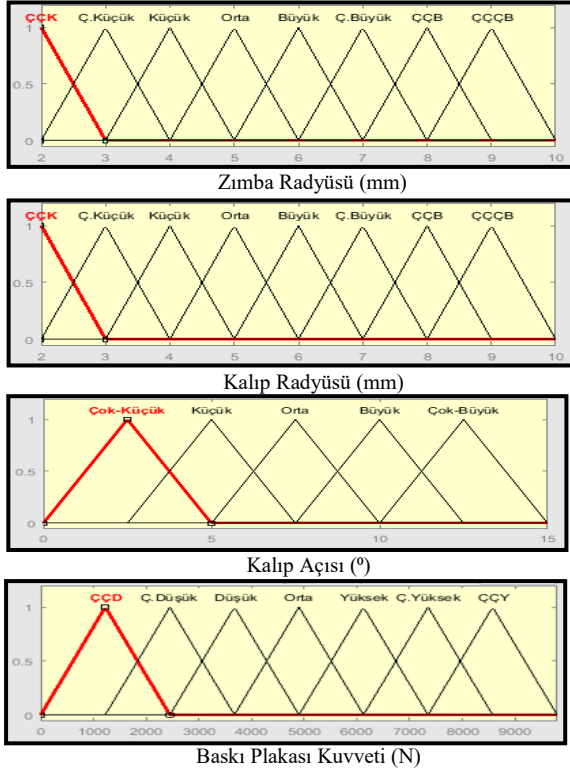
Şekil 4. Fuzzy Logic Toolbox ile bulanık modelinin Giriş ve Çıkış parametreleri.

Giriş ve çıkış parametreleri için üyelik fonksiyonları ve sınır şartları belirlendikten sonra giriş parametrelerinin üyelik derecelerine bağlı olarak $8 \times 8 \times 5 \times 7 = 2240$ tane bulanık mantık kuralı oluşturulmuştur. Bunlardan bazıları;

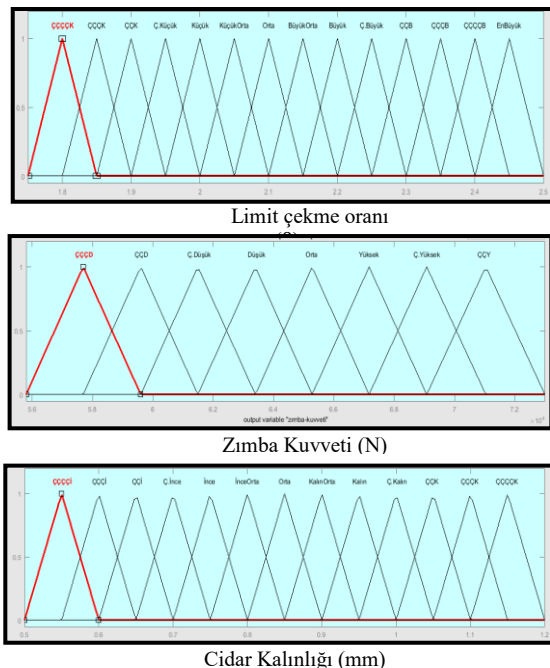
1. Eğer zımba radyüsü küçük kalıp radyüsü küçük baskı plakası açısı çok küçük baskı plakası kuvveti çok düşük ise limit çekme oranı çok çok çok küçük zımba kuvveti çok çok yüksek cidar kalınlığı çok çok incedir;
2. Eğer zımba radyüsü büyük kalıp radyüsü büyük baskı plakası açısı orta baskı plakası kuvveti orta ise limit çekme oranı çok büyük, zımba kuvveti yüksek, cidar kalınlığı çok incedir;
3. Eğer zımba radyüsü çok büyük, kalıp radyüsü orta, baskı plakası açısı büyük, baskı plakası kuvveti düşük ise limit çekme oranı çok büyük, zımba kuvveti orta, cidar kalınlığı orta incedir;
4. Eğer zımba radyüsü orta kalıp radyüsü küçük, baskı plakası açısı çok büyük, baskı plakası kuvveti çok çok yüksek ise limit çekme oranı büyük, zımba kuvveti orta, cidar kalınlığı çok çok incedir;

- Eğer zımba radyüsü çok çok küçük, kalıp radyüsü çok küçük, baskı plakası açısı orta, baskı plakası kuvveti çok çok yüksek ise limit çekme oranı küçük, zımba kuvveti çok yüksek, cidar kalınlığı çok çok çok incedir;
- Eğer zımba radyüsü çok çok büyük, kalıp radyüsü çok çok büyük, baskı plakası açısı büyük, baskı plakası kuvveti çok çok yüksek ise limit çekme oranı çok çok büyük, zımba kuvveti çok düşük, cidar kalınlığı orta incedir;

şeklinde sırasıyla 2240 adet kural yazılmıştır.



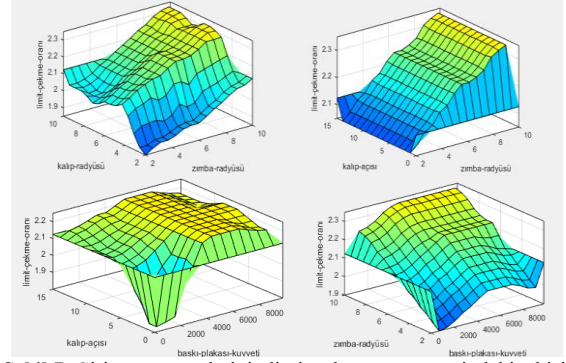
Şekil 5. Giriş parametreleri üyelik fonksiyonu ve sınır şartları.



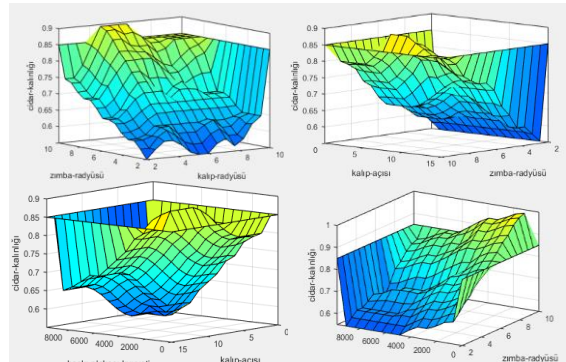
Şekil 6. Çıkış parametreleri üyelik fonksiyonu ve sınır şartları.

3 Sonuçlar ve Tartışma

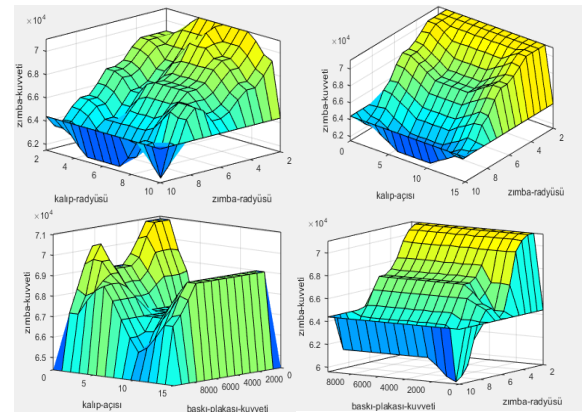
MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'da oluşturulan bulanık mantık modelinin üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak belirlenen giriş parametrelerinin, limit çekme oranı, cidar kalınlığı ve zımba kuvveti üzerindeki etkisini gösteren grafikler Şekil 7-9'da verilmiştir.



Şekil 7. Giriş parametrelerinin limit çekme oranı üzerindeki etkisi.



Şekil 8. Giriş parametrelerinin cidar kalınlığı üzerindeki etkisi.



Şekil 9. Giriş parametrelerinin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.

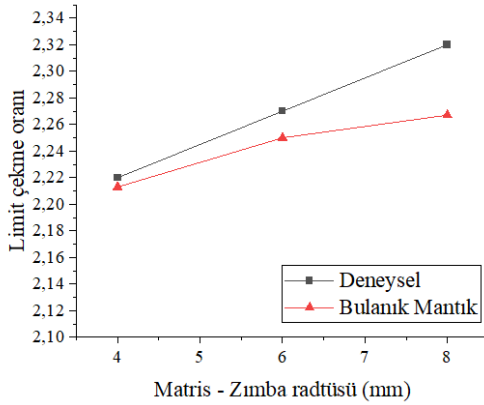
Şekil 7'de, limit çekme oranının en fazla zımba radyüsü ile değiştiği, artan zımba radyüsüne ve kalıp radyüsüne bağlı olarak limit çekme oranı artmıştır. 0°-5° arasındaki kalıp açısı değerlerinde limit çekme oranının artıp, 5°-15° arasında belirlenen değerlerde limit çekme oranının değişiminin olmadığı görülmüştür. Belirlenen düşük baskı plakası kuvvetlerinde limit çekme oranının azaldığı daha sonra artan baskı plakası kuvveti ile limit çekme oranında artış görülmektedir [11].

Şekil 8'de, zımba radyüsünün artması ile cidar kalınlığının arttığı, 0°-5° arasındaki kalıp açısı değerlerinde cidar kalınlığının azaldığı 5°-15° arasında

arttığı ve artan baskı plakası kuvvetine bağlı olarak cidar kalınlığında azalmaların olduğu görülmektedir [4].

Şekil 9'da, zımba radyüsünün artması ile zımba kuvvetinin azaldığı, 0° - 2.5° arasındaki kalıp açısı değerlerinde zımba kuvvetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. 2.5° - 5° arasında zımba kuvvetinin azalarak 5° - 10° arasında orta değerde olduğu, 10° - 15° arasında tekrar yüksek değerlere ulaştığı ve 0-2450 N baskı plakası kuvvetinde zımba kuvvetinin arttığı ancak 2450 N'dan sonra çok fazla bir değişimin olmadığı görülmektedir.

Bulanık mantık modelinden limit çekme oranı için elde edilen sonuçlar ile deneysel veriler karşılaştırıldığında büyük oranda yakın değerler olduğu görülmektedir. Geliştirilen modelin hata oranına bakıldığında ortalama ± 0.03771 oranında hata olduğu belirlenmiştir.



