

ISSN 2587-1943

#10

VOLUME 5, 2
DECEMBER 2021

Editor-in-Chief
Niyazi Özdemir
Hikmet Esen

Deputy Editor-in-Chief
Abdullah Kapıcıoğlu

Managing Editor
Cihangir Kale

A

E

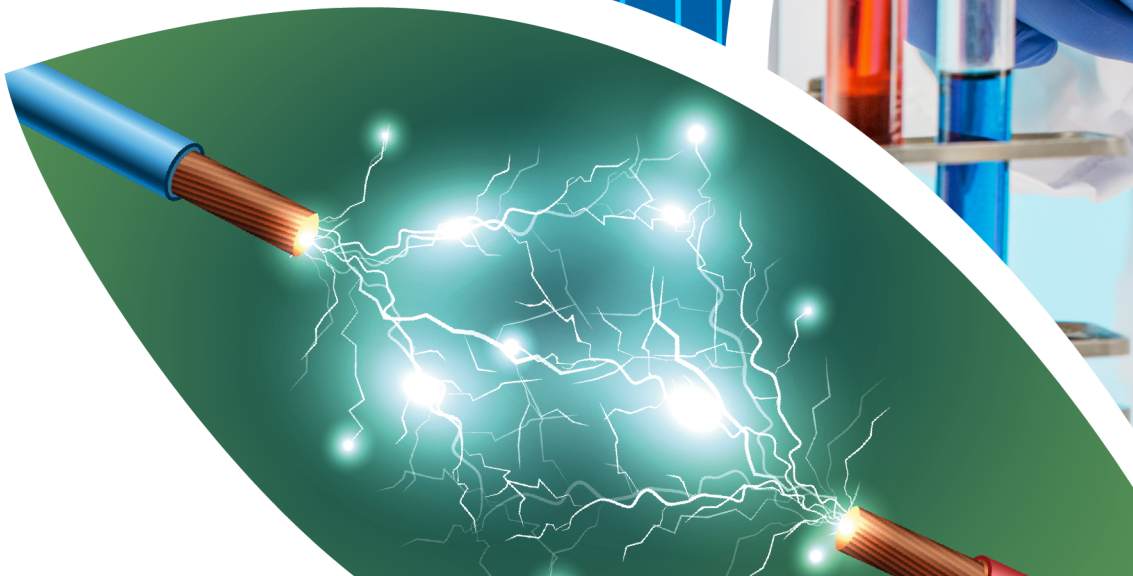
I

J

I

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. 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. Hacı Mehmet BAŞKONUŞ

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-2021

#10
IJIEA

IJIEA

volume 5 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
Dynamic Analysis of a Quadcopter Using PID, Adaptive and LQR Control Methods Ayhan Altınörs, Funda Kuzu <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	65-74
Automatic EEG Emotion Recognition Method Based on Multi-Level Wavelet Transform and Local Binary Patterns <i>Çok Seviyeli Dalgacık Dönüşümü ve Yerel İkili Örüntüler Tabanlı Otomatik EEG Duygu Tanıma Yöntemi</i> Merve Akay, Türker Tuncer <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	75-80
Investigation of The Effects of Ni-Doping on The Structural Properties of Fe₂O₃ <i>Ni Katkısının Fe₂O₃'ün Yapısal Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması</i> Tankut Ateş, Süleyman Köytepe, Niyazi Bulut, Ömer Kaygılı <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	81-87
Investigation of The Effect of Pv Panel Efficiency Parameter on Investment Payback Period <i>Pv Panel Verim Parametresinin Yatırım Geri Ödeme Süresine Etkisinin Araştırılması</i> Hüseyin Benli, Mert Gürtürk <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	88-92
Investigation of Cryogenic Cooling Effect with Finite Element Method in Micro Milling of Ti6Al4V Material Mehmet Akif Oymak, Erkan Bahçe, İbrahim Gezer <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	93-100
Production of Nanocrystalline Cellulose by Ultrasonically Assisted Acid Hydrolysis <i>Ultrasonik Destekli Asit Hidrolizi ile Nanokristalin Selüloz Üretimi</i> Betül Çiçek Özkan, Melek Güner <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	101-106

IJIEA

volume 5 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
An Investigation of Galileo Contribution on the Relative Point Positioning <i>Galileo Uydu Sisteminin Konum Belirlemeye Katkısı</i> Sercan Bülbül <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	107-114
Anomaly Detection from Traffic Video Analysis Data and Classification with Differential Evolution Algorithm Extreme Learning Machine <i>Trafik Video Analiz Verilerinden Anomali Tespit ve Diferansiyel Gelişim Algoritması Uç Öğrenme Makinesi ile Sınıflandırma</i> Derya Avcı, Yasin Sönmez <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	115-124
A Review Study on Biocompatible Improvements of Niti-Based Shape Memory Alloys Safar Saeed Mohammed, Mediha Kök, Ibrahim Nazem Qader, Meltem Coşkun <i>Review [en] Derleme [tr]</i>	125-130
Investigate of Microhardness and Microstructure of Ti-Ni-Nb-X (Ta and V) SMAs <i>Ti-Ni-Nb-X (Ta ve V) Şekil Hatırlamalı Alaşımların Mikroyapısı ve Mikrosertliklerinin Araştırılması</i> Esra Balci, Fethi Dağdelen <i>Conference Paper [en] Konferans Bildirisi [tr]</i>	131-135
The Role of Inspectors in Creating a Safety Culture in the Construction Industry <i>İnşaat Sektöründe Çalışanların Güvenlik Kültürünün Oluşturulmasında Saha Gözetmenlerinin Rolü</i> Hasan Tuna, Sirel Albayrak <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	136-144
Thermal and Mechanical Properties of Concretes with Porous Aggregates <i>Gözenekli Agregalı Betonların Isıl ve Mekanik Özellikleri</i> Ayşe Biçer <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	145-151

IJIEA

volume 5 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
Green Synthesis of Nickel Nanoparticles Using Peumus Boldus Koch. Extract and Antibacterial Activity <i>Peumus Boldus Koch Özütü Kullanılarak Nikel Nanopartiküllerin Yeşil Sentezi ve Antibakteriyel Aktivitesi</i> Recep Taş, Ebru Koroglu, Hasan Ufuk Celebioglu <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	152-155
Synthesis of BaTiO₃ Via Microwave Method and Application of PANI/BaTiO₃ Nanocomposite as Counter Electrode in High Performance Dye Sensitized Solar Cell Recep Taş, Mahir Gülen <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	156-161
Modeling with Anfis of Surface Roughness Using Minimum Quantity Lubrication Technique in Milling Process <i>Minimum Miktarda Yağlama Tekniği ile Frezeleme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün Anfis ile Modellenmesi</i> Ömer Asal, Hakan Dilipak, Ayşegül Yalçınkaya, Şeymanur Ünal <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	162-170
Prevalence Areas and Damage Rate of Contarinia Pruniflorum Coutin & Rambier (Diptera: Cecidomyiidae) in Apricot Orchards in Malatya and Elazığ provinces (Turkey) Talip Yiğit, Hasan Tunaz <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	171-175
Artificial Intelligence Based Machine Learning Approach in High Energy Physics Serpil Yalçın Kuzu <i>Conference Paper [en] Konferans Bildirisi [tr]</i>	176-180
The Effect of Cutting Parameters on White Layer Thickness and Surface Hardness in Wire EDM of Heat-treated D2 Cold Work Tool Steel <i>Isıl İşlem Görmüş D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Tel Erozyonda İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Beyaz Tabaka Kalınlığı ve Yüzey Sertliğine Etkisi</i> Hasan Ballıkaya, Mehmet Altuğ <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	181-186

IJIEA

volume 5 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık Author(s) / Yazar(lar)	Page(s) / Sayfa(lar)
Investigation of Deep Drawability of Rectangular Shaped Cups in Deep Drawing Dies <i>Açılı Derin Çekme Kalıplarında Dikdörtgen Şekilli Kapların Derin Çekilebilirliğinin Araştırılması</i> Cebeli Özek, Hayrettin Akkelek <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	187-194
Evaluation of Harput Cimsit Bey Hammam in the Context of Re-Functioning Criteria <i>Harput Cimsit Bey Hamamı'nın Yeniden İşlevlendirme Ölçütleri Bağlamında Değerlendirilmesi</i> Kıvanç Tangülü, Neslihan Yıldız <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	195-204
Prediction of Blast-Induced Ground Vibration with ANN and Prediction Performance Serdar Ercins <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	205-211
The Impact Effect on Steel Fiber Reinforced Concrete Beams with Different Steel Fiber Ratio <i>Farklı Lif Oranına Sahip Çelik Lif Takviyeli Beton Kirişlerde Çarpma Etkisi</i> M. Fatih Şahan, İsmail Ünsal <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	212-217
An Efficient Sudoku Solver Application Based on Graph Theory <i>Grafik Teorisine Dayalı Etkin Bir Sudoku Çözücü Uygulaması</i> Mustafa Batar <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	218-224
Investigation of Inverter Topologies Used in Medium Frequency Direct Current Resistance Spot Welding Systems <i>Orta Frekans Doğru Akım Direnç Nokta Kaynak Sistemlerinde Kullanılan Evirici Topolojilerinin İncelenmesi</i> Can Özensoy, Murat Uyar <i>Review [en] Derleme [tr]</i>	225-236

IJIEA

volume 5 issue 2

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Title / Başlık	Page(s) / Sayfa(lar)
Seismic Soil-Structure Interaction of a Masonry Structure: Sungurbey Mosque <i>Yığma Bir Yapının Sismik Zemin- Yapı Etkileşimi: Sungurbey Camii</i> Özgür Yıldız, Ebru Doğan, Fatma Berfin Yamak <i>Research Article [en] Araştırma Makalesi [tr]</i>	237-249

DYNAMIC ANALYSIS OF A QUADCOPTER USING PID, ADAPTIVE AND LQR CONTROL METHODS

Ayhan Altınörs^{*1}, Funda Kuzu²

¹Firat University, Technical Vocational School, Electronics and Automation Department

²Technical Vocational School, Electronics and Automation Department

Abstract

Original scientific paper

In this study, different control methods for controlling the position and angle values for the quadcopter (UAV) that take off and land vertically are simulated with Matlab/Simulink. First of all, a mathematical model was created with the Newton-Euler method, taking into account the dynamics of the quadcopter system. The focus of the study is to investigate the appropriate control method for the position control of the quadcopter. For the linear model of the quadcopter system, PID, LQR and Adaptive Control methods, and for the nonlinear model of the quadcopter system. PD Control simulation has been done. The mentioned control methods have been applied to the system and the control of the movement of the system in each axis has been examined. The obtained results are compared with each other to see the performance of the controllers and the most appropriate control method for the quadcopter was determined with comparisons and tracking scenarios.

Keywords: Adaptive, LQR, PID, Quadcopter, UAV

1 Introduction

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are systems that do not contain human elements, can adjust their speed and direction through their sensors and software methods, go from their location to the target point and perform the defined tasks [1, 2]. A quadcopter is an under-actuated UAV with six degrees of freedom and four symmetrically positioned rotors. The main forces and moments acting on a quadcopter are produced by its rotors. Under-actuated system; means that the six degree of freedom (θ , ϕ , ψ , X, Y, Z) quadcopter system is controlled by only four inputs. In another words, a quadcopter can be controlled simply by variation in motor speed and do not require any complicated actuators. Due to their small size and maneuverability, quadcopters are one of the most used UAVs both in open and closed areas. Quadcopters do not need mechanical connections used to change the propeller angle. So it is simple to design and maintain. The second advantage is that its kinetic energy is less during flight as four motors with small diameters are used [3]. Good maneuverability, not needing large areas for landing and take-off, easy control and installation, their ability to hover in the air, are the reasons why they are preferred more than helicopters using a main rotor and tail rotor.

The motion of the quadcopter is driven by the thrust generated by its rotors. As shown in Figure 1.a, while one pair of opposed rotor pairs rotates clockwise, the other pair rotates counterclockwise. As a result of the simulations in the study, the most appropriate control method for the

quadcopter was determined with comparisons and tracking scenarios [4].

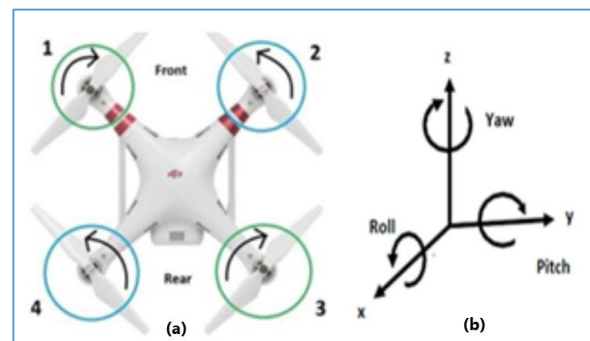


Figure 1: a) Quadcopter with four rotors

b) Roll, pitch and yaw angles that define the motion of the quadcopter.

2 Quadcopter Motion Definitions and Equations

Quadcopters have two pairs of rotors rotating mutually in the same direction to prevent torque imbalance [5,6]. As seen in Figure 2, the first and third rotors rotate in the same direction (clockwise), the second and fourth rotors in the same direction but in the opposite direction (counterclockwise) to the other pair of rotors.

Quadrotors have three basic flight angles as shown in Figure 1.b. These are called roll, pitch and yaw angles. For the movement of the quadcopter in the x, y, z axes, the the roll (ϕ), pitch (θ) and yaw (ψ) angles must be changed by controlling the speed of the rotors [7].

* Corresponding author.

E-mail address: aaors@hotmail.com (A. Altınörs)

Received 28 April 2021; Received in revised form 03 July 2021; Accepted 18 July 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.929552>

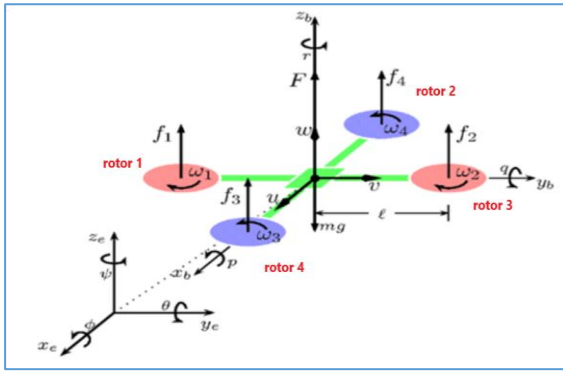


Figure 2: Rotation directions of quadcopter rotors

The quadcopter moves in the direction of the propeller with less angular velocity. If the total thrust generated by the four rotors is equal to the total weight of the quadcopter, the quadcopter will be suspended in the air. For movement on the vertical axis, the angular velocities of the two opposing rotor pairs rotating in opposite directions must be changed at the same rate. Take off by increasing the

angular velocities of the rotor pairs at the same rate and landing by decreasing them. The roll angle is the angle the quadcopter makes about the x-axis. The quadcopter moves on the y-axis with the opposite speed change of the rotors 2 and 4, provided that the speeds of the rotors 1 and 3 remain constant. As it is known, the quadcopter moves in the direction of the propeller with less angular speed. Pitch angle is the angle the quadcopter makes about the y-axis. Similar to the roll angle, the quadcopter moves forward and backward with the opposite speed change of the rotors 1 and 3, provided that the speeds of the rotors numbered 2 and 4 remain constant. The angle of yaw refers to the rotation of the quadcopter around the z-axis. It is caused by the balance mismatch caused by the change of speed of one of the mutually placed rotor pairs. In other words, the angle of deviation in the z-axis occurs from the speed difference between the number 1 and 3 rotors and the number 2 and 4 rotors [8]. Movement directions of a quadcopter according to rotor speeds are shown in Figure 3. Green and white lines mean slower speed, and red lines mean faster speed.

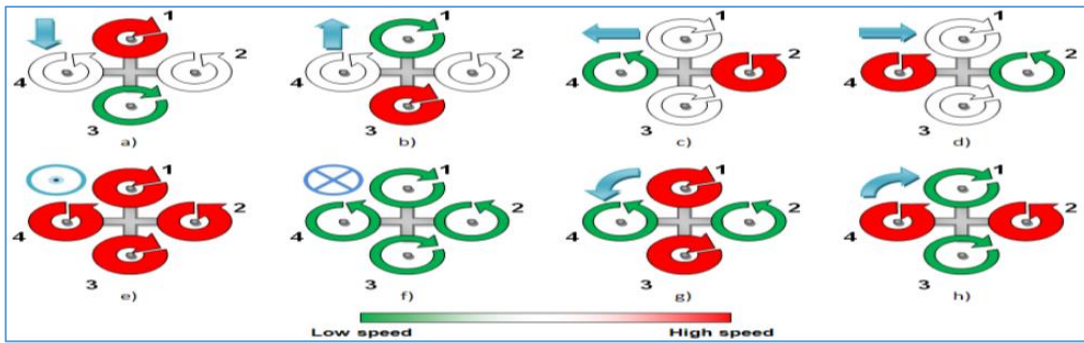


Figure 3. Various directions of movement of the quadcopter [9]

2.1 Equations of Motion of the Quadcopter

$$\ddot{\phi} = \dot{\psi} \dot{\theta} \left(\frac{I_y - I_z}{I_x} \right) - \frac{J}{I_x} \dot{\theta} (-\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4) + \frac{l}{I_x} U_2 \quad (1)$$

$$\ddot{\theta} = \dot{\psi} \dot{\phi} \left(\frac{I_x - I_z}{I_y} \right) - \frac{J}{I_y} \dot{\phi} (-\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4) + \frac{l}{I_y} U_3 \quad (2)$$

$$\ddot{\psi} = \dot{\phi} \left(\frac{I_x - I_y}{I_z} \right) + \frac{1}{I_y} U_4 \quad (3)$$

$$\ddot{x} = (C\psi S\theta S\phi + S\psi C\phi) \frac{1}{m} U_1 \quad (4)$$

$$\ddot{y} = (S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi) \frac{1}{m} U_1 \quad (5)$$

$$\ddot{z} = -g + (C\theta C\phi) \frac{1}{m} U_1 \quad (6)$$

Motion equations of a quadcopter are given in equation number 1 to 6. These nonlinear equations obtained for the quadcopter are linearized around a chosen operating point. In the study, the hover point is considered as the operating point and is given by equation 7.

$$[\phi \ \theta \ \psi] = [0 \ 0 \ 0] \quad U_1 = g \quad (7)$$

Due to small orientations, the angles are approximately become; $\sin\theta \approx \theta$, $\sin\phi \approx \phi$, $\sin\psi \approx \psi$, $\cos\theta \approx 1$, $\cos\phi \approx 1$, $\cos\psi \approx 1$.

So, the motion equations of the quadcopter can be written as seen in equations 8-13.

$$\ddot{\phi} = \frac{U_3}{I_x} \quad (8)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{U_2}{I_y} \quad (9)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{U_4}{I_z} \quad (10)$$

$$\ddot{x} = \frac{m}{U_1} \sin \theta \quad (11)$$

$$\ddot{y} = -\frac{m}{U_1} \sin \phi \quad (12)$$

$$\ddot{z} = \frac{U_1}{m} - g \quad (13)$$

3 Application of PID, LQR and Adaptive Control Methods for Quadcopter

In this section, simulations and results of DJI-F450 model quadcopter with PID, LQR and Adaptive Control methods created in Matlab/Simulink software are given [17].

3.1 Quadcopter Control with Proportional Integral Derivative (PID) Controller

In order to control the movement of the quadcopter in the x and y axes, roll and pitch angles must be controlled. With the formation of the pitch angle, the quadcopter moves in the y-axis, with the formation of the roll angle in the x-axis. After controlling the Roll (θ) and Pitch (ϕ) angles with PID, the quadcopter's x and y axes were controlled [10-16]. The simulation models and results for height, x-axis, y-axis and deviation are shown in Figure 4., Figure 5., Figure 6. and Figure 7., respectively.

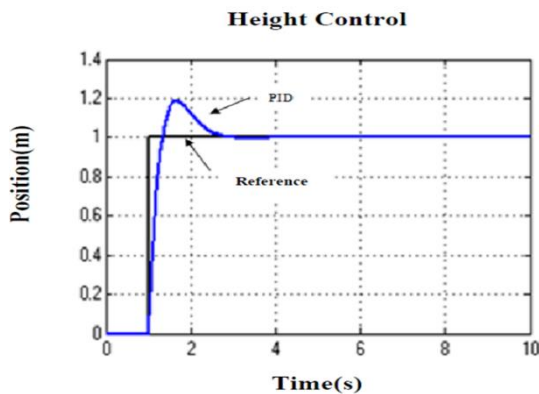
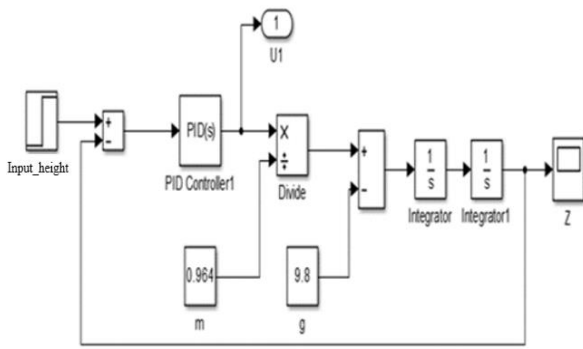


Figure 4: PID simulation model and simulation result for height ($m=0.964$ kg, $g=9.8$ m/s²)

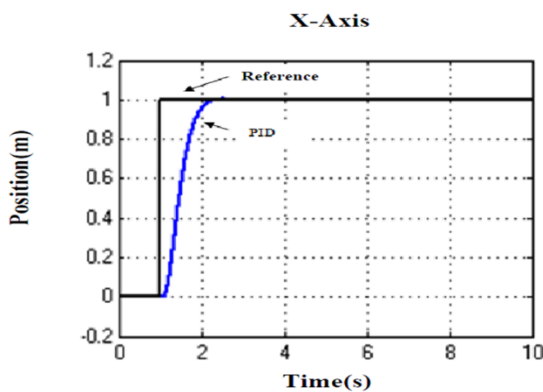
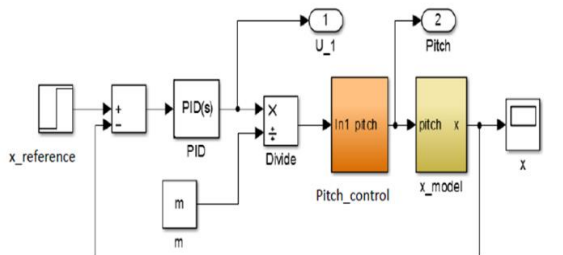


Figure 5: PID simulation model and simulation result for x-axis ($m=0.964$ kg, $I_{xx} = 8.5532 \times 10^{-3}$ kgm², $x_{ref} = 1$ m)

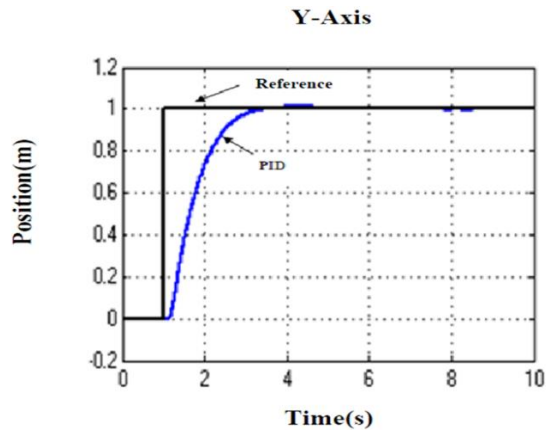
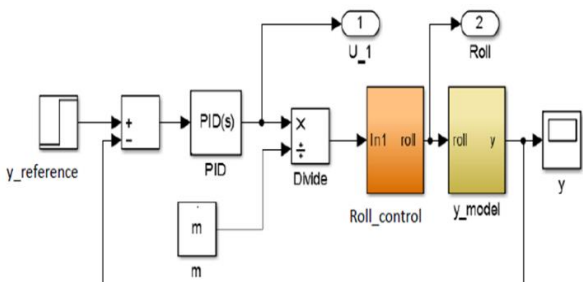


Figure 6: PID simulation model and simulation result for y-axis ($m=0.964$ kg, $I_{yy} = 8.5532 \times 10^{-3}$ kgm², $y_{ref} = 1$ m)

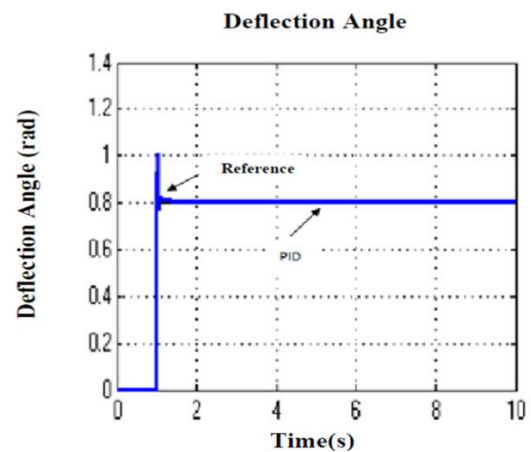
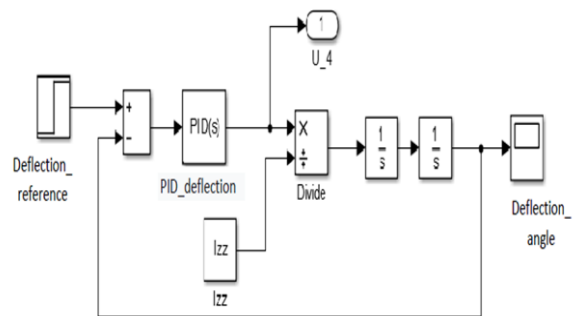


Figure 7: PID simulation model and simulation result for Roll angle ($I_{zz} = 8.5532 \times 10^{-3}$ kgm², $\psi_{ref} = 0.8$ rad.)

The purpose of the position control for the quadcopter is to enable it to follow the desired travelers in the x, y, z cartesian space. According to the graph obtained for height control, maximum overshoot is observed within reasonable limits, and the steady-state error is almost zero. It was observed that the vehicle reached the desired height in the z-axis in a short time. When we look at the x and y positions, the x value reached the desired target in the 2nd second and the y value in the 4th second. Looking at the graph in Figure 7 for the angle of deviation, it is at stable position, at zero.

3.2 Quadcopter Control with Linear Quadratic Regulator (LQR) Controller

LQR is the optimal control method commonly used to find state feedback gain for closed loop systems [16, 18]. In this method, the closed loop response is found by

The simulation results obtained with different adaptation rates for different reference models using the MRAC method for the quadcopter are shown in Figure 14 to 21.

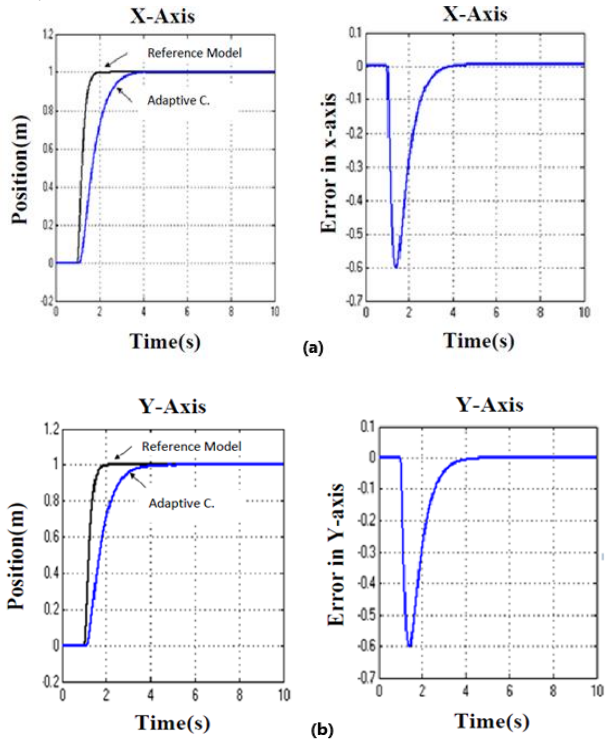


Figure 14: For; $G_{X-Y}(s) = \frac{60}{s^2+15s+60}$ reference model and $\gamma = 0.3$
 (a) x-axis, (b) y-axis simulation results

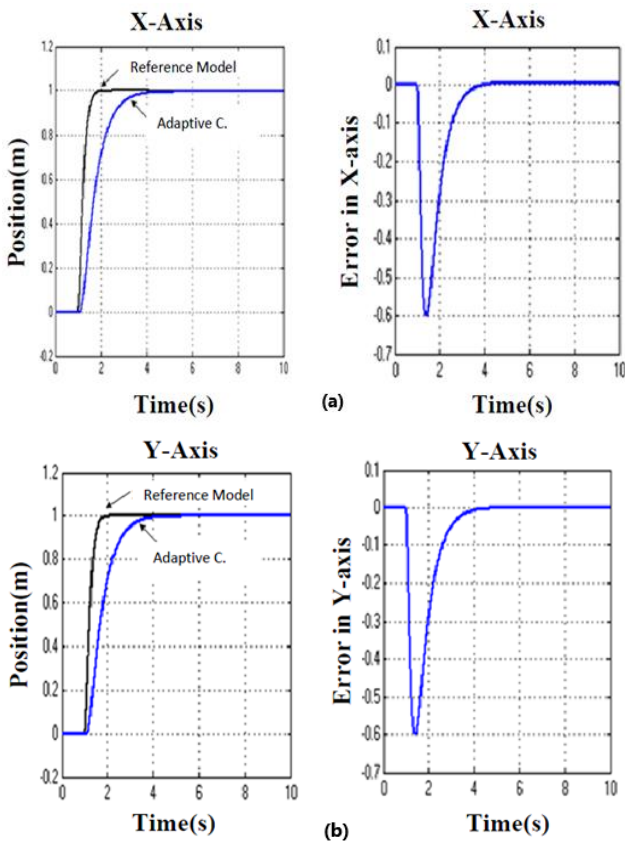


Figure 15: For; $G_{X-Y}(s) = \frac{60}{s^2+15s+60}$ reference model and $\gamma = 0.1$
 (a) x-axis, (b) y-axis simulation results