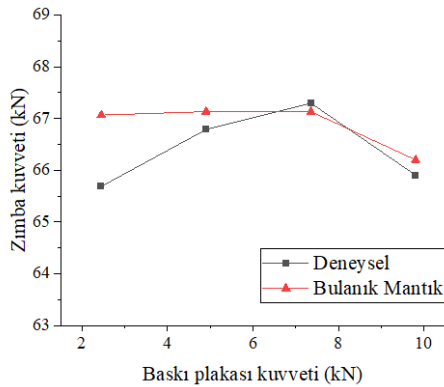
Şekil 10. $\alpha=10^\circ$ ve $F_b=4900$ N için r_z 'ye göre β değerlerinin karşılaştırılması.

Derin çekme sırasında en ideal sonuçları veren giriş değişkenlerinin değerlerine göre limit çekme oranlarının karşılaştırılmasına ait grafikler Şekil 10'da verilmiştir.

Bulanık mantık modelinden zımba için elde edilen sonuçlar ile deneysel veriler karşılaştırıldığında büyük oranda yakın değerler olduğu görülmektedir. Geliştirilen modelin hata oranına bakıldığında ortalama ± 0.078389 oranında hata olduğu belirlenmiştir.

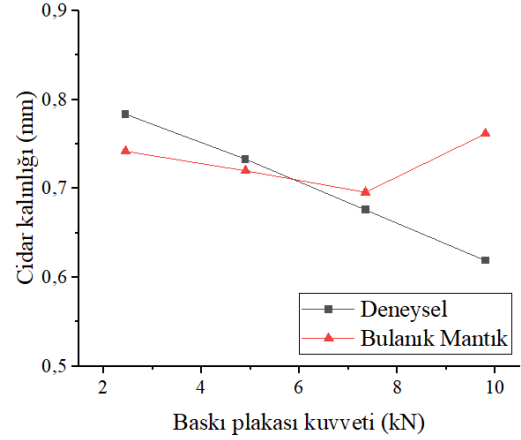
Derin çekme sırasında en ideal sonuçları veren giriş değişkenlerinin değerlerine göre zımba kuvvetlerinin karşılaştırılmasına ait grafik Şekil 11'de verilmiştir.

Zımba kuvvetinin karşılaştırılması için oluşturulan grafikler incelendiğinde ise gerçek değerler ile bulanık mantık değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 11. $r_z=6$ mm ve $\alpha=10^\circ$ için F_b 'ye göre F_z değerlerinin karşılaştırılması.

Bulanık mantık modelinden elde edilen cidar kalınlığı sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırıldığında çıkış değişkenlerine göre yakınlık oranının biraz daha azaldığı görülmüştür. Geliştirilen modelin hata oranına bakıldığında ise ortalama ± 0.0164 oranında olduğu belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. $r_z=6$ mm ve $\alpha=10^\circ$ için F_b 'ye göre t değerlerinin karşılaştırılması.

Cidar kalınlığının karşılaştırılması için oluşturulan grafikler incelendiğinde ise bulanık mantık değerleri ile gerçek değerler arasında çok fazla bir fark olmadığı görülmektedir [15].

4 Sonuçlar

Yapılan çalışmalar, açılı derin çekme kalıplarına en ideal şekilde yırtılma, kulaklanma ve buruşma gibi hatalar meydana gelmeden çekme işleminin uygulanabilmesi için zımba radyüsünün büyük, kalıp radyüsünün büyük, kalıp açısının 5° - 10° arasında ve baskı plakası kuvvetinin mümkün olduğu derecede orta değerde belirlenmesinin önemli olduğunu göstermektedir. Bulanık mantık modelinde tanımlanan değerler dışındaki tahmini değerlerin belirlenmesi elde edilen grafiklerden ara değerlerin okunabilmesi ile mümkün olabilmektedir.

Açılı derin çekme kalıplarına en ideal şekilde yırtılma, kulaklanma ve buruşma gibi hatalar meydana gelmeden çekme işlemi uygulanabilmesi için zımba radyüsünün 6 mm, kalıp radyüsünün 6 mm, kalıp açısının 5° - 10° arasında ve baskı plakası kuvvetinin mümkün olduğu derecede 4900-7350 N arasında belirlenmesinin önemli olduğunu göstermektedir.

En etkili parametreler için elde edilen sonuçlar incelendiğinde limit çekme oranı ve cidar kalınlığı için baskı plakası kuvveti ve kalıp açısının, zımba kuvveti için ise zımba radyüsü ve baskı plakası kuvvetinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Geliştirilen bulanık mantık modelinde aralık değerleri hakkında uzman bir kişiden yardım alınmadığı için grafikler oluşturulurken tahmini değerler deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Açılı derin çekme kalıpları için geliştirilen modelin güvenilirliğini test etmek için deney yoluyla elde edilen gerçek değerler ile bulanık mantık modelinden elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Hata sınırının limit çekme oranı için %3.77, zımba kuvveti için %7.83, cidar kalınlığının ise %1.64 olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde bulanık mantık değerleri ile deneysel değerler arasında çok fazla fark olmadığı genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Geliştirilen bu modelde belirlenen aralıklar dışında tahmini değerlerin belirlenmesi için MATLAB programından elde edilen grafiklerle yorumlanabilmesi mümkün olmaktadır. Bu durum ise geliştirilen modelin esnek bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Bilgilendirme

Bu makale Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Teknolojileri Programı'nda "Açılı Derin Çekme Kalıplarının Bulanık Mantık ile Modellenmesi" adı ile kayıtlı yüksek lisans tezindeki verilerden hazırlanmıştır. Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Özek, C., & Akkelek, H. (2021). Investigation of Deep Drawability of Rectangular Shaped Cups in Deep Drawing Dies. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(2), 187-194.
- [2] Şen, N., Kurgan, N., Karaağaç, İ., & Uluer, O. (2016). İlk Derin Çekme Prosesinde Yağlayıcı Etkisinin Şekillendirilebilirlik Açısından Deneysel Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 19(2), 185-193.
- [3] Özek, C., & Ünal, E. (2011). Optimization and modeling of angular deep drawing process for square cups. *Materials and Manufacturing Processes*, 26(9), 1117-1125.
- [4] Şen, N., Çolakoğlu, İ., & Taşdemir, V. (2012). Investigation of deep drawing of square cups using high-strength DP600 and DP800 sheets. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 5(4), 378-385.
- [5] Şen, N., & Kurgan, N. (2015). Sac Metal Malzemelerin İlk Derin Çekme Yöntemiyle Şekillendirme Prosesinde Malzeme Karakterizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(2), 663-674.
- [6] Mahabunphachai, S., & Koç, M. (2008). Investigation of size effects on material behavior of thin sheet metals using hydraulic bulge testing at micro/meso-scales. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(9), 1014-1029.
- [7] Liu, Y., Li, H., Zhao, H., & Liu, X. (2019). Effects of the die parameters on the self-piercing riveting process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(7), 3353-3368.
- [8] Sato, H., Manabe, K., Ito, K., Wei, D., & Jiang, Z. (2015). Development of servo-type micro-hydraulic deep-drawing apparatus and micro deep-drawing experiments of circular cups. *Journal of Materials Processing Technology*, 224, 233-239.
- [9] Kotkunde, N., Deole, A. D., Gupta, A. K., Singh, S. K., & Aditya, B. (2014). Failure and formability studies in warm deep drawing of Ti-6Al-4V alloy. *Materials & Design*, 60, 540-547.
- [10] Özek, C., & Taşdemir, V. (2018). Derin çekme işlemi sonrası malzemede oluşan sertlik dağılımı üzerine kalıp yüzey açısı, sıcaklık ve baskı plakası kuvveti etkilerinin incelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), 35-41.
- [11] Ünal, E., & Özek, C. (2017). A study on the wall thickness in the angular deep drawing process. *Materials Testing*, 59(2), 178-182.
- [12] Kuram, E., & Özcelik, B. (2016). Micro-milling performance of AISI 304 stainless steel using Taguchi method and fuzzy logic modelling. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(4), 817-830.
- [13] Sivasankaran, S., Narayanasamy, R., Jeyapaul, R., & Loganathan, C. (2009). Modelling of wrinkling in deep drawing of different grades of annealed commercially pure aluminium sheets when drawn through a conical die using artificial neural network. *Materials & Design*, 30(8), 3193-3205.
- [14] Manabe, K. S., Yang, M., & Yoshihara, S. (1998). Artificial intelligence identification of process parameters and adaptive control system for deep-drawing process. *Journal of Materials Processing Technology*, 80, 421-426.
- [15] Özek, C., Çelik, Y. H., & Özek, M. B. (2013). 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*, 25(2), 379-388.



THE EFFECT OF DIE GEOMETRY ON CUP DAMAGES IN COLD DEEP DRAWING OF RECTANGULAR CUPS

Cebeli Özek*¹ 

¹Firat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 - Elazığ/Türkiye

Abstract

Original scientific paper

Deep drawing is the flow of sheet into the die cavity by applying punch force. Higher drawing ratios cannot be obtained in deep drawing cups due to neck formation or cracking in the corner radii of the cup. For this, it is important to determine the appropriate parameters correctly for the deep drawing to be successful. In this article, the effects of die geometry on cup wall thickness and its damages were determined by giving angles to the upper surface of the die and the lower surface of the blank holder in deep drawing of rectangular cups. Thus, angles of 0°, 3°, 6°, and 9° were given to the die upper surface/blank holder lower surface. The study was carried out at a constant 1800 daN blank holder force and a constant 4 mm/s punch speed. In the deep drawing, the gap between the die/punch was 1.2 mm, and the bottom of punch and edge radii and the die throat radii were used fixed at 6 mm. St37 steel with a thickness of 1 mm was used in this study. The wall thicknesses were measured using a Mitutoyo LH-600E precision linear measuring device with a precision of 0.001-point contact. It was determined that the wall thickness of the cups increased as the cup heights increased, the maximum wall thickness occurred at the corners of the lower parts of the cups and was 0.373 mm. The region most affected by plastic deformation is the lower part of the cup. Maximum compressive and tensile forces occur in this region due to deformation hardening and therefore maximum stress and hardness have occurred in this region. The maximum hardness was measured in the region of the bottom of the cup and as 61.4 HRC. The minimum hardness was measured in the top region of cup. It was observed that the hardness decreased further towards the upper rim of the cup and was 43.8 HRC. The average hardness value was determined as 53.1 HRC. As a result, it has been determined that the die geometry has a significant effect on cup wall thickness changes and cup damages by giving angles to the upper surface of the die and the lower surface of the blank holder in cold deep drawing of rectangular cups.

Keywords: Cup damage, deep drawing, limit drawing ratio, rectangular cups.