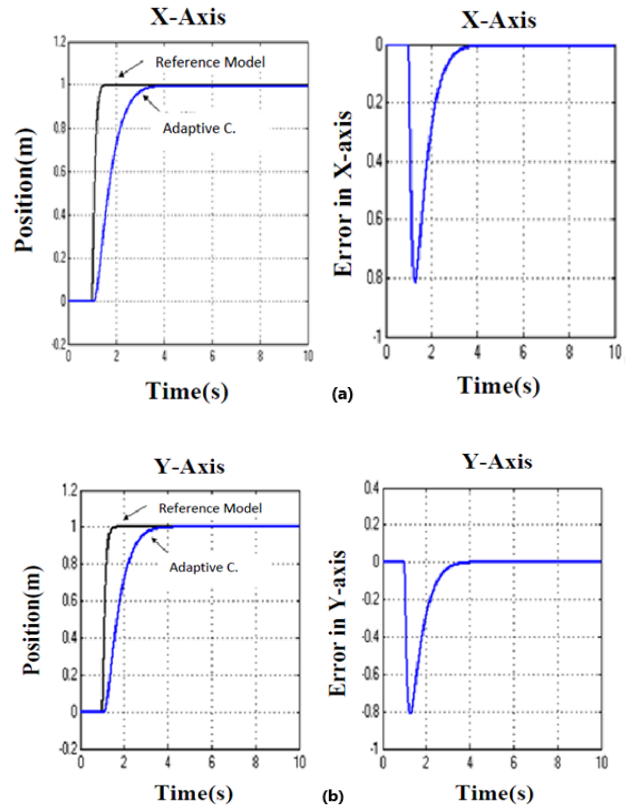


Figure 16: For; $G_{X-Y}(s) = \frac{225}{s^2+30s+225}$ reference model and $\gamma = 0.5$
 (a) x-axis, (b) y-axis simulation results

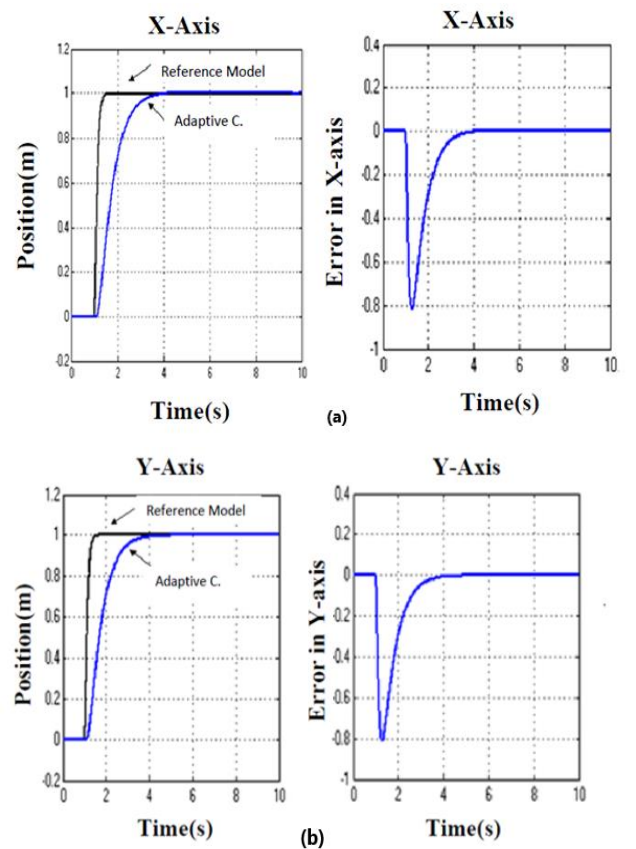


Figure 17: For; $G_{X-Y}(s) = \frac{225}{s^2+30s+225}$ reference model and $\gamma = 0.1$
 (a) x-axis, (b) y-axis simulation results

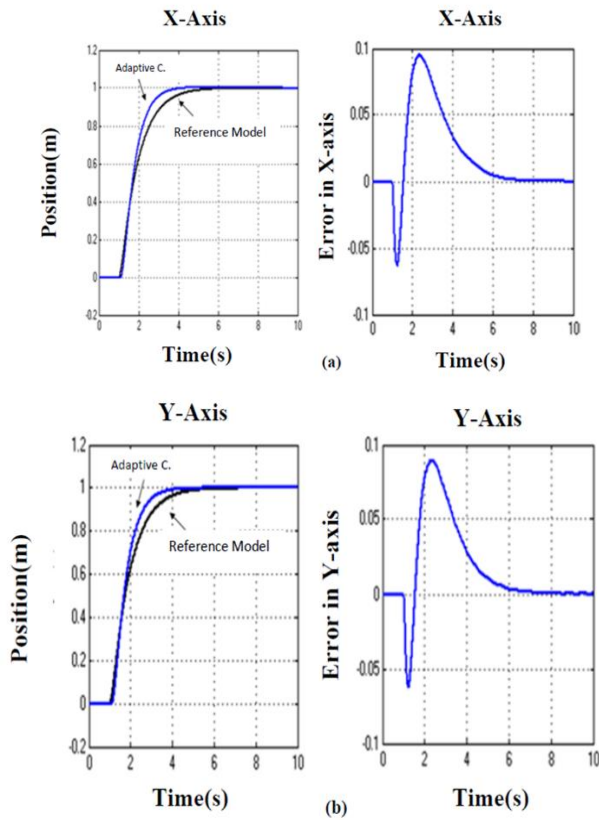


Figure 18: For; $G_{X-Y}(s) = \frac{9}{s^2+9s+9}$ reference model and $\gamma = 0.5$
 (a) x-axis, (b) y-axis simulation results

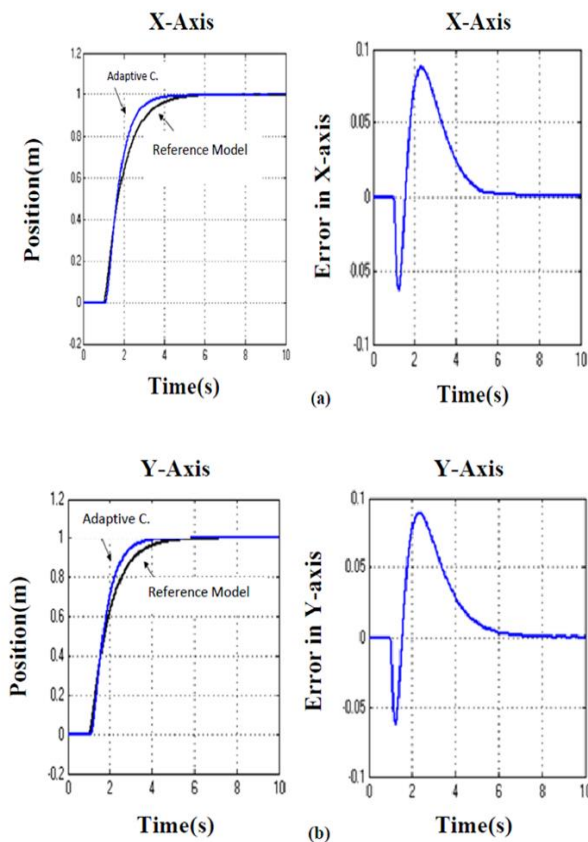


Figure 19: For; $G_{X-Y}(s) = \frac{9}{s^2+9s+9}$ reference model and $\gamma = 0.1$
 (a) x-axis, (b) y-axis simulation results

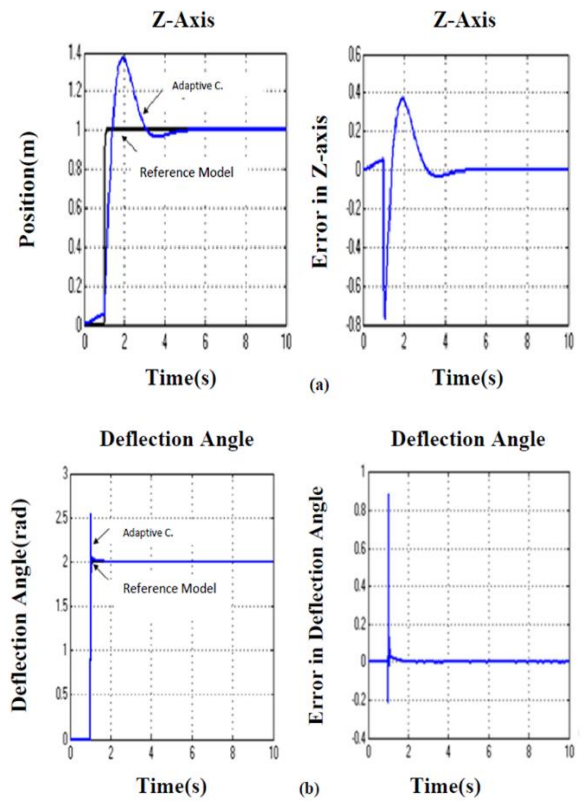


Figure 20: For; $G_{Z-\psi}(s) = \frac{60}{s+60}$ reference model and $\gamma = 0.5$
 (a) z-axis, (b) deflection angle simulation results

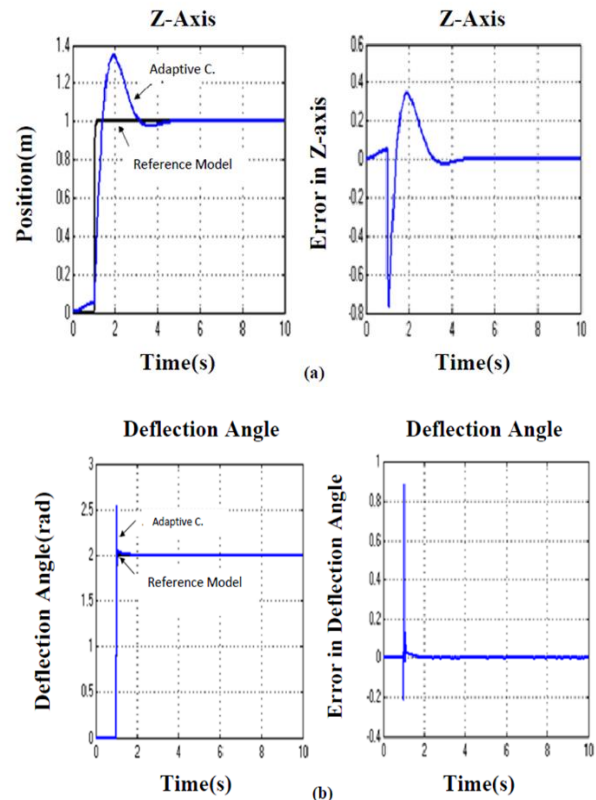


Figure 21: For; $G_{Z-\psi}(s) = \frac{60}{s+60}$ reference model and $\gamma = 0.1$
 (a) z-axis, (b) deflection angle simulation results

The simulation results show that the choice of adaptation rate is very important. According to the simulation results in the studies, the system gave the best answer when the adaptation rate was 0.1.

3.4 PD Control for Quadcopter Nonlinear Model

In this section, a PD controller has been created for the quadcopter nonlinear model. Rotor voltage values U_1, U_2, U_3, U_4 are multiplied by the appropriate PD coefficients in the PD control block, and the rotor voltage values are checked for the case where the propellers are mounted.

In the quadcopter system block, the general angular velocity value of the quadcopter and the angular velocities of the propellers, ϕ (phi), θ (theta), ψ (psi) were calculated and the desired x, y, z values were obtained according to this angle data. The quadcopter PD simulation model is shown in Figure 22 and the simulation model results are shown in Figure 23.

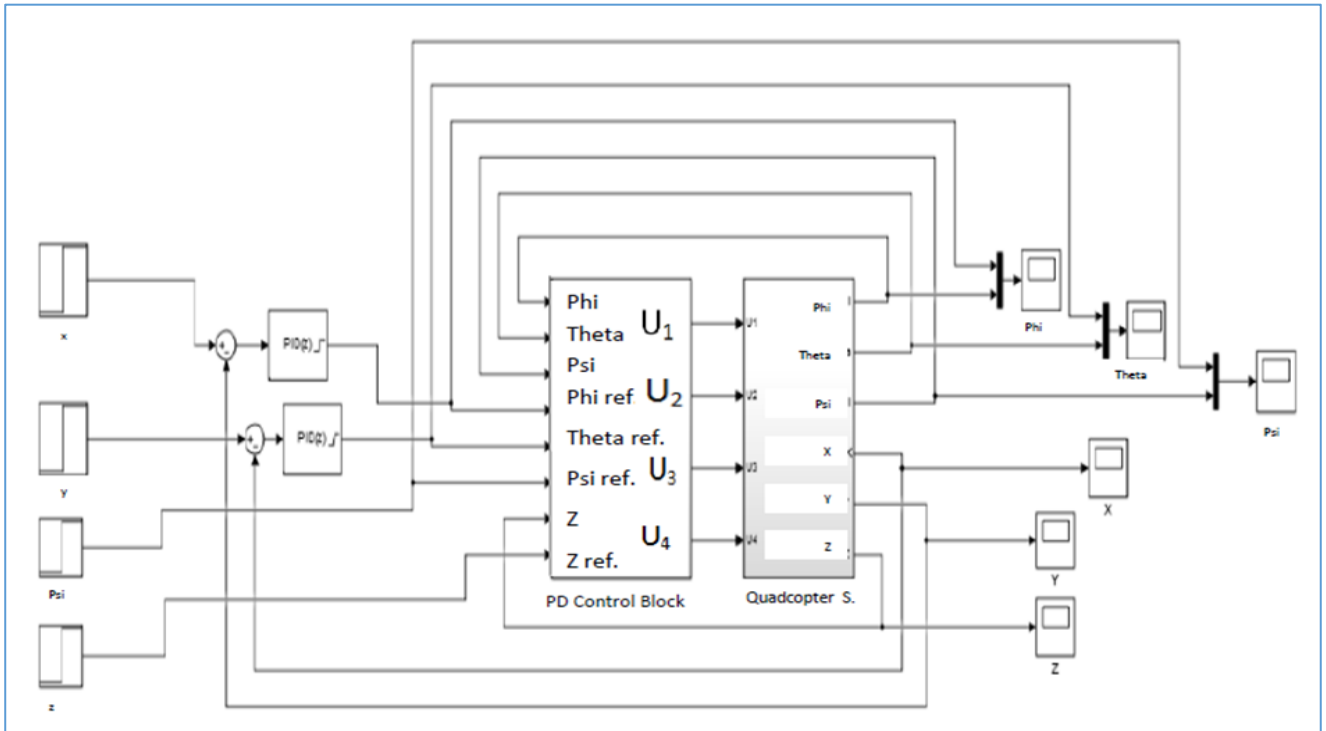


Figure 22: Quadcopter PD control simulation model

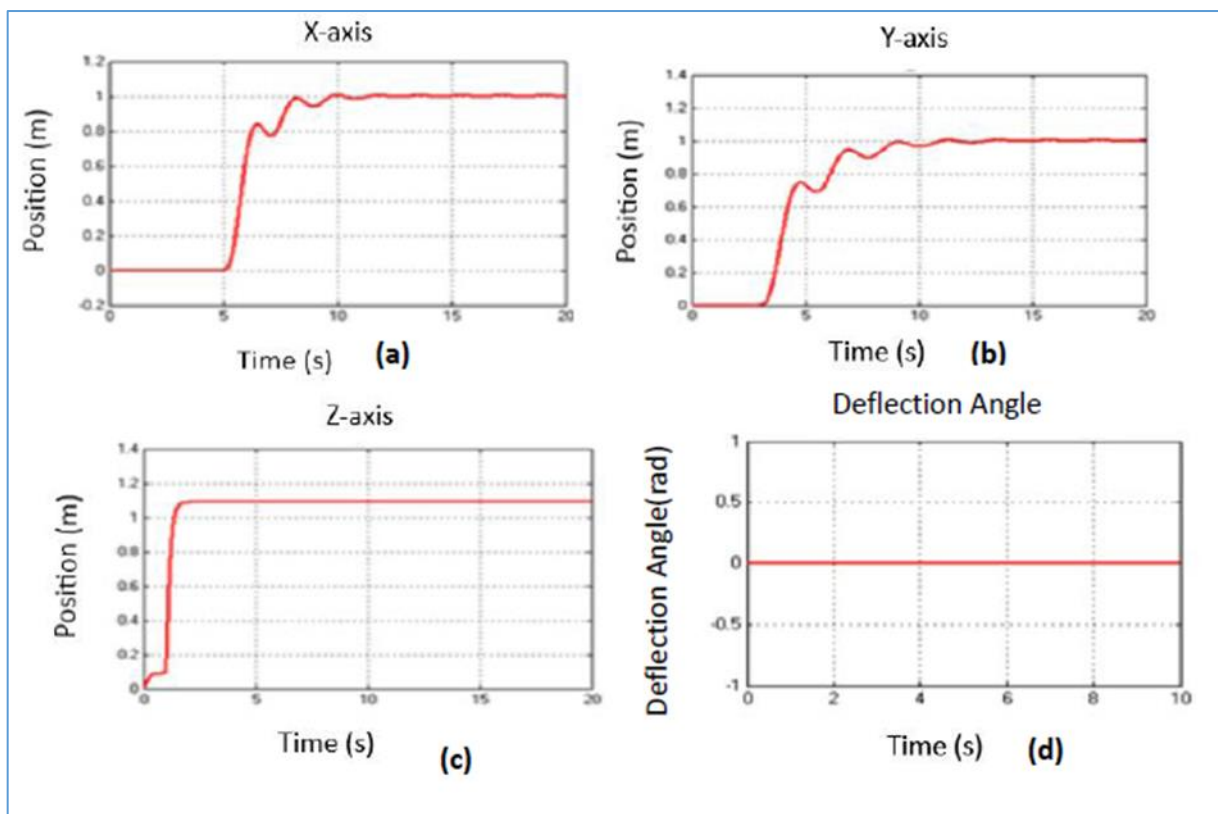


Figure 23: Quadcopter PD control simulation results a) x-axis b) y-axis c) z-axis d) deflection angle

When the PD control results for the quadcopter nonlinear model in Figure 23 are analyzed, it is seen that they pass the desired position values of x , y and z with a short settling time and without not much oscillation. A steady state error has been observed in the z -axis. The declination angle is at the stable position, ie at zero, throughout the simulation.

3.5 Tracking Scenarios

Route tracking scenarios were applied for PID, LQR and Adaptive Control methods for the quadcopter and the results obtained are shown in Figure 24.

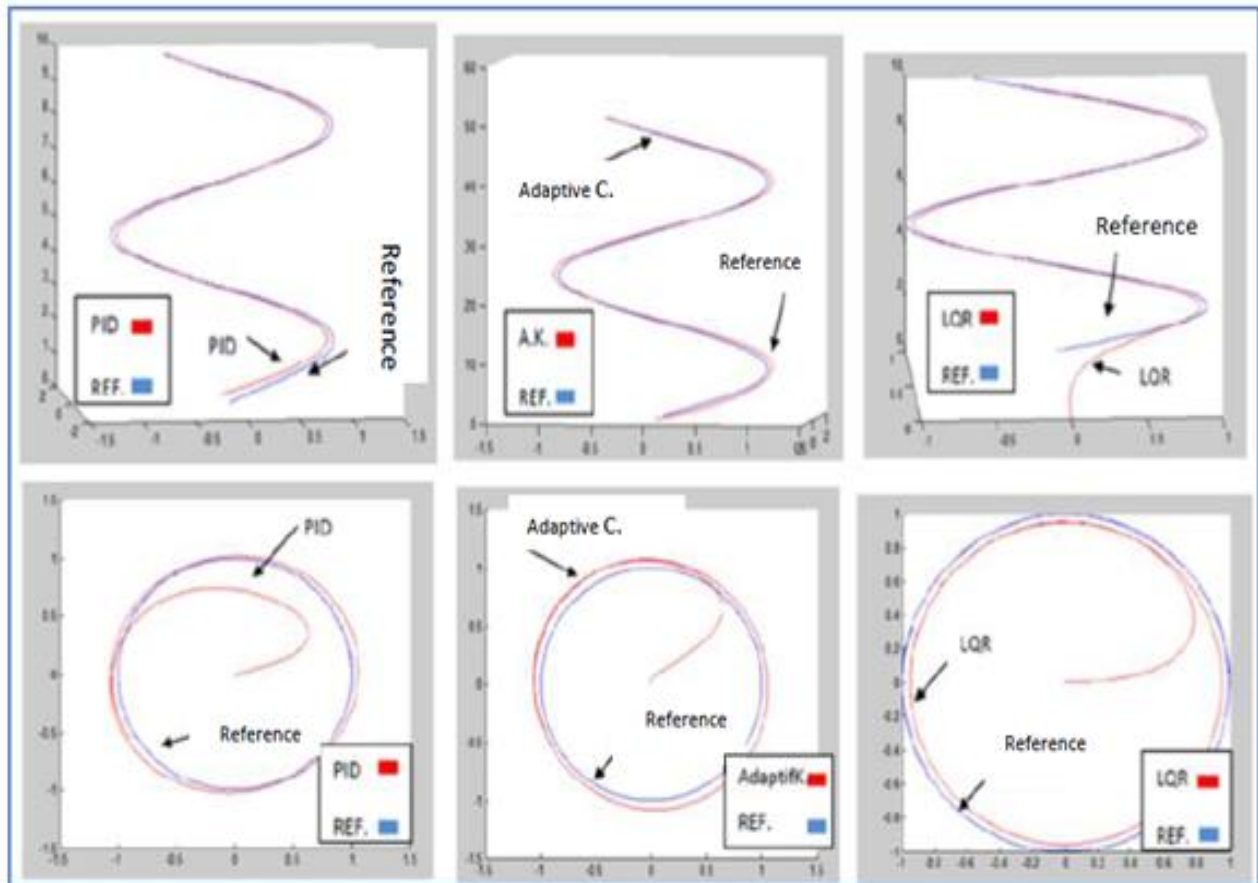


Figure 24: Results of route tracking scenarios

4 Conclusion

In this study, the dynamic model of the quadcopter (UAV), which has become widely used recently, was examined and simulation studies were carried out with PID, Adaptive Control and LQR methods for the quadcopter linear model, and PD Control methods for the nonlinear model.

In the PID structure, pitch and roll angles were first checked and then a control was applied for the x and y axes. Linear model is used for LQR design. In the simulation phase, the desired performances were achieved with the linear model. Looking at the simulation results, it was seen that the settling time was shorter in the PID Control method. Steady state error is almost nonexistent in both control methods.

When the PD control results for the quadcopter nonlinear model are examined, it is seen that they pass the desired position values of x , y and z with a short settling time and not much oscillation. A steady state error has been observed in the z -axis. The roll angle is at the stable position, ie at zero, throughout the simulation.

In the simulations, it has been observed that the Adaptive Control method gives more successful results in

following the desired reference positions for x , y , z -axes and angle ψ . In MRAC method, selection of reference model and adaptation rate greatly affects system performance. In the study, desired results were obtained with control studies performed with different reference model and adaptation ratio selections for x , y , z axes. It was obtained from the adaptation rate (γ) = 0.1. According to the simulation studies, the best results for all reference models were obtained when the adaptation ratio was 0.1.

Acknowledgements

This article is derived from Funda Kuzu's master's thesis named "Application of Different Control Methods to a Quadcopter".

References

- [1] Schmidt M. D. (2011). *Simulation and Control of a Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle* (Master's dissertation, University of Kentucky).

- [2] Hussein, A. N. B. (2017). *Autopilot Design for a Quadcopter* (Doctoral dissertation, University of Khartoum).
- [3] Patel, K., & Barve, J. (2014, December). Modeling, simulation and control study for the quad-copter UAV. In 2014 9th *International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)* (pp. 1-6). IEEE.
- [4] Gupte, S., Mohandas, P. I. T., & Conrad, J. M. (2012, March). A survey of quadrotor unmanned aerial vehicles. In 2012 *Proceedings of IEEE Southeastcon* (pp. 1-6). IEEE.
- [5] Bouabdallah S. (2007). *Design and Control of Quadrotors with Applications to Autonomous Flying*. (Doctoral dissertation, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland).
- [6] Abbas, N. H., & Sami, A. R. (2017). Tuning of PID controllers for quadcopter system using hybrid memory based gravitational search algorithm–particle swarm optimization. *International Journal of Computer Applications*, 172(04), 9-18.
- [7] Ermeydan A. (2015). *Bir Quadrotora Arıza Toleranslı Uçuş Kontrol Sistemi Tasarımı*. (Master's dissertation, Anadolu University).
- [8] Karahan M. (2019). *Dört Rotorlu Bir İnsansız Hava Aracının Modellenmesi ve PID Kontrolcü Tasarımı*. (Master's dissertation, TOBB Economy and Technology University).
- [9] Domingues J.M.B. (2009). *Quadrotor prototype*. (Master's dissertation, Universidade Técnica de Lisboa).
- [10] Coşkun, İ., & Terzioğlu, H. (2009). Gerçek Zamanda Değişken Parametrelili Pid Hız Kontrolü. In 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*.
- [11] Åström, K. J., & Häggglund, T. (2000). The future of PID control. *IFAC Proceedings Volumes*, 33(4), 19-30.
- [12] Usman M. (2019). *Quadcopter Modelling and Control with Matlab /Simulink Implementation*. (Master's dissertation, LAB University of Applied Sciences).
- [13] Olfati-Saber R. (2001) *Nonlinear control of underactuated mecahanical systems with application to robotics and aerospace vehicles*. (Doctoral dissertation, MIT).
- [14] Fernando, H. C. T. E., De Silva, A. T. A., De Zoysa, M. D. C., Dilshan, K. A. D. C., & Munasinghe, S. R. (2013, December). Modelling, simulation and implementation of a quadrotor UAV. In 2013 *IEEE 8th International Conference on Industrial and Information Systems* (pp. 207-212). IEEE.
- [15] Oflaz T. (2013). *Dört Rotorlu Hava Aracının İrtifa Denetimi İçin Doğrusal Olmayan Denetleyici Tasarımı ve Uygulanması*. (Master's dissertation, Yıldız Technical University).
- [16] Kuzu F. (2018). *Dört Pervaneli (Quadcopter) İnsansız Hava Aracına Farklı Kontrol Yöntemlerinin Uygulanması*. (Master's dissertation, Fırat University).
- [17] *Matlab/Simulink Software Control Toolbox*. Retrieved August 2, 2021, from <https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/fromworkspace.html>
- [18] Lewis, F. L. (2008). Linear quadratic regulator (LQR) state feedback design. Lecture notes in Dept. Elect. *Engineering, University of Texas, Arlington*.
- [19] Åström K.J. (1995, January) Adaptive control around 1960. In *IEEE Conference on Decision and Control*, (pp. 2784–2789).
- [20] Mohammadi, M., & Shahri, A. M. (2013, February). Modelling and decentralized adaptive tracking control of a quadrotor UAV. In 2013 *First RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM)* (pp. 293-300). IEEE.
- [21] Kannan, S. K. (2005). *Adaptive control of systems in cascade with saturation*. (Doctoral dissertation, Georgia Inst.of Tech).



AUTOMATIC EEG EMOTION RECOGNITION METHOD BASED ON MULTI-LEVEL WAVELET TRANSFORM AND LOCAL BINARY PATTERNS

Merve Akay^{*1} , Türker Tuncer¹ 

¹Firat University, Faculty of Technology Department of Digital Forensics Engineering, Elazığ, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Electroencephalogram (EEG) signals have been considered to diagnose several brain and neurologic disorders. Moreover, the brain generated characteristic EEG signals according to the situation. Therefore, EEG signals have been used to detect emotional state and several EEG-based automated emotion detection models have been presented in the literature. In this work, a new automated EEG emotion detection model presented using multilevel discrete wavelet transform, local binary pattern, neighborhood component analysis, and k nearest neighbor classifier. The phases of the presented EEG classification model are; (i) the used EEG signals are divided into five equal non-overlapping segments, (ii) frequency coefficients are generated using multilevel discrete wavelet transform, (iii) local binary pattern generates features from raw EEG segment and frequency coefficients, (iv) feature selection using neighborhood component analysis, (v) classification and (vi) hard majority voting. We used the GAMEEMO dataset to test our proposal. This EEG emotion corpus contains 14 channels and channel-wise results were calculated. Our proposal reached perfect classification rate (100.0%) on the GAMEEMO dataset. Moreover, the average accuracy value obtained from all channels was obtained as 99.36%. These results clearly denoted the high classification ability of our model on the EEG signals for emotion classification.

Keywords: Majority voting, multilevel wavelet transform, EEG emotion recognition, local binary pattern,

ÇOK SEVİYELİ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE YEREL İKİLİ ÖRÜNTÜLER TABANLI OTOMATİK EEG DUYGU TANIMA YÖNTEMİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Elektroensefalogram (EEG) sinyallerinin çeşitli beyin ve nörolojik bozuklukları teşhis ettiği düşünülmektedir. Ayrıca beyin duruma göre karakteristik EEG sinyalleri üretir. Bu nedenle, duygusal durumu tespit etmek için EEG sinyalleri kullanılmış ve literatürde birçok EEG tabanlı otomatik duygu algılama modeli sunulmuştur. Bu çalışmada, çok düzeyli ayrık dalgacık dönüşümü, yerel ikili desen, komşuluk bileşen analizi ve k en yakın komşu sınıflandırıcı kullanılarak yeni bir otomatik EEG duygu algılama modeli sunulmuştur. Sunulan EEG sınıflandırma modelinin aşamaları; (i) kullanılan EEG sinyalleri beş eşit örtüşmeyen bölüme bölünmüştür, (ii) frekans katsayıları çok düzeyli ayrık dalgacık dönüşümü kullanılarak üretilmiştir, (iii) yerel ikili desen ham EEG bölümü ve frekans katsayılarından özellikler üretir, (iv) komşuluk bileşen analizi kullanarak özellik seçimi, (v) sınıflandırma ve (vi) katı çoğunluk oylaması. Yöntemimizi test etmek için GAMEEMO veri kümesini kullandık. Bu EEG duygu veri seti 14 kanal içerir ve kanal bazında sonuçlar hesaplanmıştır. Önerimiz, GAMEEMO veri kümesinde mükemmel sınıflandırma oranına (% 100.0) ulaştı. Ayrıca, tüm kanallardan elde edilen ortalama doğruluk değeri 99.36% olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, modelimizin duygu sınıflandırması için EEG sinyalleri üzerindeki yüksek sınıflandırma yeteneğini açıkça gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Çoğunluk oylaması, çok seviyeli dalgacık dönüşümü, EEG duygu tanıma, yerel ikili örüntü

1 Giriş

Duygu, dış uyaranlara tepki olarak tanımlanabilen ve insan bilincini temsil eden [1], bireyin düşüncelerinden oluşur. Duygular, insanların düşünürken, iletişim kurarken, öğrenirken ve karar verirken dış uyaranlara verdikleri tepkiler olarak ifade edildiğinden, insanların günlük

yaşamındaki davranışlarını belirlemede temel bir rol oynar. [2]

İnsan duygularının daha iyi tanınması, etkili iletişime yol açacaktır. Duygu tanıma, hastanelerde, akıllı evlerde ve akıllı şehirlerde IOT(nesnelerin interneti) ve akıllı ortamların tanıtılmasıyla son zamanlarda ilgi görmüştür [3] ve teknolojinin artması bu sistemlerin mobil

* Corresponding author.