DİKDÖRTGEN GEOMETRİYE SAHİP KAPLARIN SOĞUK DERİN ÇEKİLMESİNDE KALIP GEOMETRİSİNİN KAP HASARLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Derin çekme, zımba kuvveti uygulanarak sac malzemenin kalıp boşluğuna akışıdır. Derin çekilmiş kaplarda kabın köşe yarıçaplarında boyun oluşumu veya çatlamların oluşması nedeniyle daha yüksek çekme oranları elde edilememektedir. Bunun için derin çekme işleminin başarılı olmasında uygun işlem parametrelerinin doğru seçilmesi önemlidir. Bu makalede, dikdörtgen geometriye sahip kapların derin çekilmesinde matris üst yüzeyine ve pot çemberinin alt yüzeyine açılar verilerek matris geometrisinin, kap kesit incelemeleri ve hasarları üzerinde olan etkileri tespit edilmiştir. Bunun için matris üst yüzeyine/pot çemberi alt yüzeyine 0°, 3°, 6° ve 9°'lik açılar verilmiştir. Pot çemberi kuvveti sabit 1800 daN ve stampa hızı da sabit 4 mm/s olarak uygulanmıştır. Derin çekme işlemlerinde, matris/stampa arası boşluk 1.2 mm, stampa uç ve kenar radyüsleri ile matris ağız yarıçapları 6 mm alınmıştır. Çalışmada kalınlığı 1 mm olan St37 çeliği kullanılmıştır. Cidar kalınlıkları Mitutoyo LH-600E hassas lineer ölçüm cihazında 0.001 hassasiyetinde nokta temaslı olarak ölçülmüştür. Kap yükseklikleri arttıkça kaplardaki cidar incelemelerinin arttığı, maksimum incelenen kabın alt kısımlarındaki köşelerde meydana geldiği ve bu değer 0,373 mm olduğu tespit edilmiştir. Plastik deformasyonun en çok etkilediği bölge kap alt bölgesidir. Bu bölgede deformasyon sertleşmesi nedeniyle maksimum basma ve çekme kuvvetleri oluşmakta ve dolayısıyla maksimum gerilme ve sertlik bu kısımda meydana gelmiştir. Maksimum sertlik kabın tabanının olduğu bölgede ve 61.4 HRC olarak ölçülmüştür. Minimum sertlik kap üst bölgesinde ölçülmüştür. Kabın üst ağız kısımlarına doğru sertliğin daha da düştüğü ve 43.8 HRC olduğu görülmüştür. Ortalama sertlik değeri ise 53.1 HRC olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, dikdörtgen geometriye sahip kapların soğuk derin çekilmesinde, matris üst yüzeyine ve pot çemberinin alt yüzeyine açılar verilerek kalıp geometrisinin, kap cidar kalınlık değişimleri ve kap hasarları üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin çekme, dikdörtgen kaplar, kap hasarları, limit çekme oranı.

* Corresponding author.

E-mail address: cozek@firat.edu.tr (C. Ozek)

Received 31 August 2022; Received in revised form 27 November 2022; Accepted 19 December 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1169005>

1 Giriş

Sac şekillendirme, çeşitli panel ve parçaların imalatında en önemli şekillendirme işlemidir. Otomotiv ve uzay endüstrisinde sac şekillendirme işlemi yaygın olarak kullanılan bir imalat yöntemidir. Derin çekme, zımba kuvveti uygulanarak sac plakaların kalıp boşluğuna doğru akışıdır. Kap çekme veya radyal çekme olarak da adlandırılan derin çekmede, sacı düz ince tabakalar arasında istenen şekle getirmek için bir zımba kullanılarak sacı merkez kısmından kalıp boşluğuna itererek kaplar üretilmektedir. Derin çekilmiş kabın zımba köşe yarıçapında boyun oluşumu veya çatlamların oluşması nedeniyle daha yüksek çekme oranı elde edilememektedir. Yüksek mukavemetli malzemelerin yüksek ortalama akma gerilmelerinden dolayı sertleşmesi nedeniyle oda sıcaklığında derin çekilmesi zordur. Yüksek çekme oranı nedeniyle derin çekilmiş kabın zımba köşe radyüs bölgelerinde boyunlaşma veya kırılma meydana geldiğinden yüksek oranda limit çekme oranlarının elde edilmesi mümkün değildir. İş parçası sıkıştırılmadığında veya baskı plakası kuvveti (BPK) yeterli olmadığında iş parçasında buruşmalar gözlenir. Bu hata, deformasyon sırasında kapta, ilkel parça baskı plakasından geçtiğinde, çekme kuvveti malzemeyi bükerek üst üste bindirerek meydana getirmektedir. Şekillendirme sırasında malzeme, baskı plakası-kalıp arası bölgeden dışarı çekilir ve malzeme bu bölümde sıkışma ve çekme gerilmelerine maruz kalır. Çok yüksek bir baskı plakası kuvveti uygulandığında, derin çekme işlemi bir gerdirme işlemi haline gelir. Sac şekillendirme doğal olarak bir çekme işlemi olup tek bir aşamada elde edilebilecek deformasyon miktarı çekme kararsızlığı, kulaklanma veya yırtılma ile sınırlandırılabilir. Böylece gerekli şekiller minimum hata ile veya hasarsız şekilde kaplar elde edilir.

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 çekmede, elde edilen kabın cidar kalınlık değişimleri de kabın kalitesini belirleyen en önemli faktörlerden biridir.

Bu çalışma ile dikdörtgen kesitli kapların derin çekilerek şekillendirilmesinde matris geometrik boyutlarının kabın derin şekillendirilmesinde plastik deformasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Derin çekmede plastik deformasyonu en aza indirmek için, matris üst yüzeylerine ve baskı plakası alt yüzeylerine 0°, 3°, 6° ve 9°'lik açı ve 1800 N'luk sabit pot çemberi kuvveti uygulanarak yapılmıştır. Çalışmada stampa ve matris iç kenar radyüsleri 6 mm sabit olarak alınmıştır. Sac plakaların derin çekilerek biçimlendirilmesinde numune plaka tipi ve kalıp çeşitleri ile limit çekme oranı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla çok farklı araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Derin çekme ile imalatın mutfak eşyaları, otomotiv, uzay ve savunma gibi birçok alanda, havacılık ve özellikle gıda ambalaj endüstrilerinde yaygın uygulamaları vardır [1]. Colgan ve ark. derin çekme işlemlerinin deneysel ve sonlu eleman analizi (SEA) çalışmalarını birleştirmeye yönelik ilk çalışmaları yapmışlardır [2]. Derin çekme işlemi üzerinde zımba ve kalıp radyüsü, zımba hızı, zımba

kuvveti, sürtünme ve çekme derinliğinin etkisini araştırmışlardır. Araştırmada aynı zamanda bir tavlanmış çelik ve birde tavlanmamış yumuşak çeliğin haddeleme işleminin anizotropik etkisinin derin çekilmesinde çekme derinliği üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Hasan ve ark. [3] kare kapları konik kalıplar aracılığıyla üretirken geometrik ve sürtünme parametrelerinin LÇO üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma optimum değerleri elde etmek için sayısal ve deneysel yöntemler kullanarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre LÇO pirinç için 3,1 ve alüminyum için ise 3,15'e kadar artmış olduğunu göstermişlerdir. Hassan ve ark. [4] asimetrik şekilli kapların LÇO'nu geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında baskı plakasız konik kalıplarda dörtgen kesitli, yonca yaprağı şeklinde, gül yaprağı şeklinde, yıldız ve üçgen şeklinde kaplar üretmişlerdir. İşlemin geçerliliğini kanıtlamak için sayısal analiz yöntemini de kullanmışlardır. Çalışmada LÇO pirinç için 3,44 ve alüminyum için 3,37 olarak elde edilmiştir. Dhaiban ve ark. [5] benzer şekilde, baskı plakasız konik kalıplar kullanarak pirinç malzemenin eliptik şekilli kapların üretimini denemelerine rağmen gerçekleştirememişlerdir. Derin çekme kuvveti, gerilme dağılımlarının ve birçok geometrik parametrelerin LÇO üzerindeki etkisini görmek amacıyla ANSYS/APDL yazılımı kullanılarak bir sonlu eleman (FE) modeli ile sayısal sonuçlar deneysel olarak kanıtlanmıştır. LÇO 2,26'ya kadar olan eliptik şekilli kaplar başarılı bir şekilde üretilmiştir. Zein ve ark. [6] derin çekme işlemlerinde geri esnemeyi ve incelemeyi incelemek için sayısal bir analiz çalışmasını tanımlamışlardır. Sac şekillendirme sac malzemenin, boyun verme, çatlak gibi herhangi bir hasar olmaksızın, istenilen şekle dönüştürmek amacıyla plastik olarak deforme olduğu bir deformasyon işlemidir [7]. Derin çekme işlemleri, otomotiv gövdeleri, yapısal parçalar, mutfak eşyaları ve içecek kutuları gibi hafif, daha mukavemetli, düşük yoğunluklu ve korozyona dayanıklı ürünler üretmek için sacın bir zımba kuvvetinin etkisi ile kalıp boşluğuna itilerek sacın istenen şekle dönüştürüldüğü üretim yöntemleridir [8]. Metal şekillendirme işlemlerinde en önemli model olan SEM'da, sayısal hesaplama veya bilgisayar destekli mühendislik, 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 kullanımı gerektirmektedir [9]. 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 de önemlidir. Geometrik parametreler kadar elastisite modülü 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 [10]. Zein ve ark. [11] derin çekme işlemi için sonlu elemanlar yöntemi ile kalıp tasarım parametreleri ile işlenmemiş parçanın tahmini inceleme ve kalınlık dağılımını incelemişlerdir. Reddi ve ark. [12] sac şekillendirme işlemi sırasında kalınlık değişimi üzerinde geometrik parametrelerin etkisini analiz etmek için bir deneysel ve analiz çalışması yapmışlardır. Hasarsız