E-mail address: 182144105@firat.edu.tr (M. Akay)

Received 29 March 2021; Received in revised form 25 May 2021; Accepted 29 June 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.904838>

sistemlerde[4-6] sağlık hizmetleri [7, 8] eğitim[9, 10] gibi farklı alanlarda kullanılmasını sağlamıştır.

Son zamanlarda EEG, beyin bilgisayar arayüzü sistemlerinde önemli bir rol oynadı. Chen vd. [4] beynin aktivite sensörleri sayesinde elde edilen kayıtların analizi sonucu epilepsi nöbetlerinin tespit edilmesi ile ilgili çalışma yaptı.

EEG, epilepsi tanısının konulmasında, kesin epilepsi tanısı almış hastaların sınıflaması, uygun tedavi seçimi ve prognoz belirlenmesinde ve hastalığın seyrinin takibinde kullanılan en değerli inceleme yöntemidir. Sadece mental durum bozukluğu ile karakterize nonkonvülfiz status epileptikus (NKSE) tablosunun tanısı için tanı koydurucu tek inceleme yöntemi iken yavaş virüs hastalıkları, herpes simpleks ensefaliti ve hepatik ensefalopati gibi bazı özel tabloların tanısı ve takibinde de çok önemli ipuçları sağlar.

Ayrıca uyku ve bozuklukları ile beyin ölümünün değerlendirilmesinde de EEG kullanılır[5].

Geçmiş ve günümüzde yapılan çalışmalar incelendiğinde EEG sinyalleri kontrol edilemediği için daha doğru sonuç vermesi amacıyla bu sinyaller üzerinden duygu tanıma seçilmiştir. Son zamanlarda duygu tanıma işleminin sağlıklı olabilmesi için başvurulan yöntem beyin sinyallerine dayalı duygu tahmini araştırmaları hız kazanmıştır. Ses ve yüz verileri kullanılarak duygu tanımayla ilgili yapılan çalışmalar vardır ancak ses, yüzlerin kontrol edilebilir olması sebebiyle doğru sonuçların elde edilemeyeceği aşikârdır. Bu sebepten dolayı duygusal ve bilişsel durumu anlayıp, anlamlı sinyale dönüştüren yöntemin duygu tanıma amaçlı kullanılması doğruluk düzeyini artıracaktır. EEG tabanlı duygu tanıma çalışmalarının birkaçı Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatür taraması

Makale	Yöntem	Veriseti	Doğruluk değeri(%)
Li vd.[6]	Destek Vektör Makineleri	DEAP SEED	59.06 83.33
Shawky vd. [7]	3 Katmanlı Evrişimsel Sinir Ağı	DEAP	87.44, 88.49
Pandey vd. [8]	Varyasyonel Mod Ayırıştırma Derin Sinir Ağı	DEAP	62.50, 61.25
Lan vd. [9]	Diferansiyel Entropi Etki Alanı Uyarılma Tekniği	DEAP SEED	48.93 54.73
Qing vd. [10]	Karar Ağacı K-En Yakın Komşu Rastgele Orman	DEAP SEED	62.63 74.85
Yin vd. [11]	Yerel Olarak Sağlam Özellik Seçimi	DEAP	65, 68
Gao vd. [12]	Destek Vektör Makineleri Alaka Vektör Makineleri	DEAP	89.17, 91.18
Alakus vd. [1]	Ayrık Dalgacık Dönüşümü Vektör makineleri desteklemek K-En Yakın Komşu Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı	GAMEEMO	72.73
Hassouneh vd. [3]	Evrişimsel Sinir Ağı Uzun Kısa Süreli Bellek	Veri toplama	99.81
Wei vd. [13]	Tekrarlayan Sinir Ağı Basit Tekrarlayan Birimler Çift Ağaçlı Karmaşık Dalgacık Dönüşümü	SEED	80.02
Naser vd. [14]	Güç Spektral Yoğunluğu Çift Ağaçlı Karmaşık Dalgacık Paket Dönüşümü K-Katlı Çapraz Doğrulama Destek Vektör Makineleri	DEAP	22.50, 14.87, 19.44
Er vd. [2]	Hızlı Fourier Dönüşümü Veri Arttırma Süreci (Rastgele Döndürme, Kesme, Renk, Kaydırma, Gauss Filtresi, Tuz Biber Gürültüsü) Evrişimsel Sinir Ağı	Kendi verisetleri	73.28
Tuncer vd. [15]	Fraktal Fırat Deseni, Ayarlanabilir Q-Faktörü Dalgacık Dönüşümü, Doğrusal Ayrımcı K-En Yakın Komşu Destek Vektör Makineleri	GAMEEMO	99.82
Ghosh vd. [16]	3 Katmanlı Evrişimsel Sinir Ağı	Veri toplama	95
Cheng vd.[17]	GCFORREST	DEAP DREAMER	97.69, 97.53 89.03, 90.41, 89.89

2 Kullanılan EEG Veriseti

Bu çalışmada, 14 kanallı EMOTIV EPOC + adı verilen giyilebilir ve taşınabilir bir EEG cihazı ile 4 farklı

bilgisayar oyunu oynayan, 28 farklı kişiden toplanan GAMEEMO [1] veri seti kullanılmıştır. Kullanılan veri seti Tablo 2'deki gibidir.

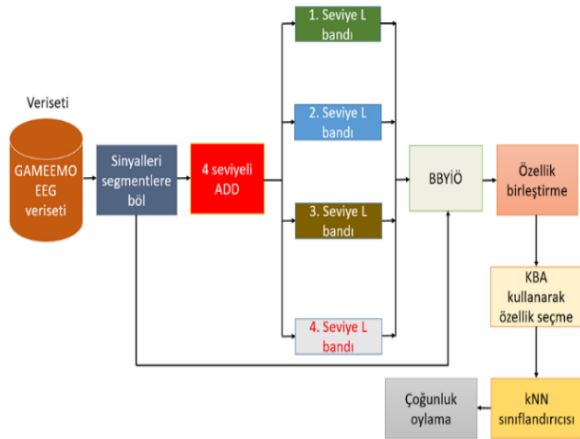
Tablo 2. Verisetinin özellikleri

Özellik	Değer
Sinyal türü	EEG
Cihaz Kanalı	14 kanal EMOTIV EPOC+
EEG elektrotları	16 farklı kafa derisi bölgesi
Sinyallerin bant genişliği	0.16Hz-43Hz.
Her EEG sinyalinin uzunluğu	38252
Oyun türü	4 farklı bilgisayar oyunu: • Komik • Sıkıcı • Korku • Sakin
Kişi sayısı	28

3 Önerilen Yöntem

Bu yöntemin temel amacı basit ve efektif yöntemleri bir arada kullanarak yüksek doğruluğa sahip bir EEG duygu tanıma yöntemi önermektir. Bu nedenle literatürde sıklıkla kullanılan elle özellik çıkarma yöntemlerinden birisi olan bir boyutlu yerel ikili örüntüler (BBYİÖ) [18, 19] kullanılmıştır. Ancak, BBYİÖ sadece alçak seviyeli özellikler çıkarmaktadır. Bu problemi çözmek için ayrı dalgacık dönüşümü (ADD) [20, 21] kullanılarak frekans katsayıları elde edilmiştir ve elde edilen frekans katsayıları kullanılarak çok seviyeli bir özellik çıkarma modeli oluşturulmuştur. BBYİÖ hem frekans alanında hem de uzaysal alanda özellikler çıkarılır. Çıkarılan özelliklerden en belirgin olanları seçmek için komşuluk bileşen analizi (KBA) [22, 23] kullanılır. Önerilen yöntem 4 seviyeli ADD kullanarak 4 adet alçak geçiren filtre katsayısı oluşturmuştur. BBYİÖ her bir sinyalden 256 özellik çıkarmaktadır. Bu nedenle, toplamda 256 x 5=1280 uzunluğundaki özellik vektörü elde edilir ve KBA en belirgin 256 özelliği seçer. Seçilen 256 özellik k en K-En Yakın Komşu [24, 25] sınıflandırıcısı kullanılarak sınıflandırma sonuçları elde edilir.

Önerilen yöntemin blok diyagramı Şekil 1'deki gibi verilmiştir.



Şekil 1 Önerilen yöntemin blok diyagramı

Yöntemi daha basit bir şekilde açıklamak için adımlar tanımlanmıştır ve tanımlanan adımlar verilmiştir.

Adım 0: GAMEEMO veri setini yükle.

Adım 1: Her bir kanala ait her bir EEG sinyalini oku.

Adım 2: Okunan EEG sinyallerini 5 eşit parçaya böl ve gözlem sayısını 112' den 560'a çıkar.

Adım 3: Her bir gözleme 4 seviyede ADD uygula. Bu aşamada ana dalgacık filtresi olarak symlet 4 kullanılmıştır.

$$[L^1, H^1] = ADD(s) \quad (1)$$

$$[L^k, H^k] = ADD(L^{k-1}), k \in \{2,3,4\} \quad (2)$$

Eşitlik 1 ve 2 kullanılan çok seviyeli ayrı dalgacık dönüşümünü ifade etmektedir. Eşitliklerde (Eşitlik 1 ve 2), s EEG sinyalini, L^k, H^k sırasıyla k . alçak geçiren ve yüksek geçiren frekans katsayılarını, $ADD(.)$ bir boyutlu ayrı dalgacık dönüşümü fonksiyonunu ifade etmektedir.

Adım 4: BBYİÖ kullanılarak EEG sinyalinden (gözlem) ve her bir gözlemden 256 özellik çıkar. BBYİÖ literatürde sıklıkla kullanılan özellik çıkarma yöntemlerinden birisidir. Bu yöntemin en önemli özellikleri şu şekilde sıralanmaktadır. Uygulanması basit bit yöntemdir, sinyal boyutundan bağımsız özellik çıkarır ve çıkardığı özelliklerin sınıflandırma kapasitesi yüksektir. BBYİÖ yönteminin sözde kodu Algoritma 1' de verilmiştir.

BBYİÖ ve ADD tabanlı çok seviyeli özellik çıkarma yöntemi Eşitlik 3-4' te açıklanmıştır.

$$f^1 = BBYIO(s) \quad (3)$$

$$f^{t+1} = BBYIO(L^t), t \in \{1,2,3,4\} \quad (4)$$

Burada, f^t t . özellik vektörü olarak tanımlanmaktadır.

Algoritma 1. BBYİÖ özellik çıkarıcısının sözde kodu

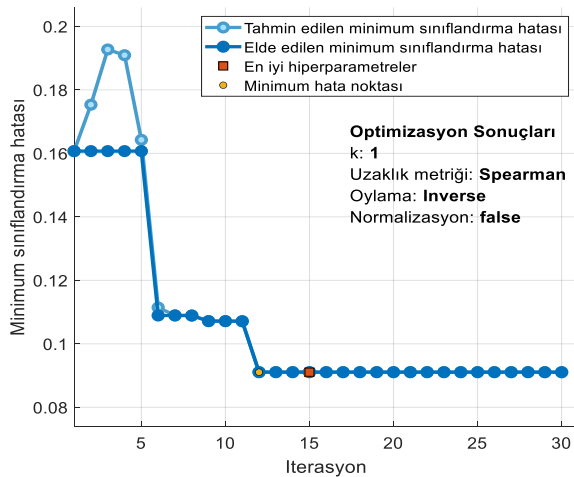
Prosedür: <i>BBYIO(s)</i>
Girdi: Tek boyutlu u uzunluğundaki sinyal (s)
Çıktı: Özellik vektörü
01: for $i=1$ to $u - 8$ do
02: $b = s(i:i + 8)$; // Sinyali 9 elemanlı örtüşen bloklara ayır
03: $m = b(5)$; // Örtüşen bloğun ortanca değerini merkez değer (m) olarak ata.
04: $sayac = 1$;
05: for $j=1$ to 9 do
06: if $j \neq 5$ then
07: $bit(sayac) = b(j) \geq m$; // Karşılaştırma fonksiyonu kullanarak bitleri çıkar
08: $sayac = sayac + 1$;
09: end if
10: $map(i) = \sum_{j=1}^8 bit(j) * 2^{j-1}$; // Özellik sinyalini üret
11: end for i
12: Özellik sinyalinin histogramını çıkar ve özellik vektörünü elde et.

Adım 5: Çıkarılan özellikleri birleştir (ft) ve 1280 özellik elde et.

$$ft((k-1) * 256 + j) = f^k(j), j \in \{1, 2, \dots, 256\}, k \in \{1, 2, \dots, 5\} \quad (5)$$

Adım 6: En uygun 256 özelliği çıkarılan 1280 özellik arasından seç.

Adım 7: K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı kullanarak çıkarılan 560×1280 boyutundaki özellik vektörünü 10-kat çapraz doğrulama yönteminin kullanarak sınıflandırın ve 560 elemanlı tahmin edilen etiket vektörünü oluşturun. En optimum K-En Yakın Komşu parametrelerini seçmek için MATLAB Classification Learner aracından bulunan optimize edilebilir K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısı kullanıldı. Bu sınıflandırıcının seçtiği optimum parametreler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2 Kullanılan K-En Yakın Komşu sınıflandırıcısının optimum parametrelerinin hesaplanması

Adım 8: Çoğunluk oylama yöntemini kullanarak her bir EEG sinyalinin tahmin edilen değerini hesapla. Bu aşamada çoğunluklu oylama yöntemi olarak mod fonksiyonu kullanılmıştır. Elde edilen tahmin vektörlerine mod fonksiyonu uygulanarak genel değerler elde edilmiştir.

Adım 9: Her bir kanal için Adım 1-8' i tekrarla.

4 Deneysel Sonuçlar

Önerilen yöntem ve GAMEEMO veri seti kullanılarak hesaplanmıştır. GAMEEMO veri seti 14 kanallı bir veri setidir. Bu sebepten dolayı her bir kanala ait sonuçlar hesaplanmıştır. Hesaplanan performans metrikleri doğruluk (OA), hassasiyet (Pr), hatırlama (Rec) ve F1-skor ($F1$). Bu performans metriklerinin matematiksel tanımı Eşitlik 6-10' da verilmiştir. Ayrıca, bu performans metriklerini hesaplamak için doğru pozitif (dp), doğru negatif (dn), yanlış pozitif (yp) ve yanlış negatif (yn) değerleri kullanılmaktadır.

$$OA = \frac{dp + dn}{dp + dn + yp + yn} \quad (6)$$

$$Pr = \frac{dp}{dp + yp} \quad (7)$$

$$Rec = \frac{dp}{dp + yn} \quad (8)$$

$$F1 = 2 \frac{Pr * Rec}{Pr + Rec} \quad (9)$$

GAMEEMO veri seti 14 adet kanaldan oluşmaktadır. Önerilen yöntem tüm kanallara tek tek uygulanmış ve kanal tabanlı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3' te gösterilmiştir.