çekilmiş bir kap üretmek her zaman zor bir iştir. Genel olarak 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 kullanılmaktadırlar [13]. Birçok üretim alanında alüminyum ve alüminyum alaşımlarında sac şekillendirme hızlı teknolojik gelişmeler ve ürün maliyetinin düşürülmesi kilit faktörler haline gelmiştir [14]. Derin çekme, düz yüzey üzerindeki zımba basıncından oluşan basit, tipik ve popüler şekillendirme tekniği yöntemlerinden biridir. Sac parça olduğu gibi zımba aracılığı ile zımba ve kalıbın yüzeyleri arasında 3 boyutlu bir şekilde akarak zımba tarafından kalıp boşluğuna itilmektedir. Gerekli derin çekme ürününü elde etmek için taslak parça kalıp ve baskı plakası arasında baskı plakası kuvveti ile sıkıştırılmaktadır [15, 16]. Bouchaala ve ark. [17] AA2090 Al alaşımının sonlu elemanlar metodu ile derin çekme modelinde kalınlık dağılımı üzerinde anizotropik ve izotropik verim fonksiyonlarının etkisini araştırmışlardır. Anizotropinin sac metallere şekillendirilmesinde ve tanımlanmasında büyük bir etkisi vardır. Sac metalin şekillendirilebilirliğindeki anizotropi, şekillendirme işlemi sırasında plastik deformasyon ile ilk anizotropiye yol açan termo-mekanik işlemin bir kombinasyonudur [18]. Das ve ark. [19] sonlu elemanlar metodunu kullanılarak ve HYPERWORKS-6.10 yazılımı ile modellenen silindirik derin çekme kaplarındaki kulaklanmaları analiz etmişlerdir. Pawan ve ark. [20] ABAQUS yazılımı yardımıyla kulaklanma yüksekliği yüzdesini azaltmak için ilkel parçanın başlangıçtaki boyutlarının ve şeklinin değiştirilmesini sayısal olarak geliştirmiş ve tespit etmişlerdir. Bouchaala ve ark. [21] 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 olarak kulaklanma yüksekliklerini aza indirmek için sayısal bir model geliştirmişlerdir. Metal saclardan farklı boyutlarda çeşitli simetrik veya asimetrik kapların hasarsız ve istenilen boyutlarda üretilmesi birçok araştırma çalışmasının ilgisini çekmiştir [22]. Deneysel sonuçların geçerliliği için ABAQUS programı kullanılarak bir sonlu eleman modeli (FEM) geliştirilmiştir. Bu model ürünü istenilen derinlikte elde etmek için zımbanın hareketinin geri yaylanmadaki etkilerinin toleransını tahmin etmeye yardımcı olmuştur. Kalıp radyüsü, zımba ucu radyüsü, radyal boşluk, baskı plakası kuvveti ve sıvı yağlayıcı gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Chen ve ark. [23] tarafından aynı şekilde, derin çekme işlemi üzerinde servo zımbalama ile ilişkili değişik parametrelerin etkisinin olduğu ifade edilmiş, hem geleneksel parametre hemde servo press ile ilgili olan parametrenin etkisini araştırarak nihai ürünün yırtılmasına neden olan faktörleri belirlemiştir. Özel alaşımlı

malzemeler için deneysel ve teorik şekillendirme limit diyagramı analizleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. İşlemdaki her türlü yeniden tasarım, ürünün nihai maliyetinde önemli bir artışa yol açtığı tespit edilmiştir [24,25]. 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 Sonlu Eleman Modeli (FEM) geliştirilmiştir. Pressleme kuvvetini ve incelmeyi etkileyen ilkel parça kalınlığının önemli bir etkisinin olduğu, zımba hızının ise önemli bir etki olmadığı ifade edilmiştir [26]. Derin çekme işleminde çelik sac plakalardaki kesit değişimleri ve buruşmaları engellemek amacıyla pot çemberi kuvveti, çekme boşluğu, stampa kuvveti, akışkan kullanılarak veya kullanılmadan yapılan farklı şekillendirme faktörlerinin teorik ve uygulamalı şekilde etkisi incelenmiştir. 100 kN zımba kuvvetinde 1 mm ve 0,8 mm'lik çekme boşluğunda akışkan kullanılarak veya kullanılmadan daha güzel sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir [27]. Tenner ve ark. [28] yaptıkları çalışmada ortalama çap yöntemini kullanarak dikdörtgen kapların derin şekillendirme kuvveti ile silindirik şeklindeki kapların derin şekillendirme kuvveti için bulunan denklemlerin literatür değerleri ile benzer sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Rivas-Menchi ve ark. [29] derin şekillendirme işleminde pot çemberi kuvveti ve sürtünme kuvvetinin limit şekillendirme oranı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Pot çemberi kuvvetinin önemli bir etki gösterdiği, numune üst ağız bölgesinde gerilme yoğunlaşmasının pot çemberi kuvveti ile arttığı ve sürtünme kuvvetinin, kesit kalınlık değişimleri ve sacın yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etki gösterdiği tespit edilmiştir. Dwivedi ve ark. [30] AA6014 Alüminyum alaşımı sacın derin çekilmesinde yağlayıcı kullanılmadan şekillendirilmesinin teorik ve uygulamalı şekilde deneysel çalışmalar yapılarak sürtünme kuvveti ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sürtünme kuvveti ile sürtünme katsayısı arasında doğru orantılı şekilde artan bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. Aminzahed ve ark. [31] dikdörtgen kesitli kapların derin çekilmesinde kabın cidar kalınlıklarının değişmesinin stampa kuvveti ve geri yaylanma kuvveti gibi farklı derin şekillendirme faktörlerinin özellikle kabın ağız bölgesinde kesit kalınlığı değişimini etkilediğini ve stampa kuvveti ve pot çemberi kuvvetinin büyümesi ile kesit kalınlığının artmış olduğu, geri yaylanma üzerindeki pot çemberi kuvvetinin tesirinin düşük kaldığı kanıtlanmıştır.

Farklı sac plakalardan derin şekil verme ile dikdörtgen parçaların üretilmesinde, ilkel parça şekli, baskı plakası kuvvetleri ve zımba radyüsüne benzer çok farklı biçimlendirme parametrelerinin sınır şekil verme katsayısı (β)'na etkilerinin uygulamalı olarak yapıldığı hakkında çok çalışma vardır. Bu çalışma, St37 sacı kullanılarak dikdörtgen kapların derin çekilmesinde kalıp geometrisinin kap kesit incelmeleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Uygulanan Metot ve Malzeme Seçimi

Bu çalışma ile baskı plakası kuvvetinin ve kalıbın geometrik parametrelerinin limit çekme ve kap kesit incelemeleri üzerindeki etkilerinin çalışılması yapılmıştır. Kalınlığı 1 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.

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.

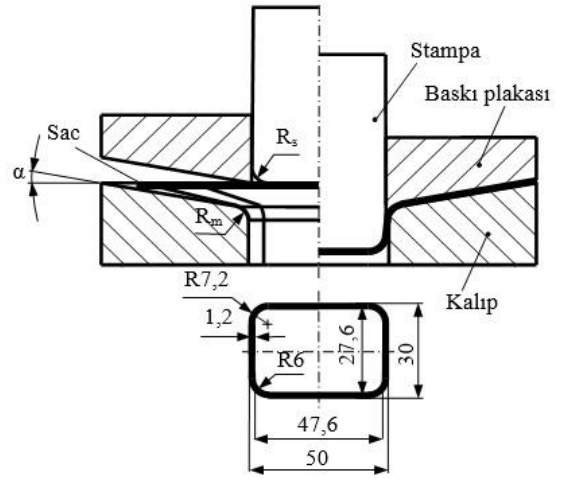
Hadde yönü (°)	Akma dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
0	181,53	316,83	35,99
45	207,34	327,79	34,08
90	193,46	310,53	34,22

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 dikkörtgen kesilerek 95x115 mm boyutlarında rastgele dikkörtgen olarak standart ölçülerine getirilmiş ve toplam 160 deney yapılmıştır. Deneysel çalışmalarının gerçekleştirildiği sistem yapısının deney düzeneği Şekil 1'de, deneylerde kullanılan kalıp resmi ve büyüklükleri ise Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney seti sistemi.

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.



Şekil 2. Uygulamalarda kullanılan kalıp ve boyutları.

Deney çalışmalarında kullanılan derin çekme kalıbında, pot çemberi kuvvetini kontrol etmek amacıyla 6 adet yay kullanılmış ve bu yayların uyguladıkları kuvvetler yardımıyla pot çemberi kuvveti sabit alınmıştır.

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 alınmıştır. 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 kayıt altına alınan bu değerler RS232 bağlantısı aracılığı ile DNC bilgisayar programı vasıtasıyla saniyede 10-1 hızda kaydedilerek bilgisayara aktarılmıştır.

Pot çemberi kuvveti (PÇK) ise sabit ve 1800 daN tatbik edilmiştir. Zımba-Matris arası akıcılığı kolaylaştırmak amacıyla yoğunluğu 15 °C'de 885 kg/m³ olan Shell Tellus 68 özelliğinde yağlayıcı uygulanmıştır.

Derin çekme çalışmaları, Tablo 3'te verilen çekme parametreleri kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 3. Plastik şekil verme parametreleri.

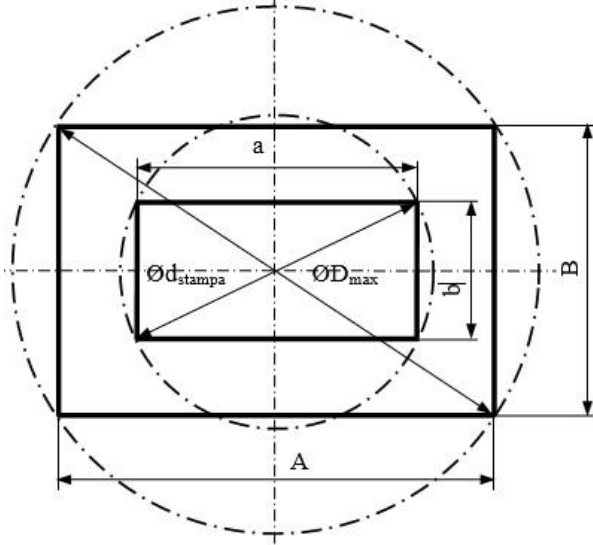
Çekme parametreleri	
Kalıp üst yüzey/Pot çemberi alt yüzey açısı, α (°)	0 3 6 9
Plastik şekil verme sıcaklığı (°C)	20 °C (Oda sıcaklığı)
Pot çemberi plakası kuvveti (N)	1800
Matris/stampa radyüsü (mm)	8

2.2 İlkel Parça Çapının Belirlenmesi ve Limit Çekme Oranının Hesabı

Derin çekme deney uygulamalarında silindirik şeklindeki kapların iyi bilinen derin şekil verme yöntemi dikkörtgen şekilli ve şekilleri belli olmayan kaplara tatbik etmek için eşdeğer çap teorisi doğru sonuçlar vermektedir [34, 36].