Tablo 3' de gösterildiği gibi, 14 kanalın 7 âdetinde 100% sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. En kötü sonuç veren kanal 96.43% doğruluk oranıyla F7 kanalıdır. Bunun yanı sıra önerilen yöntem duyguları en doğru şekilde parietal loba takılan kanallar (P7 ve P8) kullanarak tespit etmektedir. Çünkü her iki kanalda da 100% doğruluk oranına erişilmiştir.

Önerilen yöntemin performansını daha iyi yorumlayabilmek için Tablo 4' te karşılaştırma tablosu verilmiştir.

Tablo 4'de sonuçlar analiz edildiğinde GAMEEMO yöntemi bu yöntemler arasındaki en iyi yöntemdir. Sadece T7 kanalında Tuncer vd.'nin [22] yöntemi önerilen yöntemden 0.72% daha yüksek sonuç elde etmiştir. Geriye kalan 13 kanalda önerilen yöntem en iyi sonuçları elde etmiştir. Bunun yanı sıra GAMEEMO' yu sınıflandırmak için derin öğrenme yöntemi de kullanılmıştır. Alakus ve Turkoglu [1] GAMEEMO'ya derin öğrenme uygulamışlardır ve 76.93% sınıflandırma başarımları elde etmişlerdir. Önerilen yöntem derin öğrenme tabanlı yöntemden 23.07% daha yüksek performansa ulaşmıştır.

Tablo 3. Önerilen yöntemin kanal bazlı sonuçları (%)

No	Kanal Adı	OA	Pr	Rec	F1
1	AF3	99.11	99.14	99.11	99.12
2	AF4	100	100	100	100
3	F3	100	100	100	100
4	F4	99.11	99.14	99.11	99.12
5	F7	96.43	96.51	96.43	96.47
6	F8	100	100	100	100
7	FC5	99.11	99.14	99.11	99.12
8	FC6	100	100	100	100
9	O1	99.11	99.14	99.11	99.12
10	O2	100	100	100	100
11	P7	100	100	100	100
12	P8	100	100	100	100
13	T7	98.21	98.21	98.21	98.21
14	T8	100	100	100	100
Ortalama		99.36	99.38	99.36	99.37

Tablo 4. Karşılaştırmalı sonuçlar

Kanal	Alakus vd.'nin yöntemi [1]	Tuncer vd.'nin yöntemi [15]	Önerilen yöntem
AF3	80	97.86	99.11
AF4	75	98.39	100
F3	75	98.21	100
F4	82	98.04	99.11
F7	71	98.39	96.43
F8	71	98.75	100
FC5	75	98.04	99.11
FC6	74	98.39	100
O1	71	98.57	99.11
O2	65	97.68	100
P7	70	98.04	100
P8	72	98.75	100
T7	65	98.93	98.21
T8	79	98.39	100

5 Deneysel Sonuçlar

Bu makalede yeni bir EEG duygu sınıflandırma yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem basit ve efektif bir yöntemdir. GAMEEMO EEG duygu veri seti kullanılarak 14 kanalın ortalama 99.36%, 7 kanalında 100% doğruluk oranı elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin gerçek zamanlı uygulamalarda kolaylıkla kullanılabileceğini açık bir şekilde göstermektedir. Ayrıca önerilen yöntem düşük maliyetli bir yöntemdir. Önerilen yöntemin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanmaktadır. Önerilen yöntem yüksek başarıma sahiptir, basittir, kolayca kodlanabilir ve gömülü akıllı sistemler bu yöntem kullanılarak geliştirilebilir. Bu çalışmanın sahip olduğu tek sınırlılık ise yalnızca GAMEEMO veri setinin kullanılmasıdır.

Gelecekteki çalışmalarda bu sınırlılığını gidermek ve evrensel doğruluğu göstermek için birden çok EEG duygu veri seti kullanılacaktır. Bunun yanı sıra sorgularda, psikiyatri kliniklerinde ve psikoloji bölümlerinde bireylerin duygularını tanımlayabilmek için akıllı beyin şapkalarının geliştirilmesi de planlanmaktadır.

Yazarların Katkıları

Conceptualization: Merve Akay, Turker TUNCER; Methodology: Merve Akay; Software: Merve Akay, Turker TUNCER; Validation: Merve Akay; Formal analysis: Merve Akay; Investigation: Merve Akay; Resources: Merve Akay; Data Curation: Merve Akay;

Writing - Original Draft: Merve Akay, Turker TUNCER; Writing - Review & Editing: Merve Akay, Turker TUNCER; Visualization: Turker TUNCER; Supervision: Turker TUNCER; Project Administration: Turker TUNCER

Teşekkür

We thank Talha Burak Alakus and Ibrahim Türkoğlu for sharing the GAMEEMO dataset.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Alakus, T. B., Gonen, M., & Turkoglu, I. (2020). Database for an emotion recognition system based on EEG signals and various computer games – GAMEEMO. *Biomedical Signal Processing and Control*, 60, 101951.
- [2] Er, M. B., Çiğ, H., & Aydılek, İ. B. (2021). A new approach to recognition of human emotions using brain signals and music stimuli. *Applied Acoustics*, 175, 107840.
- [3] Hassouneh, A., Mutawa, A. M., & Murugappan, M. (2020). Development of a Real-Time Emotion Recognition System Using Facial Expressions and EEG based on machine learning and deep neural network methods. *Informatics in Medicine Unlocked*, 20, 100372.

- [4] Chen, S., Zhang, X., Chen, L., & Yang, Z. (2019). Automatic Diagnosis of Epileptic Seizure in Electroencephalography Signals Using Nonlinear Dynamics Features. *IEEE Access*, 7, 61046-61056.
- [5] Baykan, B., Altındağ, E., & Elmalı A.D. ELEKTROENSEFALOGRAFİ. Retrieved March 6, 2021, from <http://www.itfnoroloji.org/semi2/eeg.htm>
- [6] Li, X., Song, D., Zhang, P., Zhang, Y., Hou, Y., & Hu, B. (2018). Exploring EEG Features in Cross-Subject Emotion Recognition [Original Research]. *Frontiers in Neuroscience*, 12(162).
- [7] Shawky, E., El-Khoribi, R., Shoman, M., & Wahby Shalaby, M. (2018). EEG-Based Emotion Recognition using 3D Convolutional Neural Networks. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9, 329.
- [8] Pandey, P., & Seeja, K. R. (2019). Subject independent emotion recognition from EEG using VMD and deep learning. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*.
- [9] Lan, Z., Sourina, O., Wang, L., Scherer, R., & Müller-Putz, G. R. (2019). Domain Adaptation Techniques for EEG-Based Emotion Recognition: A Comparative Study on Two Public Datasets. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 11(1), 85-94.
- [10] Qing, C., Qiao, R., Xu, X., & Cheng, Y. (2019). Interpretable Emotion Recognition Using EEG Signals. *IEEE Access*, PP, 1-1.
- [11] Yin, Z., Zhang, W., & Zheng, Z. (2020, July). Locally Robust Feature Selection of EEG Signals for the Inter-subject Emotion Recognition. In *2020 39th Chinese Control Conference (CCC)* (pp. 6250-6255). IEEE.
- [12] Gao, Q., Wang, C.-h., Wang, Z., Song, X.-l., Dong, E.-z., & Song, Y. (2020). EEG based emotion recognition using fusion feature extraction method. *Multimedia Tools and Applications*, 79.
- [13] Wei, C., Chen, L.-l., Song, Z.-z., Lou, X.-g., & Li, D.-d. (2020). EEG-based emotion recognition using simple recurrent units network and ensemble learning. *Biomedical Signal Processing and Control*, 58, 101756.
- [14] Naser, D. S., & Saha, G. (2021). Influence of music liking on EEG based emotion recognition. *Biomedical Signal Processing and Control*, 64, 102251.
- [15] Tuncer, T., Dogan, S., & Subasi, A. (2021). A new fractal pattern feature generation function based emotion recognition method using EEG. *Chaos, Solitons & Fractals*, 144, 110671.
- [16] Ghosh, L., Saha, S., & Konar, A. (2020). Decoding Emotional Changes of Android-Gamers Using A Fused Type-2 Fuzzy Deep Neural Network. *Computers in Human Behavior*, 116, 106640.
- [17] Cheng, J., Chen, M., Li, C., Liu, Y., Song, R., Liu, A., & Chen, X. (2021). Emotion Recognition From Multi-Channel EEG via Deep Forest. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(2), 453-464.
- [18] Chatlani, N., & Soraghan, J. (2010). Local binary patterns for 1-D signal processing. *2010 18th European Signal Processing Conference*, 95-99.
- [19] Kaya, Y., Uyar, M., Tekin, R., & Yıldırım, S. (2014). 1D-local binary pattern based feature extraction for classification of epileptic EEG signals. *Applied Mathematics and Computation*, 243, 209-219.
- [20] Murugappan, M., Ramachandran, N., & Sazali, Y. (2010). Classification of human emotion from EEG using discrete wavelet transform. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 03, 390-396.
- [21] Zubair, M., & Yoon, C. (2018). EEG based classification of human emotions using discrete wavelet transform. In *IT Convergence and Security 2017* (pp. 21-28). Springer, Singapore.
- [22] Goldberger, J., Roweis, S., Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. (2004). Neighbourhood components analysis. *Advances in neural information processing systems*, 17, 513-520.
- [23] Raghu, S., & Sriraam, N. (2018). Classification of focal and non-focal EEG signals using neighborhood component analysis and machine learning algorithms. *Expert Systems with Applications*, 113, 18-32.



INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NI-DOPING ON THE STRUCTURAL PROPERTIES OF Fe₂O₃

Tankut Ateş^{*1}, Süleyman Köytepe², Niyazi Bulut³, Ömer Kaygılı³

¹Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, 44210, Malatya, Türkiye

²İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 44280, Malatya, Türkiye

³Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

In the present study, the effects of Ni-doping on the structural properties of Fe₂O₃ samples prepared by a wet chemical method were investigated by using X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR), differential thermal analysis (DTA), thermogravimetric analysis (TGA) and scanning electron microscopy (SEM) techniques. XRD and FTIR results supported the formation of the Fe₂O₃ structure for each sample. Until 4at.%Ni-doping, no new phase formation was observed, and for this sample, the formation of the secondary phase of NiO was detected. It is seen that the crystal structure-related parameters and morphology are affected by Ni content. Briefly, Ni may be used to control some properties of the Fe₂O₃ structure.

Keywords: Fe₂O₃, thermal analysis, scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD)

Ni KATKISININ Fe₂O₃'ÜN YAPISAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Özet

Orijinal Bilimsel Makale

Sunulan çalışmada, Ni katkısının yaş kimyasal yöntemle hazırlanan Fe₂O₃'ün yapısal özellikleri üzerine etkileri X-ışını kırınımı (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR), diferansiyel termal analiz (DTA), termogravimetrik analiz (TGA) ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) teknikleri kullanılarak araştırılmıştır. XRD ve FTIR sonuçları her bir numune için Fe₂O₃ yapının oluşumunu desteklemektedir. 4at.%Ni katkısına kadar yeni bir faz oluşumu gözlenmemiş ve bu numune için NiO ikincil fazının oluşumu tespit edilmiştir. Kristal yapı ilişkili parametreler ve morfolojinin, Ni içeriğinden etkilendiği görülmektedir. Özetle Ni, Fe₂O₃ yapının bazı özelliklerini kontrol etmek için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Fe₂O₃, termal analiz, taramalı elektron mikroskopisi (SEM), X-ışını kırınımı (XRD)

1 Giriş

Demir (Fe), değerli sıfırdan üçe kadar değişen çeşitli şekillerde oluşabilen özel bir elementtir. Manyetikten ferromanyetiğe kadar farklı özelliklere sahip olan demir bileşiklerinin arasında manyetik demir oksitlerin, Manyetit (Fe₃O₄), Maghemit (γ-Fe₂O₃), Hematit (α-Fe₂O₃) ve Götite (FeO(OH)) çeşitleri vardır [1]. Hematit (α-Fe₂O₃) ferrit, demir oksidin mineral formudur ve doğada nadiren saf bileşimi ile bulunur. Kayalarda, toprakta ve su kütlesinde inorganik veya biyolojik çökeltme ile oluştuğu tortul çökelttilerde bulunan çevre atmosferdeki en kararlı demir oksit türüdür [2].

Hekzagonal yapıdaki hematit, O²⁻ iyonlarının hekzagonal sıkı paketlenmesine dayanan trigonal bir kristal sistemde kristalleşir [2]. Yapı olarak korundum (α-Al₂O₃) ile eş yapısalıdır [1]. Saf hematit kristali, ağırlıkta

yaklaşık %70 demir iyonları ve %30 oksijen iyonlarından oluşur. Burada oktahedral B bölgelerinin üçte ikisi, a=5,038Å ve c=13,772Å birim hücre parametrelili Fe³⁺ iyonları tarafından işgal edilir[2]. Yapı, bir kovalent bağ ile birbirine bağlanan, sıkı paketli sistemde iki oksijen katmanı arasında demir III katyon katmanlarının istiflenmesi olarak tasvir edilir [1].

Hematit (α-Fe₂O₃), teorik olarak çok çeşitli dalga boylarında ışık enerjisini absorbe etmesine izin veren yaklaşık 2,1eV'luk bir bant aralığı ile termodinamik olarak diğer demir oksitlerden daha kararlı bir mineraldir [1,3]. İlginç optoelektronik özelliklere sahip kompleks elektronik yapıların eşliğinde güçlü elektron-elektron etkileşimleri ve elektron-foton rezonansları sergiler [1]. Hematit, doğal bolluğu [3,4], düşük maliyeti [3-8], çevre dostu yapısı[3,4,8], toksik olmaması[7], düşük bant aralığı (2,1-2,3eV) [6], korozyona karşı yüksek direnci [6,7], yüksek

* Corresponding author.

E-mail address: tankut.ates@ozal.edu.tr (T.Ateş)

Received 26 April 2021; Received in revised form 17 June 2021; Accepted 21 June 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.927843>

teorik özgül kapasitesi [4], yüksek görünür ışık soğurma verimi[5], yüksek foto kararlılığı [5] gibi üstün özellikleri nedeni ile geniş bir kullanım alanına sahiptir. Biyokimyasal özellikleri, özellikle toksikoloji olmak üzere birçok bölümde incelenmiştir [9]. Ayrıca antiferromanyetik bir malzeme olarak korundum yapılı α - Fe_2O_3 , 950 K'de Neel sıcaklığına ve 263 K'de Morin geçiş sıcaklığına sahiptir [6]. Hematit nanoparçacıkların bazı spesifik yüzey düzlemleri yüksek yansıtıcı kabiliyetine sahiptir[7].