Dmax, ilkel parçanın eşdeğer çapı olmak üzere ve bu çapa ait dikkörtgen sacın başlangıçta Şekil 3'te ifade

edildiği haliyle A uzunluğunda ve B genişliğindeki dikdörtgen ilkel parça ile uzunluğu a ve genişliği b olan dikdörtgen zımba boyutlarının köşegen uzunluklarının hesaplanması ile ilkel parça çapı ve zımba çapı hesaplanmaktadır. Bu çaplar eşdeğer çap olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3. Dikdörtgen kap için ilkel parça ortalama çapı (D_{max}) ve zımba ortalama çapının (d_{stampa}) tespit edilmesi (Pisagor eşdeğer çapları) [41].

Esasında dikdörtgen kapların derin çekilmesinde boyutsal faktörleri de silindirik şekil verme faktörleri gibi hesaplanmaktadır. Bununla birlikte, dikdörtgen şekil vermede farklı başka faktörlerinde dikkate alınması gerekir. Dikdörtgen şekil vermenin kayda değer bir biçimlendirme faktörü, kare olması halinde en/boy oranı b/a=1 olurken dikdörtgen kaptaki en/boy oranı b/a=1 olmamaktadır. Bu yüzden sınır şekil verme katsayısı hesabında değişik bir metod olarak eşdeğer çap tespitinin yapılmasıyla bulunmaktadır.

Başlangıç sac malzemenin genişlik x uzunluk boyutları ele alındığında, eşdeğer çapı tespit etmek için "Pisagor eşdeğer çapları" hesabı yapılmaktadır. Pisagor eşdeğer çaplar ifadesi Şekil 4'te açıklandığı şekliyle bu çapı ifade etmek için şekli dikdörtgen olan karşılıklı iki köşesi arasındaki uzunluğu göz önünde bulundurmaktadır. Bu durumda geçerli olan eşdeğer çaplar Pisagor metodu ile tespit edilmiştir.

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

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

Denklem 1 ve denklem 2'de hesaplanmış olan çaplar eşdeğer çaplar "Pisagor eşdeğer çapları" şeklinde ifade edilmektedir. Dikdörtgen biçimli kapların üretilmesinde sınır şekil verme katsayısının tespit edilmesinde geçerli çaplar Şekil 3'te gösterilmiştir. Limit çekme oranı 3 ifadesi göz önüne alınarak belirlenmiştir.

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

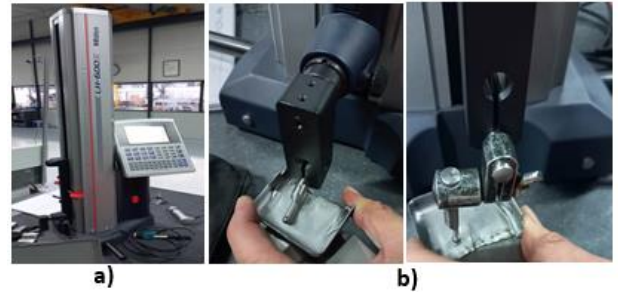
Burada, ØD_{max} parça ilkel eşdeğer çap ve Ød_{stampa} ıstampa eşdeğer çapını ifade etmektedir.

2.3 Kap Cidar Kalınlığı Değişimlerinin Ölçülmesi

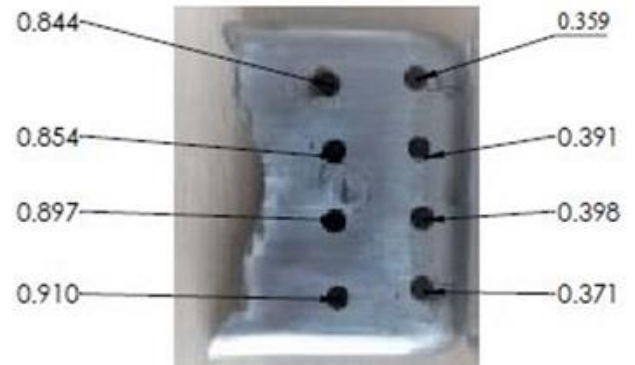
Derin çekme uygulaması sırasında plastik deformasyona uğrayan kabın üzerinde çok farklı gerilmeler oluşmaktadır. Oluşan bu gerilmelerden dolayı kabın cidar kalınlıklarında değişimler meydana gelmektedir. Bu yüzden derin çekme sırasında göz önünde bulundurulması icap eden durumlardan en önemlisi kaptaki cidar kalınlık değişimleridir.

Kaplardaki cidar farklılıklarının tespit edilmesi amacıyla deneylerden elde edilen kap hassas bir biçimde yüksekliği boyunca 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 10 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 cidar kesit değişimleri 0.001 hassasiyetinde ölçülmüştür. Şekil 4a'da, cidar kesit değişimlerinin ölçülmesinde kullanılan cihaz ve Şekil 4b'de ise cidar kesit değişimlerinin ölçülmesi şekli olarak gösterilmiştir. Şekil 5'de, kesilmiş numune üzerinde ölçüm noktalarının gösterildiği ve bazı noktalarda ölçüm sonucu elde edilen cidar kesit değişimi değerleri verilmiştir.



Şekil 4. Cidar kesit değişimlerinin ölçümü için kullanılan kap ve kalınlık ölçümü: a) Cidar kesit değişimleri ölçüm cihazı, b) Cidar kesit değişimlerinin ölçülmesi.



Şekil 5. Cidar kesit değişimlerinin ölçümü için kullanılan kap ve ölçüm değerleri.

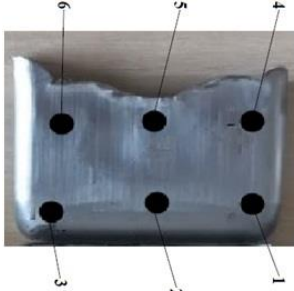
2.4 Kaplardaki Mikrosertlik Değişimlerinin Ölçülmesi

Kap cidar kalınlığının ölçülmesi için kesilen sacın diğer kısmı taban radyüsü bitiminden itibaren kabın ağız kısmına doğru 10x10 mm. aralıklarla ızgaralara bölünmüş ve keşişim noktaları belirlenmiş ve belirlenen noktalardan sertlik dağılımları PROJEQ marka sertlik ölçüm cihazı ile hassas bir şekilde ölçülmüştür. Şekil 6'da, sertlik dağılımlarının ölçümünde kullanılan PROJEQ marka cihaz gösterilmiştir.



Şekil 6. Sertlik ölçümlerinde kullanılan PROJEQ marka cihaz.

Şekil 7'de kesilmiş numune üzerinde ölçüm noktalarının gösterildiği numune verilmiştir.



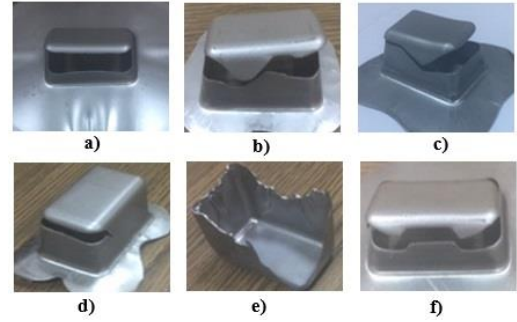
Şekil 7. Numune üzerinde mikrosertlik ölçüm noktaları.

3 Elde Edilen Sonuçlar ve Değerlendirilmesi

3.1 Kalıp/Baskı Plakası Açısının (α) Kap Hasarları Üzerindeki Etkisi

Kalıp açısının kap hasarları üzerinde olan etkisi gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde özellikle kaplarda ağız kısmı bölgelerinde aşırı buruşmalar ve kulaklanmalar, alt taban bölgelerinde ise yırtılmalar ve çatlaklar biçiminde hasar oluşumları yapılan çalışmalarda açıklandığı gibi deney numunesi sacının çapının artması, sacda plastik şekil verme deformasyonu oluşturmada ihtiyaç duyulan stampa kuvvetini artırmaktadır. Stampa kuvvetinin fazla alınması, plastik şekil verme sırasında meydana gelen gerilmelerin çok daha fazla artmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden derin çekme sırasında daha büyük çekme gerilmeleri meydana gelmekte ve bu çekme gerilmelerine mukavemet gösteremeyen kapta çatlaklar-yırtılmalar ve kopmalar oluşmakta ve derin çekme başarılı bir şekilde gerçekleştirilememektedir [13].

Kalıp/baskı plakası yüzeylerine açı verilerek yapılan metal şekillendirme önemli derecede plastik deformasyonlar ile bağlantılıdır. Sacın bütün yüzeyine dağılmış homojen bir deformasyon kuvveti saclarda çatlaklara sebep olmaktadır. Elde edilen kaplarda meydana gelen çatlaklar, kopmalar ve buruşma hataları Şekil 8'de verilmiştir.

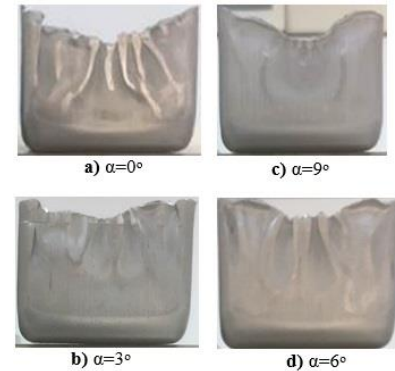


Şekil 8. Elde edilen kaplarda meydana gelen çatlaklar, kopmalar ve buruşma hataları.

Şekil 8a'da, elde edilen kapta alt taban boyunca homojen, düzgün ve tabana paralel bir yırtılmanın meydana geldiği görülmektedir. Şekil 8b ve Şekil 8c'de, pot çemberi kuvvetinin yeterli olmamasından dolayı dalgalı ve düzgün olmayan yırtılmanın olduğu görülmektedir. Şekil 8d'de, kabın alt taban kısmında köşe boyunca bir yırtılmanın meydana geldiği, e'de kabın tamamen alt taban köşesinden ağız kısmına doğru bir kopmanın gerçekleştiği, f'de ise kabın alt tabanında dalgalı, ancak bütün taban boyunca yırtılmanın olduğu ve sonrasında da kap radyüs bölgesinin üzerinde hemen hemen bir kopmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Deformasyonları önlemek için hem stampa hem de sac arasındaki temas alanında mümkün mertebe yağlayıcı kullanılarak kayganlaşmayı sağlamak gerekmektedir. Yağlayıcının yırtılma hasarlarını önemli derecede azalttığı düşünülmektedir.