Bu avantajlı özelliklerin yanında, zayıf iletkenlik, kısa elektron-hol ömrü ve zayıf yük taşıyıcı transfer/taşıma verimliliği gibi sınırlayıcı dezavantajlı özellikleri de mevcuttur [5,10]. Morfoloji mühendisliği ve katkılama, elektron-hol çiftlerinin yüzeye taşınmaları için daha kısa yollar sağlayarak ve yük rekombinasyonunu engelleyerek bu sorunların ele alınmasında etkili olmuştur [3].

Kullanım alanları arasında manyetik katalitik [9], gaz sensörleri [6-9,11], heterojen katalizörler için fotoelektrot [6-8], fotokatalizörler [8,12], Li-iyon pil elektrotları [8,13], pigmentler [7,14], güneş enerjisi dönüşümü [6], biyomedikal [9,15] ve diğer alanlardaki geniş uygulamalarından dolayı avantajlıdır.

Hematit üretimi için hidrotermal sentez[16] ve solvotermal sentez[17] gibi sıvı bazlı kimyasal yöntemler [3,7,9], sol-jel [18], sprey piroliz yöntemi [19], çökeltme yoluyla sentez [20] ve biyosentez [21] gibi kullanışlı yöntemler mevcuttur.

Eu [22], Sn [23], Pd [24], Ir [25], Ti [26], Mn [27], Cr [28] ve Ga [29] gibi çeşitli katkı elementlerinin farklı oranlarda katkılanmasının hematitin karakteristik özellikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur. Literatür çalışmalarında, Lemine ve diğerleri [30] Ni katkılı Fe_2O_3 'ün yüksek verimli bir sorbent olduğunu, Sivakumar ve diğerleri [31] saf ve Ni katkılı α - Fe_2O_3 (hematit) nanopartiküllerinin kimyasal çökeltme yöntemi ile sentezlemiş ve Ni katkı maddesinin nanopartiküllerin yarı iletken davranışını belli bir dereceye kadar artırdığını belirtmişlerdir. Liu ve diğerleri [32], Ni katkılı Fe_2O_3 ince filmlerin fotoelektrokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Wang ve diğerleri [33] Ni katkılı α - Fe_2O_3 nanoyapıların Kongo kırmızısı boyasını sudan çıkarmak için yüksek adsorpsiyon performansı gösterdiğini, Qi ve diğerleri [34] Ni ve Co katkılı Fe_2O_3 lityum iyon piller için anot malzemesi olarak kullanıldığında daha iyi elektrokimyasal performans gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Bu çalışmada, yukarıda bahsi geçtiği üzere Ni katkılamanın Fe_2O_3 'e ait bazı karakteristik özellikler üzerine olumlu etkileri de dikkate alınarak; Ni katkısının artan miktarının Fe_2O_3 'ün kristal yapısı, morfolojisi ve termal özellikleri üzerine etkileri detaylı bir biçimde araştırılmış ve gerekli literatür karşılaştırmaları yapılarak rapor edilmiştir.

2 Materyal ve Metot

Fe_2O_3 numunelerin sentezinde; demir (III) nitrat nonahidrat ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, Sigma-Aldrich) nikel (II) nitrat heksahidrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Merck) Fe ve Ni elementlerinin öncülleri olarak kullanılmıştır. Her iki kimyasal için de çözücü olarak susuz etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, Sigma-Aldrich) kullanıldı. Katkısız ve Ni-katkılı Fe_2O_3

numunelerinin yaş kimyasal yöntemle sentezi için her defasında toplam hacmi 50 mL olan, 12 mmol $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ve x mmol $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi hazırlanmıştır. Burada bahsi geçen x değerleri sırasıyla 0, 0.12, 0.24 ve 0.48 şeklinde alındı. Hazırlanan her bir çözelti, bir manyetik karıştırıcı vasıtasıyla oda sıcaklığında 2 saat karıştırılmıştır. Sonrasında etüv içerisinde 80 °C'de 24 saat kurutulup toz haline getirilen numuneler, bir kül fırını içerisinde 750 °C'de 2 saat ısıtma işlemi tabi tutuldu. Elde edilen katkısız ve Ni-katkılı Fe_2O_3 numuneleri sırasıyla Fe_2O_3 , 1Ni- Fe_2O_3 , 2Ni- Fe_2O_3 ve 4Ni- Fe_2O_3 şeklinde isimlendirilmiştir.

Numunelerin X-ışınları difraksiyon (XRD) analizleri Bruker D8 Advance cihazı ile alınmıştır. Perkin Elmer Spectrum One spektrofotometresi ile Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrumları kaydedildi. Numunelere ait morfolojik incelemeler, JEOL JSM 7001F taramalı elektron mikroskobu ve bu cihaza entegre edilmiş Oxford Inca Energy 350 model enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analizörü vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda sentezlediğimiz nikel katkılı hematit numunelerinin termal özellikleri Shimadzu TGA-50 ve Shimadzu DTA-50 cihazları ile belirlenmiştir. DTA analizleri ise 10 °C/dk. ısıtma hızında ve 50 mL/dk. akış hızında dinamik azot atmosferinde yapıldı. α - Al_2O_3 referans malzemesi olarak analizlerde kullanılmıştır. TGA analizleri ise 30 °C –1000 °C aralığında 10 °C / dk.'lık bir ısıtma hızı ile belirlendi. TGA analizleri 50 mL/dk. akış hızındaki dinamik azot atmosfer altında 10 mg numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3 Bulgular ve Tartışma

Şekil 1, sentezlenmiş katkısız ve Ni katkılı α - Fe_2O_3 yapısının XRD kırınım desenlerini göstermektedir. Gözlenen kırınım deseni, Fe_2O_3 hematitin trigonal fazının tüm kırınım piklerine karşılık gelir (JCPDS PDF no: 33-0664) [11,35]. Mevcut tüm pikler sırasıyla (012), (104), (110), (113), (024), (116), (018), (214) ve (300) kristal düzlemlerine karşılık gelmektedir [36,37]. Yalnız en yüksek Ni içeriğine sahip olan 4Ni- Fe_2O_3 numunesinde düşük miktarda da olsa kübik kristal yapıya sahip NiO (JCPDS PDF no: 78-0429) ikincil fazının oluşumu tespit edilmiştir. XRD spektrumundaki dar ve keskin pikler, α - Fe_2O_3 yapılarının yüksek kristalleşmesini doğrular ve katkılı numunelerde kristalleşmenin arttığı görülmektedir [11]. Pik şiddetlerinde değişim ve piklerin konumlarında gözlemlenen kaymalar, Ni atomlarının hematit yapı içerisine nüfuz ettiği şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca Ni katkılı numunelerin difraksiyon desenlerindeki pik şiddetlerinde, katkısız numuneninkine göre artış gözlemlenmiştir. Bu da yine kristalleşmenin arttığının bir göstergesidir.

XRD deseninde Bragg piklerinin genişlemesi, kristal boyutunu tahmin etmede oldukça önemlidir [38]. Ortalama kristal büyüklüğü, D , aşağıda verilen Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanabilir [39]:

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Burada λ kullanılan X ışınlarının dalga boyu, β yarı maksimumdaki tam pik genişliği ve θ Bragg açısıdır

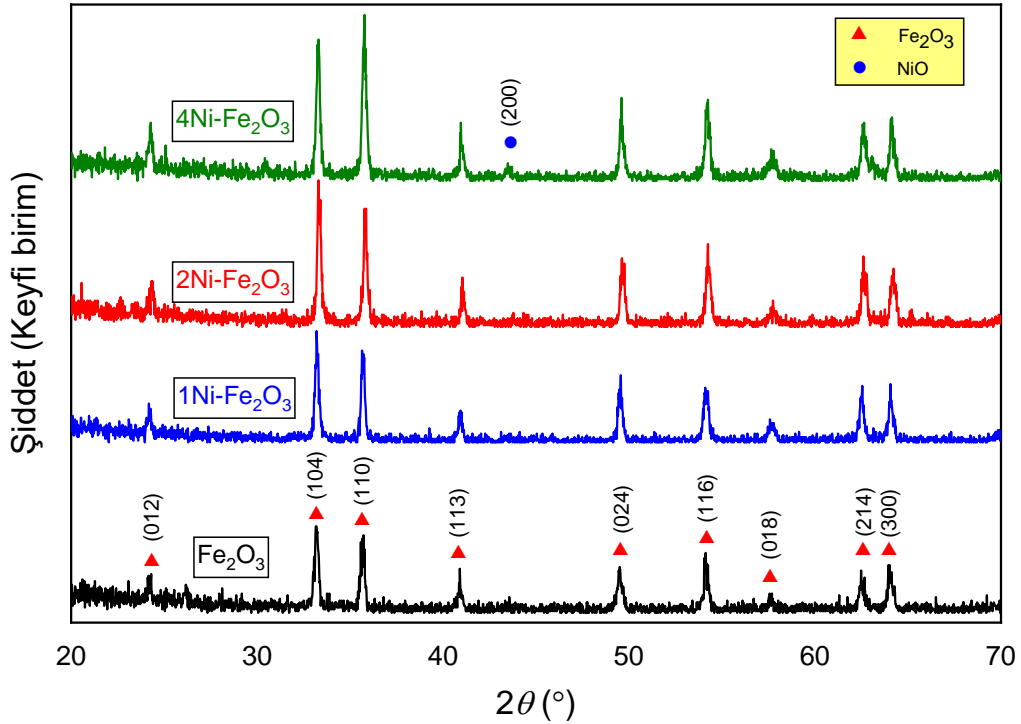
göstermektedir. Buna ilave olarak; trigonal kristal yapıya sahip olan hematitin örgü parametreleri (a ve c) ve birim hücre hacmi (V) değerleri de hesaplanarak, Tablo 1'de listelenmiştir.

Hem Şekil 1'deki XRD desenlerinden hem de Tablo 1'de verilen hesaplanmış değerlerden de açıkça görülebileceği üzere; Ni katkılama sayesinde Fe₂O₃ yapıya ait ortalama kristal büyüklüğü (D), her iki örgü parametresi (a ve c) ve birim hücre hacmi (V) değerleri değişmektedir. Gözlemlenen bu değişimler şu şekilde açıklanabilir: Ni ve Fe iyonlarının iyonik yarıçapları hemen hemen birbirine yakın olmakla birlikte (sırasıyla 0,069 nm ve 0,064 nm) değerlikleri birbirinden farklıdır. Şöyle ki, Ni +2 ve Fe ise +3 değerliğe sahiptir.

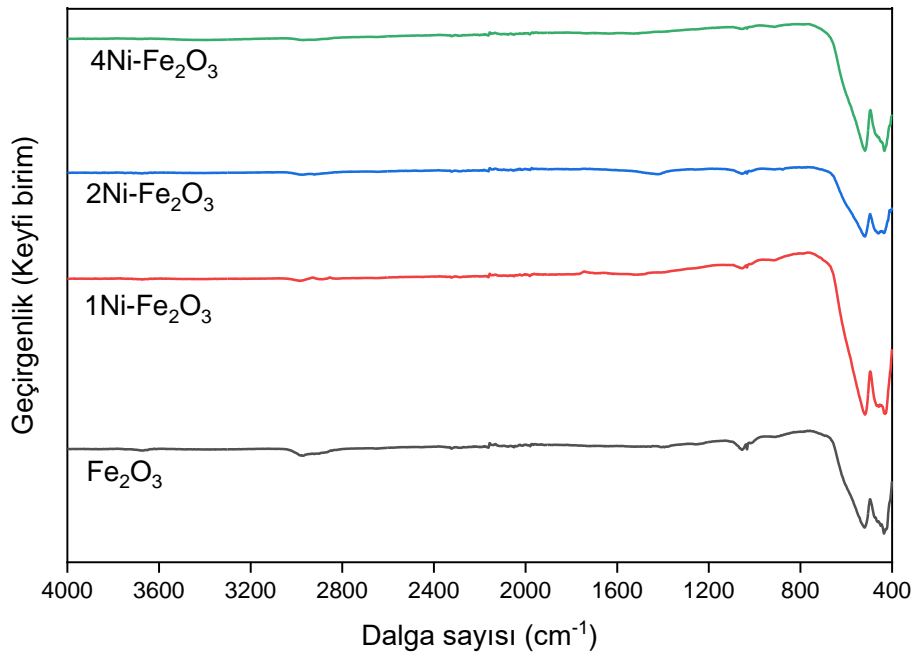
Tablo 1. Numunelere ait ortalama kristal büyüklüğü (D), örgü parametreleri (a ve c) ve birim hücre hacminin (V 'nin) hesaplanmış değerleri.

Numune	D (nm)	a (nm)	c (nm)	V (nm ³)
Fe ₂ O ₃	38,28	0,50326	1,37345	0,30124
1Ni-Fe ₂ O ₃	39,72	0,50302	1,37354	0,30098
2Ni-Fe ₂ O ₃	35,89	0,50188	1,37096	0,29905
4Ni-Fe ₂ O ₃	36,37	0,50257	1,36998	0,29966

Dolayısıyla yapı içerisinde yük dengesinin sağlanması için her iki Fe⁺³ iyonu ile üç adet Ni⁺² iyonunun yer değiştirmesi gerekir. Bu durum da yapı içerisinde dislokasyonların (kusurların) meydana gelmesine yol açacaktır.



Şekil 1. Katkısız Fe₂O₃ ve Ni-katkılı Fe₂O₃ numunelerine ait XRD desenleri

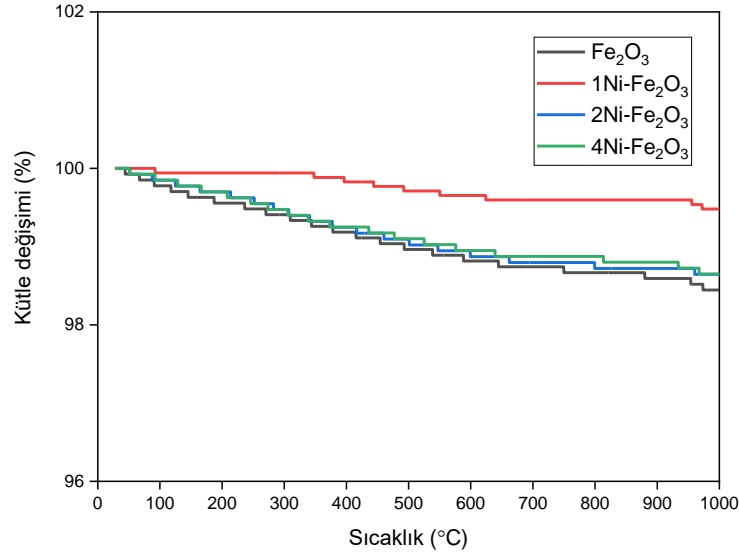


Şekil 2. Katkısız ve Ni-katkılı Fe₂O₃ yapılarına ait FTIR spektrumları.