Matris üst yüzey/pot çemberi alt yüzey açısının küçük alındığı hallerde ondülasyonların çok fazla olması nedeniyle kabın ağız bölgelerinde çok daha fazla kırışıklıklar oluşmaktadır. Bu da, elde edilecek olan kapta istenmeyen kap hasarlarına sebep olduğundan kullanılmamaktadır.

Şekil 9'da matris/pot çemberi açısına bağlı olarak 1800 N sabit pot çemberi kuvvetinde çekilmiş olan hasarların olmadığı ancak buruşma ve büzülmelerin olduğu kaplar görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, kabın ağız bölgelerinde kıvrımlı buruşmaların olduğu, matris açısı $\alpha=0^\circ$ olduğunda bu buruşmaların çok daha belirgin olduğu görülmektedir. $\alpha=3^\circ$ 'de ve $\alpha=6^\circ$ 'de hemen hemen yok olduğu, fakat matris açısı $\alpha=9^\circ$ olarak alındığında ise minimum seviyede hasarların olduğu ve hatta hasarın oluşmadığı daha temiz bir yüzey açısına sahip kapların elde edilmiştir.



Şekil 9. Kalıp üst yüzey ve pot çemberi alt yüzey açısına (α) bağlı olarak LÇO=2,26 (maksimum) ve 1800 N sabit pot çemberi kuvvetinde elde edilen kaplar.

Şekilde görüldüğü gibi kalıp açısının LÇO'ya olan etkisi oldukça önemlidir. Derin çekme işlemlerinde dikdörtgen kapların elde edilmesinde kalıp/baskı plakası yüzey açısının limit çekme oranı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. Matris/baskı plakası açısının artmasına bağlı olarak LÇO'da artmaktadır. Bunun sebebi, kalıp açısının yüksek olması durumunda sac plakanın kalıp boşluğuna doğru ilerlemesinin çok daha kolay bir şekilde gerçekleşmiş olmasındandır. Zımba ile kalıp içerisine itilmeye zorlanan sac plakanın çekme-basma gerilmelerine direnç meydana getirmesi, kalıp açısının artması ile azalmaktadır [41].

Şekil 9a ve Şekil 9b'de, pot çemberi kuvveti sabit ve $PÇK=1800$ N ve $\beta=2,26$ için $\alpha=0^\circ$, 3° 'de elde edilen kaplar verilmiştir. Şekil 9a ve Şekil 9b, incelendiğinde, kalıp/baskı plakası yüzey açısı $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=3^\circ$ olan kalıplarda maksimum LÇO 2,26 olarak elde edilmesine rağmen kap ağız kısımlarında gözle görülür bir biçimde ondülasyonların, buruşmaların ve kırışıklıkların olduğu görülmektedir. Ancak $\alpha=6^\circ$, 9° 'de elde edilen kapların daha düzgün ve pürüzsüz olduğu gözle görülür hasarların oluşmadığı, sadece bir derece kulaklanmaların meydana geldiği görülmüştür. Kalıp/baskı plakası yüzey açısı arttıkça, ondülasyonların, buruşmaların ve kırışmaların fazla meydana gelmediği, kalıp/baskı plakası yüzey açısının sac malzemenin akışını kolaylaştırdığını ve hasarsız kapların elde edilebileceğini göstermiştir. Bunun en büyük sebebinin kalıp açısının artmasına bağlı olarak eksenel kuvvette bir artışın olmasından kaynaklanmakta olduğu söylenebilir [37].

İlkel parça çapı büyüdükçe sac plakada hasarların oluşmasıyla kap incelemelerinin arttığı ve zımba kuvvetinin artması ile oluşmuş olan gerilmelerin artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden derin çekme işlemi sırasında sacda oluşan fazla büyük gerilmelere direnç gösteremeyen sac plakalarda çatlaklar, yırtılmalar ve kopmalar meydana gelmekte ve şekil verme aşamasında sağlıklı sonuçların oluşması imkânsız hale gelmekte ve derin çekme işlemi başarısızlıkla sonuçlanmaktadır [33]. Baskı plakası kuvvetinin (BPK) büyük 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 9a ve Şekil 9b) ve buruşmalar meydana gelmekte, bu durumda numunenin üst bölgelerinde yırtılmaların ve çatlakların oluşmasında etkili olduğu görülmektedir. Bir sacın biçimlendirilmesinde zımba radyüsü en önemli parametrelerden biridir. Zımba radyüsünün küçük olması, bir sac üzerindeki keskin hatların iyi bir şekilde elde edilmesi için arzu edilen bir özelliktir. Fakat böyle keskin hatlar birim şekil değişimi artışını bir yerde toplayacağı için imalatta zorluklar ortaya çıkartır ve hata olasılığını artırır. Bu ise sacın çatlmasına veya yırtılmasına sebep olur [42, 44].

3.2 Kaplarda Meydana Gelen Mikrosertlik Değişimlerinin İncelenmesi

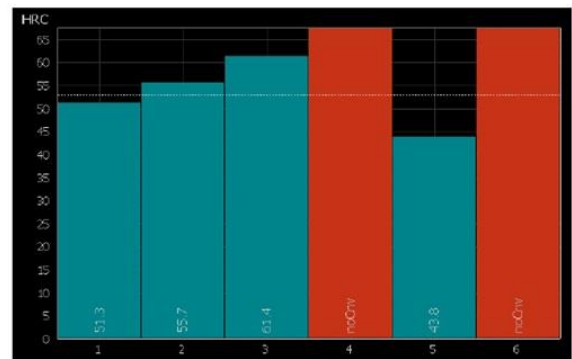
Metalik malzemelerin plastik deformasyonunda etkili olan çok farklı kayda değer parametreler bulunmaktadır. Bu parametrelerden deformasyon sertleşmesi en önemli olanıdır [38]. Metallerin plastik deformasyona uğraması

sırasında oluşan deformasyon sertleşmesi çekilen sacın matris boşluğu içerisine akışını, stampa kuvvetini, kapta oluşan gerilmeleri, kabın cidar kalınlığını ve sertliğini etkilemektedir.

Metallerin şekillendirilmesini etkileyen en önemli faktörlerden biri de deformasyon sertleşmesidir. Şekillendirme esnasında meydana gelen deformasyon sertleşmesi kabın kalıp boşluğuna akışını, zımba kuvvetini, kaptaki kalınlık değişimlerini ve kaptaki gerilmeleri doğrudan etkiler [39]. Derin çekilen dikdörtgen kesitli kabın sertlik ölçüm cihazından alınan sertlik değerleri, Şekil 10'da kap yüksekliğine bağlı olarak verilmiştir.

Şekil 10 dikkate alındığında, 1 noktasında sertlik değeri 51.3 HRC, 2 noktasında 55.7 HRC, 3 noktasında 61.4 HRC ve 5 noktasında ise 43.8 HRC olarak tespit edilmiştir. Ancak kap üzerinde 4 ve 6 noktalarında kabın yüzeyinin dalgalı ve pürüzlü olması sebebiyle herhangi bir ölçüm tespit edilemediği gösterilmiştir. Görüldüğü gibi en yüksek sertlik değeri 3 noktasında ve kabın tabanının olduğu bölgede 61.4 HRC olarak tespit edilmiştir. Minimum seviyede elde edilen sertlik kap üst ağız bölgelerinde ölçülmüş, kabın üst ağız kısımlarına doğru olan bölgelerde sertliğin daha da düştüğü ve 5 noktasında bu değer 43.8 olduğu görülmektedir. Plastik deformasyonun en çok etkilediği bölge kap ağız kısımları olduğundan bu bölgede deformasyon sertleşmesi nedeniyle kaptaki maksimum gerilme değerleri ve sertlik değerleri de bu bölgelerde meydana gelmektedir. Bunun sebebi ise bu bölgelerde basma ve çekme kuvvetlerinin maksimum bir değere ulaşması ve dolayısıyla deformasyon sertleşmesinin meydana gelmiş olmasından kaynaklanmaktadır. En yüksek sertlik değeri 3 noktasında 61.4 HRC ve en düşük sertlik değeri ise 5 noktasında 43.8 HRC olarak ölçülmüştür. Ortalama sertlik değeri ise 53.1 HRC olarak tespit edilmiştir.

Ölçüm serisi dosya adı 95x80
Ölçüm ortalama sertliği 53.1 HRC
Ölçüm sütun grafiği



Şekil 10. LÇO=2,20 için kap yüksekliğine bağlı olarak kaptaki sertlik dağılımı ve değişimi.

Sonuçta derin çekme yöntemiyle elde edilmiş olan kaplarda plastik şekil verme neticesinde meydana gelen sertlik değişimleri kap cidarları üzerindeki gerilme dağılımları hakkında net sonuçlar vermiş olmaktadır. Elde edilen kaplarda meydana gelen bu gerilmeler plastik şekil vermede kapların manyetik özelliklerini, korozyon direncini, ömrünü, tokluğunu ve yırtılmaya karşı olan direncini pozitif yönde etkilemektedir. Derin şekil verilerek elde edilmiş kaplardaki gerilme değerleri ne

kadar düşük olursa bu kapların kullanım ömürleri de o kadar fazla olmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde kaplarda oluşan sertliğe etki eden faktörler; matris üst yüzey açısı ve pot çemberi alt yüzey açısı ve pot çemberi kuvveti olduğu görülmüştür.

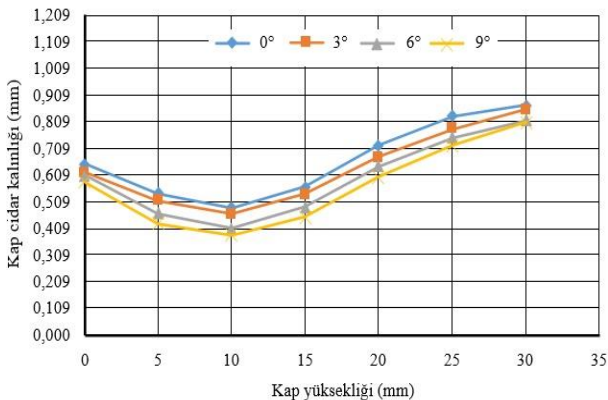
3.3 Kalıp/Baskı Plakası Açısının (α) Kap Cidar Kalınlığı Değişimleri Üzerindeki Etkisi

Derin çekmede sacı şekillendirmenin başarılı bir sonuç vermesi cidar kalınlıklarındaki farklılaşmaların öngörüldüğü değerlerde tutulmuş olması ile sonuçlanmalıdır. Kap cidar değişimleri ve genellikle de alt köşe radyüs bölgelerindeki cidar kesit değişimleri sac malzeme kalitesine direkt etki yapmaktadır.

Stampa ile sac plaka arasındaki temasın neticesinde sürtünmenin büyümesi ile gerilme büyür. Stampanın 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 kapta çok fazla plastik şekil değişiminin meydana gelmesine sebep olur [34, 35, 36].

Şekil 11 ve Şekil 12’de sabit KBP=1800 daN’luk kuvvet altında farklı limit çekme oranlarında farklı kalıp/baskı plakası açılarındaki çekilmiş numunelerde kap yüksekliğine bağlı olarak kap kesit incelleme değişimleri verilmiştir.

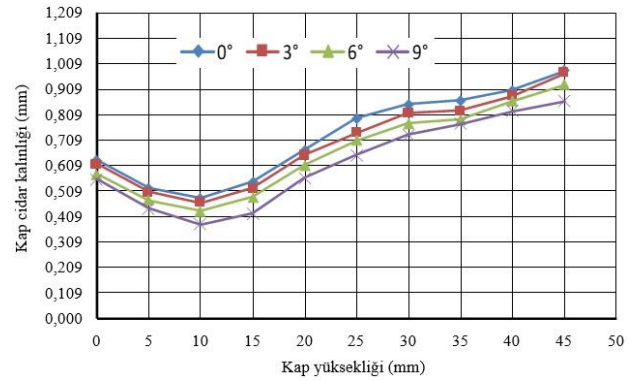
Şekil 11’de LÇO=2,08 ve 1800 N pot çemberi kuvveti uygulanarak kalıp/pot çemberi açısı (α)’nın hadde doğrultusu ekseninde cidar kesit değişimleri üzerindeki tesiri gösterilmiştir. Şekilde net görüldüğü gibi 0-10 mm aralığındaki kap yüksekliklerinde cidar kesit değişimlerinin azaldığı, yani sacda önemli sayılabılır bir değerde incelleme meydana geldiği ve bunun hemen hemen 0,371-0,910 mm kadar tespit edildiği, deneye tabi tutulan sac kalınlığındaki değişimin yaklaşık %20 civarında düştüğü tespit edilmiştir. 10 mm’den itibaren kap ağız kısımlarına doğru cidar kalınlık değişimlerinin adım adım artış gösterdiği, 25 mm’den itibaren ise cidar kalınlığının sac plaka kalınlığını geçtiği görülmüştür. Kabın cidar kesitindeki bu değişim yaklaşık %32’civarında olmaktadır. Matris/pot çemberi açısı (α)’nın her değeri için kabın kesit cidar değişimi aynı oranda olduğu tespit edilmiştir. Matris/pot çemberi açısı (α) büyüdükçe kap kesit incelmelerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 11. LÇO=2,08 için matris/pot çemberi açısı (α)nın cidar kesit değişimleri üzerindeki etkisi.

Baskı plakası kuvveti sabit ve BPK=1800 daN, kalıp/baskı plakası yüzey açısı $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=3^\circ$ ’lik kalıplarda özellikle limit çekme oranının $\beta=2,08$ olması durumunda kap kesit incelmelerinde kayda değer oranda bir kalınlaşmanın meydana geldiği görülmektedir. 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 [39].

Şekil 12’de maksimum değerdeki LÇO=2,26 ve 1800 N sabit pot çemberi kuvveti etkisi altında kalıp/baskı plakası açısı (α)’nın haddeleme doğrultusu hattı üzerinde kurs boyuna bağlı olarak kap kesit incelmelerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 12. LÇO=2,26 için matris/pot çemberi açısı (α)nın cidar kesit değişimleri üzerindeki etkisi.

Şekilde gösterildiği üzere kap boyunun 0-10 mm arasında olması durumunda sacın cidar kesitlerinde kayda değer bir incelmeye olduğu ve bu değer $\alpha=9^\circ$ için 0,371 mm’ye kadar düştüğü tespit edilmiştir. Bu maksimum incelmeden itibaren kap boyunun 10-45 mm arasındaki bölgede kesit kalınlaşmalarının sürekli arttığı ve bu kalınlaşma 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. Görüldüğü gibi özellikle $\alpha=0^\circ-6^\circ$ aralığında sac yığımlarından dolayı kap boyundaki artışa göre cidar kesit değişimleri adım adım artarak özellikle 40-45 mm aralıktaki kap boyunda malzeme kalınlığına kadar çıktığı ve hatta aştığı görülmektedir. Bu değerden sonra kalınlık sac kalınlığının üzerine çıkmış, $\alpha=0^\circ$ matris açısı değerinde %56’lık bir artış göstererek 0,972 mm değerine kadar artmış, diğer bütün matris açılarındaki ise ortalama matris boşluğu değerine eşit olarak ölçülmüştür.

Şekil 11 ve Şekil 12 bir arada karşılaştırılmaları yapıldığında 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 kayda değer bir etki yaptığı net olarak fark edilmektedir. Bu tesirin net olarak çekilen numunenin özellikle üst ağız kısımlarında çok daha yoğun olduğu görülmüştür. Bunun nedeni kalıp/pot çemberi açısının artmasına bağlı olarak sac plakanın matris içine

doğru akışının artan açığa bağlı olarak daha rahat oluşundan kaynaklanmış olduğu tahmin edilmektedir. Sonuç olarak, limit çekme oranının artmasının matris açısına bağlı olarak numunenin alt yüzeyinde ve özellikle köşe yarıçapları bölgesinde kayda değer bir farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Kap yan kesitlerinin üst ağız bölgelerine doğru ise açının büyümesine göre kalınlaşmaların düştüğü, artan matris/pot çemberi açısına bağlı olarak cidar kesit incelmelerinin daha düzgün ve homojen olduğu görülmüştür.

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 çok farklı faktörlerin büyük bir oranda etkisinde kalmaktadır [1, 13, 22]. Literatür sonuçları değerlendirildiğinde elde edilen numunenin alt yüzey kısımlarında kayda değer bir farklılaşmanın meydana gelmediği, köşe yarıçap kısımlarında incelmelerin ve kap ağızları üst bölgelerine doğru ise kalınlık artışlarının meydana geldiği görülmektedir.

Matris/pot çemberi yüzey açısı arttıkça, $\alpha=60^\circ$ ve $\alpha=90^\circ$ 'lik açılarda buruşmaların çok net fark edilebilir bir şekilde azaldığı, özellikle kalıp/baskı plakası yüzey açısı $\alpha=90^\circ$ 'lik kalıplarda elde edilen kaplarda ondülasyonların, 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. Deneysel çalışmada sac plakanın matris boşluğuna kaymasını rahatlatmak amacıyla stampa ve matris yarıçaplarının olması gereken ölçülerde büyük alınması gerekir. Fakat olması gereken değerden daha fazla alınması stampa ve matris yarıçaplarında, pot çemberi tesir alanı azalacağından, sac plakanın zımba ile temasta olmayan alanı artmakta ve sac plakada olumsuz buruşmalar meydana gelmektedir [32, 33]. Matris/pot çemberi açısının hemen hemen tüm değerlerinde kap kesit incelmelerinde kayda değer bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Şekil 12'de $L\dot{C}O=2,26$ için kurs boyuna bağlı olarak kap kesit incelmelerinin değişimi değerlendirildiğinde, özellikle $\alpha=9^\circ$ için kap kesit incelme değişiminde aykırı bir değişim gösterdiği görülmektedir. Bu durum baskı plakası kuvvetinin yeterli olmamasından kaynaklandığı ve dolayısı ile plastik deformasyona uğrayan sac plakanın kap kenarlarında meydana gelen yüzey buruşmalarından dolayı matris boşluğu içinde sıkışmasından olduğu ve kap cidar kesit değişimlerinin artmasına neden olmuştur [33]. Kap kesit incelme değişiminde kayda değer bir değişim meydana gelmesine rağmen maksimum incelme en genel olarak $\alpha=0^\circ$ kalıpta, minimum incelme ise $\alpha=90^\circ$ olduğu durumda tespit edilmiştir. Bunun sebebi, matris açısının sacın kalıp boşluğu içine doğru itilmesini rahat bir şekilde gerçekleştirmesi ve dolayısıyla sac plakanın üst üste toplanmasının düşürülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [39].

Derin çekme işlemlerinde dikdörtgen kapların elde edilmesinde kalıp/pot çemberi yüzey açısının kap kesit incelmeleri üzerinde önemli bir tesirinin olduğu görülmektedir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, St37 çeliğinden dikdörtgen kapların derin çekilebilirliğinde kalıp geometrisinin kap hasarları ve limit şekil değiştirme oranı değişimlerine olan etkileri uygulamalı bir biçimde yapılmıştır. Sonuç olarak elde edilen temel bulgular maddeler halinde açıklanmıştır.

- 1 Matris/baskı plakası açısı (α) büyüdükçe zımba kuvvetinin düştüğü, bu durumun sac akışının daha rahat olduğu, numune ağız bölgelerindeki kap kesit kalınlıklarının numune taban köşe bölgelerindeki kesit kalınlıklarından daha fazla olduğu ve kap kesit kalınlıklarına etki eden başlıca parametrenin matris/baskı plakası açısı olduğu tespit edilmiştir.
- 2 Matris/baskı plakası açısı (α) değerlerinin büyümesi sonucu $L\dot{C}O$ 'da büyümektedir. St37 sacının kalıp/baskı plakasına açı vermeden ($\alpha=0^\circ$) şekillendirilmesinde elde edilen $L\dot{C}O=1,6$ olurken, matris/baskı plakasına açı verilmesi halinde ($\alpha=3-9^\circ$) $L\dot{C}O$ değeri, $L\dot{C}O=2,26$ olarak elde edilmiştir.
- 3 İlkel parça boyutlarının büyük ölçülerde seçilmesi durumunda, oluşturulan kaplarda ondülasyonlar, kulaklanmalar, erken çatlamalar ve yırtılmalar oluşmaktadır. Bu yüzden istenilen değerde $L\dot{C}O$ oluşması sağlanamamaktadır. Doğru tespit edilen stampa kuvvetlerinde daha yüksek $L\dot{C}O$ ve daha verimli ve uygun kapların üretimi yapılabilmektedir.
- 4 Kalıp/baskı plakası yüzey açısı arttıkça, ondülasyonların, buruşmaların ve kırışmaların fazla meydana gelmediği, kalıp/baskı plakası yüzey açısının sac malzemenin akışını kolaylaştırdığını ve hasarsız kapların elde edilebileceğini göstermiştir.
- 5 Plastik deformasyonun en çok etkilediği bölge kap ağız kısımları olduğundan bu bölgede deformasyon sertleşmesi nedeniyle kaptaki maksimum gerilme değerleri ve sertlik değerleri de bu bölgelerde meydana gelmektedir. Bunun sebebi ise bu bölgelerde basma ve çekme kuvvetlerinin maksimuma çıkması ve dolayısıyla deformasyon serleşmesinin meydana gelmiş olmasıdır. En yüksek sertlik değeri 3 noktasında 61,4 HRC ve en düşük sertli değeri ise 5 noktasında 43,8 HRC olarak ölçülmüştür.
- 6 Kap boyunun 0-10 mm arasında olması durumunda sacın cidar kesitlerinde önemli bir incelmeye olduğu $\alpha=9^\circ$ için 0,371 mm'ye kadar düştüğü tespit edilmiştir. Kap boyunun 10-45 mm arasındaki bölgesinde 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. Görüldüğü gibi özellikle $\alpha=0^\circ-6^\circ$ aralığında sac yığılmalarından dolayı kap boyundaki artışa göre cidar kesit değişimleri adım adım artarak özellikle 40-45 mm aralıktaki kap boyunda malzeme kalınlığına kadar çıktığı ve hatta aştığı görülmektedir. Kap ağız kısmında kalınlık sac kalınlığının üzerine çıkmış ve özellikle $\alpha=0^\circ$ için bu artış 0,972 mm olarak ölçülmüştür.

Bilgilendirme

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Kirwan, M. J., & Coles, R. (2011). *Food and beverage packaging technology*. John Wiley & Sons.
- [2] Colgan, M., & Monaghan, J. (2003). Deep drawing process: analysis and experiment. *Journal of materials processing technology*, 132(1-3), 35-41.
- [3] Hassan, M., Hezam, L., El-Sebaie, M., & Purbolaksono, J. (2014). Deep drawing characteristics of square cups through conical dies. *Procedia Engineering*, 81, 873-880.
- [4] Hassan, M. A., Hassab-Allah, I. M., Hezam, L. M. A., Mardi, N. A., & Hamdi, M. (2015). Deep drawing of asymmetric cups through conical die without blank holder. In *Proceedings of the World Congress on Engineering* (Vol. 2, pp. 1-3).
- [5] Dhaiban, A. A., Soliman, M. E. S., & El-Sebaie, M. G. (2013). Development of deep drawing without blank-holder for producing elliptic brass cups through conical dies. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 41(4), 1530-1548.
- [6] Zein, H., El Sherbiny, M., & Abd-Rabou, M. (2014). Thinning and spring back prediction of sheet metal in the deep drawing process. *Materials & Design*, 53, 797-808.
- [7] Goud, R. R., Prasad, K. E., & Singh, S. K. (2014). Formability limit diagrams of extra-deep-drawing steel at elevated temperatures. *Procedia materials science*, 6, 123-128.
- [8] Rao, B. V. S., & PVR, R. R. (2016). Influence of drawing ratio on thickness variation along the walls of deep drawn cups. *Journal of Manufacturing Engineering*, 11(2), 086-093.
- [9] Roll, K. (2008). Simulation of sheet metal forming-necessary developments in the future. *LS-DYNA Anwenderforum, Bamberg*, 59-68.
- [10] Takalkar, A. S., & Chinnapandi, L. B. M. (2019). Deep drawing process at the elevated temperature: A critical review and future research directions. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 27, 56-67.
- [11] Zein, H., El-Sherbiny, M., Abd-Rabou, M., & El Shazly, M. (2013). Effect of die design parameters on thinning of sheet metal in the deep drawing process. *American Journal of Mechanical Engineering*, 1(2), 20-29.
- [12] Reddy, A. C. S., Rajesham, S., Reddy, P. R., Kumar, T. P., & Goverdhan, J. (2015). An experimental study on effect of process parameters in deep drawing using Taguchi technique. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 7(1), 21-32.
- [13] George, E. T., & MacKenzie, D. S. (2003). *Handbook of aluminum. Physical Metallurgy and Processes*. New York: Marcel Dekker Inc.
- [14] Zheng, K., Politis, D. J., Wang, L., & Lin, J. (2018). A review on forming techniques for manufacturing lightweight complex-shaped aluminium panel components. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 1(2), 55-80.
- [15] Boljanovic, V. (2004). *Sheet metal forming processes and die design*. Industrial Press Inc.
- [16] Donaldson, C., LeCain, G. H., Goold, V. C., & Ghose, J. (2012). *Tool design*. Tata McGraw-Hill Education.
- [17] Bouchaâla, K., Ghanameh, M. F., Essadiqi, E. H., Faqir, M., Meziiane, M., & Mada, M. (2018, December). Modeling of anisotropy influence on thickness distribution of deep drawing sheet. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering* (pp. 142-146).
- [18] Banabic, D. (2010). *Sheet metal forming processes: constitutive modelling and numerical simulation*. Springer Science & Business Media.
- [19] Das, P., Panda, S. K., & Pratihari, D. K. (2013). Modification of initial blank shape to minimize earing in deep drawing process. *Advanced Materials Manufacturing & Characterization*, 3(1), 99-104.
- [20] Nagda, P. S., Bhatt, P. S., & Shah, M. K. (2017). Finite element simulation of deep drawing process to minimize earing. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 11(2), 413-416.
- [21] Bouchaâla, K., Ghanameh, M. F., Faqir, M., Mada, M., & Essadiqi, E. (2021). Numerical investigation of the effect of punch corner radius and die shoulder radius on the flange earrings for AA1050 and AA1100 aluminum alloys in cylindrical deep drawing process. *Heliyon*, 7(4), e06662.
- [22] Banabic, D. (2010). *Sheet metal forming processes: constitutive modelling and numerical simulation*. Springer Science & Business Media.
- [23] Chen, D. C., Cheng-Yu, L., & Lai, Y. Y. (2019). Finite element analysis of deep drawing. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(9), 1687814019874561.
- [24] Hussaini, S. M., Krishna, G., Gupta, A. K., & Singh, S. K. (2015). Development of experimental and theoretical forming limit diagrams for warm forming of austenitic stainless steel 316. *Journal of Manufacturing Processes*, 18, 151-158.
- [25] Zheng, K., Politis, D. J., Wang, L., & Lin, J. (2018). A review on forming techniques for manufacturing lightweight complex-shaped aluminium panel components. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 1(2), 55-80.
- [26] Shaaban, A., & Elakkad, A. S. (2021). Numerical and experimental analysis of single-acting stroke deep drawing of symmetric low-depth products without blank holder. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(3), 2907-2919.
- [27] Choudhari, C. S., & Khasbage, S. S. (2021). Experimental investigation of forming parameters for square cup deep drawing process. *Materials Today: Proceedings*, 44, 4261-4267.
- [28] Tenner, J., Andreas, K., Radius, A., & Merklein, M. (2017). Numerical and experimental investigation of dry deep drawing of aluminum alloys with conventional and coated tool surfaces. *Procedia engineering*, 207, 2245-2250.
- [29] Rivas-Menchi, A., Medellin-Castillo, H. I., de Lange, D. F., & Garcia-Zugasti, P. D. J. (2018). Performance evaluation of analytical expressions for cylindrical and rectangular deep drawing force estimation. *Journal of Manufacturing Processes*, 36, 340-350.
- [30] Dwivedi, R., & Agnihotri, G. (2017). Study of deep drawing process parameters. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 820-826.
- [31] Aminzahed, I., Mashhadi, M. M., & Sereshk, M. R. V. (2017). Investigation of holder pressure and size effects in micro deep drawing of rectangular work pieces driven by piezoelectric actuator. *Materials Science and Engineering: C*, 71, 685-689.
- [32] Ünal, E. (2011). *Kare Kesitli Kapların Derin Çekilmesinde Kalıp Geometrisi ve Radyüsünün Çekme Oranına Etkisinin Araştırılması*. (Doctoral dissertation, Firat University).
- [33] Güneş, A. T., (2002). *Pres İşleri Tekniği-Cilt2*, 2. Baskı, Ankara/Türkiye, TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- [34] Demiray, K. (2006). *Al 1050 Malzemesinin Derin Çekme İşleminde Baskı Plakasının Etkisinin Teorik Ve Deneysel Olarak İncelenmesi*. (Master's dissertation, Zonguldak Karaelmas University).
- [35] Seçkin, Ö. (2005). *DKP Sac Çeliğinin Derin Çekilmesinde Matris Yüzey Açılı Değişiminin Araştırılması*. (Master's dissertation, Firat University).
- [36] Uzun, İ., Erişkin, Y., (1997). *Sac Metal Kalıpcılığı*, Ankara/Türkiye, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları.

- [37] Larsson, L. (2005). Warm sheet metal forming with localized in-tool induction heating. *Lund University*.
- [38] Savaş, V., & Seçgin, Ö. (2010). An experimental investigation of forming load and side-wall thickness obtained by a new deep drawing die. *International journal of material forming*, 3(3), 209-213.
- [39] Cotterell, M., Schambergerova, J., Ziegelheim, J., & Janovec, J. (2002). Dependence of micro-hardness on deformation of deep-drawing steel sheets. *Journal of Materials Processing Technology*, 124(3), 293-296.
- [40] Rivas-Menchi, A., Medellín-Castillo, H. I., de Lange, D. F., & García-Zugasti, P. D. J. (2018). Performance evaluation of analytical expressions for cylindrical and rectangular deep drawing force estimation. *Journal of Manufacturing Processes*, 36, 340-350.
- [41] Hattalli, V. L., & Srivatsa, S. R. (2018). Sheet metal forming processes—recent technological advances. *Materials today: proceedings*, 5(1), 2564-2574.
- [42] Özçelik, G. (2008). Derin Çekme İşleminin Simülasyonu. (Master's dissertation, Sakarya University).
- [43] Saha, S., Pal, S. & Albright, J. A., (1982). Surgical drilling: design and performance of an improved drill, *J. Biomechanic Eng.*, 104, 245-252.
- [44] Özek, C., Çelik, Y. H., & Özek, B. M. (2013). 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*, 25 (2), 379-388.