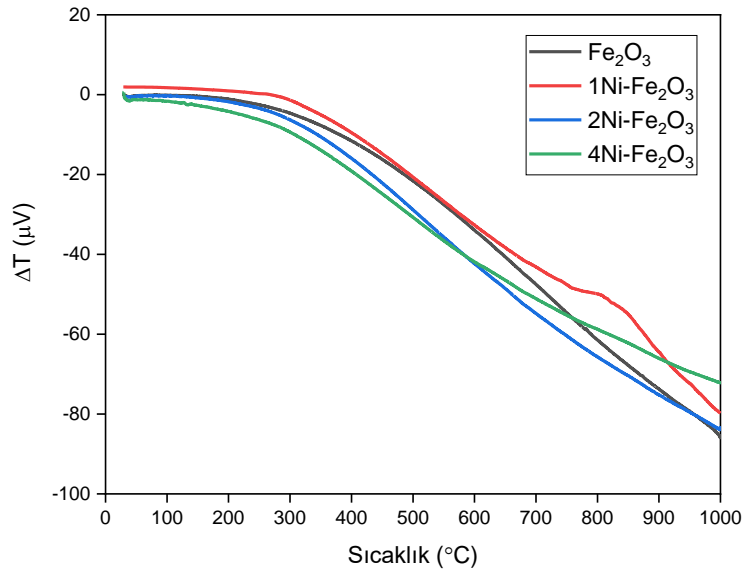
Çalışmada sentezlenen Fe_2O_3 temelli yapıların yapısal ve termal karakterizasyonu FTIR spektroskopisi ve termal analiz teknikleri ile gerçekleştirilmiştir. Fe_2O_3 temelli yapılara ait FTIR analizleri Şekil 2’de gösterilmektedir. Bu analizlerde tüm numuneler için yaklaşık 519 ve 433 cm^{-1} ’de iki absorpsiyon piki gözlenmiştir. Saf Fe_2O_3 yapısının FTIR spektrumunda yaklaşık olarak 433 cm^{-1} ve 519 cm^{-1} ’de iki şiddetli pik görülmüştür. Bu pikler sırası ile Fe-O-Fe ve Fe-O gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Ni katkılı Fe_2O_3 yapılarında ise yaklaşık 430 , 480 ve 520 cm^{-1} civarında üç şiddetli pik görülmüştür. Bu pikler sırası ile Fe-O, Ni-O ve Fe-O-Fe gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Yaklaşık 480 cm^{-1} ’deki pik yapıdaki Ni varlığını göstermektedir. FTIR analiz sonuçları XRD sonuçları ile uyumlu olup istenilen Ni-katkılı Fe_2O_3 yapısının elde edildiğini ispatlamaktadır. Sonuçlar literatür ile uyumludur[31,40-45].

Saf Fe_2O_3 ve Ni katkılı Fe_2O_3 yapılarının termal analizleri TGA ve DTA yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizler oda sıcaklığından 1000°C sıcaklığa kadar $10^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında platin örnek küvetlerinde ve $50\text{ mL}/\text{dk}$ akış hızına sahip azot

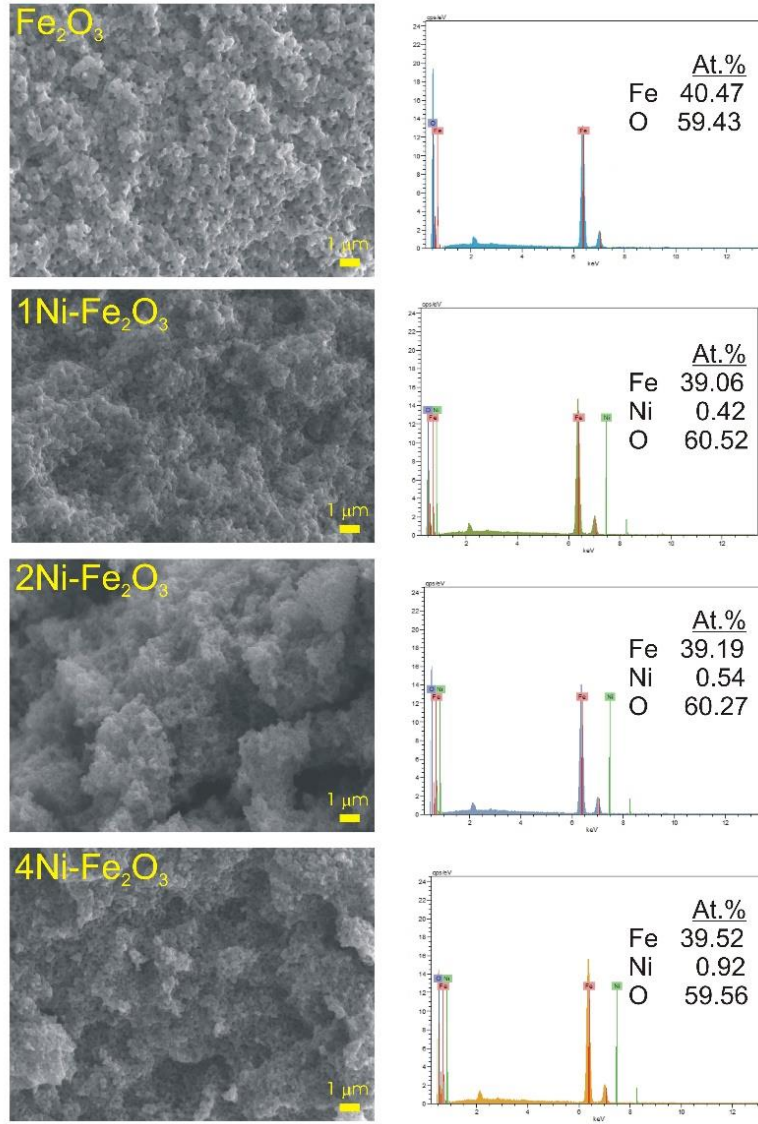
gazı atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3’de sentezlenen yapılara ait TGA termogramları verilmiştir. Bu termogramlarda saf Fe_2O_3 yapısı için 50°C ve 120°C arasında yüzeyde hapsolmuş olan nemden kaynaklı olan yaklaşık % 0,8 civarında bir kütle kaybı görüldü. 1000°C ’ye kadar yapılan ısıtma sonucunda Fe_2O_3 numunesi için toplamda %1,7 civarında bir kütle kaybı görülmüştür. Bu kütle kaybı değeri Ni katkılama işlemi ile azalmıştır. Ni-katkılı Fe_2O_3 yapılarında daha az kütle kaybı değerleri görülmüştür. Bu yapıya dâhil olan Ni varlığını ve azot atmosferinde yapılan ısıtımlarda temel yapısını koruduğunu göstermektedir. Katkısız Fe_2O_3 ve elde edilen Ni-katkılı Fe_2O_3 yapılarının termal özellikleri DTA analizleri ile de kontrol edilmiştir. DTA analiz sonuçları Şekil 4’de verilmektedir. Bu analiz sonuçlarında belirgin ve net bir termal değişim görülmemiştir. Bu sonuç istenilen oksit yapısının oluştuğunu ve 1000°C ’ye kadar korunduğunu göstermektedir. Sadece 1Ni- Fe_2O_3 yapısında yaklaşık 750°C ve 850°C arasında bir faz geçişi görülmektedir. Diğer yapıların 1000°C ’ye kadar termal kararlı olduğu görülmektedir. Termal analiz sonuçları literatür ile uyumludur[13,24,37,44-46].



Şekil 3. Katkısız Fe_2O_3 ve Ni-katkılı Fe_2O_3 yapılarına ait TGA termogramları.



Şekil 4. Katkısız Fe_2O_3 ve Ni-katkılı Fe_2O_3 yapılarına ait DTA termogramları.



Şekil 5. Üretilen numunelere ait SEM görüntüleri ve EDX analiz sonuçları.

Sentezlenen katkısız ve Ni katkılı Fe₂O₃ numunelerine ait SEM görüntüleri ve EDX analiz sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Tüm numuneler genel itibariyle 1 µm'den küçük (nano boyutta) küre şeklindeki parçacıkların üst üste istiflenmesiyle oluşan, mikro gözenekli morfolojiye haizdirler. Parçacık boyutları: Katkısız Fe₂O₃ numunesi için 217–439 nm aralığında, 1Ni-Fe₂O₃ numunesi için 154–340 nm aralığında, 2Ni-Fe₂O₃ numunesi için 161–514 nm aralığında ve 4Ni-Fe₂O₃ numunesi için 162–332 nm aralığında değişmektedir. Ni katkısının morfolojide bazı değişimler meydana getirdiği görülebilmektedir. Aynı şekilde verilen EDX raporları; her bir numunenin herhangi bir safsızlık göstermediğini vurgular niteliktedir. Dahası, bu EDX sonuçları Ni katkısının yapı içerisine nüfuz ettiğini ve bu Ni miktarlarının beklendiği üzere giderek artan miktarda olduğunu teyit etmektedir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, Ni katkısının miktarına bağlı olarak Fe₂O₃'ün yapısal, termal ve morfolojik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Bu amaçla bir adet katkısız ve üç adet farklı oranlarda Ni ihtiva eden

Fe₂O₃ numunesi yaş kimyasal metot vasıtasıyla hızlı ve pratik bir biçimde sentezlendi. Her bir numunenin karakterizasyonu; XRD, FTIR, TGA, DTA, SEM ve EDX yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. XRD ve FTIR analiz sonuçları her bir üretilen numunenin Fe₂O₃ yapıya sahip olduğunu doğrulamaktadır. 4at.%Ni katkılı numune haricinde ikincil bir faz oluşumuna rastlanmazken, bu numune için NiO fazının oluşumu tespit edilmiştir. Kristal büyüklüğü, her iki örgü parametresi ve birim hücre hacminin bariz bir biçimde Ni miktarından etkilendiği gözlenmektedir. Ni katkısının morfoloji üzerine etkili olduğu tespit edilmiştir. 1at.%Ni içeren numune haricinde numunelerin 1000 °C sıcaklığa kadar ısıl olarak kararlı olduğu gözlenmiştir. Bu katkı miktarına sahip numunede ise, 750 °C'den sonra değişim tespit edilmiştir. Tüm numunelerin beklenenin haricinde, safsızlık sayılabilecek herhangi bir element barındırmadığı ve Ni'in artan miktarda malzemeye nüfuz ettiği belirlenmiştir.

Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Al-Hakkani, M. F., Gouda, G. A., & Hassan, S. H. (2021). A review of green methods for phyto-fabrication of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles and their characterization, properties, and applications. *Heliyon*, 7(1), e05806.
- [2] El-Shater, R., Fakhry, F., Meaz, T., Amer, M. A., & Matsuda, A. (2021). Structural and optical properties of chromium-doped hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles. *Optik*, 231, 166372.
- [3] Domacena, A. M. G., Aquino, C. L. E., & Balela, M. D. L. (2020). Photo-fenton degradation of methyl orange using hematite (α -Fe₂O₃) of various morphologies. *Materials Today: Proceedings*, 22, 248-254.
- [4] Haridas, V., Sukhanazerin, A., Pullithadathil, B., & Narayanan, B. N. (2021). Ultrahigh specific capacitance of α -Fe₂O₃ nanorods-incorporated defect-free graphene nanolayers. *Energy*, 221, 119743.
- [5] Taga, Y., Katayama, K., & Sohn, W. Y. (2021). Time-resolved spectroscopic study of photo-excited charge carrier dynamics in hematite (α -Fe₂O₃): Effect of re-growth treatment. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 408, 113107.
- [6] Xu, Y. Y., Zhao, D., Zhang, X. J., Jin, W. T., Kashkarov, P., & Zhang, H. (2009). Synthesis and characterization of single-crystalline α -Fe₂O₃ nanoleaves. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 41(5), 806-811.
- [7] Mizuno, S., & Yao, H. (2021). On the electronic transitions of α -Fe₂O₃ hematite nanoparticles with different size and morphology: Analysis by simultaneous deconvolution of UV-vis absorption and MCD spectra. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 517, 167389.
- [8] Popov, N., Bošković, M., Perović, M., Németh, Z., Wang, J., Kuang, Z., ... & Krehula, S. (2021). Influence of low-spin Co³⁺ for high-spin Fe³⁺ substitution on the structural, magnetic, optical and catalytic properties of hematite (α -Fe₂O₃) nanorods. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 152, 109929.
- [9] Liu, Z., Cheng, Q., Wang, Y., Zheng, A., Li, K., & Zhang, J. (2020). Three-body aggregation of Fe₂O₃ nanoparticles: A molecular dynamics simulation. *Chemical Physics Letters*, 760, 137901.
- [10] Tokubuchi, T., Arbi, R. I., Zhenhua, P., Katayama, K., Turak, A., & Sohn, W. Y. (2021). Enhanced photoelectrochemical water splitting efficiency of hematite (α -Fe₂O₃)-Based photoelectrode by the introduction of maghemite (γ -Fe₂O₃) nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 410, 113179.
- [11] Umar, A., Ibrahim, A. A., Kumar, R., Albargi, H., Alsaiani, M. A., & Ahmed, F. (2021). Cubic shaped hematite (α -Fe₂O₃) micro-structures composed of stacked nanosheets for rapid ethanol sensor application. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 326, 128851.
- [12] Song, J., Lu, Y., Lin, Y., Liu, Q., Wang, X., & Su, W. (2021). A direct Z-scheme α -Fe₂O₃/LaTiO₂N visible-light photocatalyst for enhanced CO₂ reduction activity. *Applied Catalysis B: Environmental*, 292, 120185.
- [13] Khatoon, R., Guo, Y., Attique, S., Khan, K., Treen, A. K., Haq, M. U., ... & Lu, J. (2020). Facile synthesis of α -Fe₂O₃/Nb₂O₅ heterostructure for advanced Li-Ion batteries. *Journal of Alloys and Compounds*, 837, 155294.
- [14] Soranakom, P., Vittayakorn, N., Rakkwamsuk, P., Supothina, S., & Seeharaj, P. (2021). Effect of surfactant concentration on the formation of Fe₂O₃@ SiO₂ NIR-reflective red pigments. *Ceramics International*, 47(9), 13147-13155.
- [15] Tadic, M., Kopanja, L., Panjan, M., Lazovic, J., Tadic, B. V., Stanojevic, B., & Motte, L. (2021). Rhombohedron and plate-like hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles: Synthesis, structure, morphology, magnetic properties and potential biomedical applications for MRI. *Materials Research Bulletin*, 133, 111055.
- [16] Tadic, M., Panjan, M., Damjanovic, V., & Milosevic, I. (2014). Magnetic properties of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles prepared by hydrothermal synthesis method. *Applied Surface Science*, 320, 183-187.
- [17] Zhang, Z. J., & Chen, X. Y. (2009). Magnetic greigite (Fe₃S₄) nanomaterials: Shape-controlled solvothermal synthesis and their calcination conversion into hematite (α -Fe₂O₃) nanomaterials. *Journal of alloys and compounds*, 488(1), 339-345.
- [18] Ilmetov, R. (2019). Photocatalytic activity of hematite nanoparticles prepared by sol-gel method. *Materials Today: Proceedings*, 6, 11-14.
- [19] Yadav, A. A., Deshmukh, T. B., Deshmukh, R. V., Patil, D. D., & Chavan, U. J. (2016). Electrochemical supercapacitive performance of Hematite α -Fe₂O₃ thin films prepared by spray pyrolysis from non-aqueous medium. *Thin Solid Films*, 616, 351-358.
- [20] Fouad, D. E., Zhang, C., El-Didamony, H., Yingnan, L., Mekuria, T. D., & Shah, A. H. (2019). Improved size, morphology and crystallinity of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles synthesized via the precipitation route using ferric sulfate precursor. *Results in Physics*, 12, 1253-1261.
- [21] Noukelag, S. K., Arendse, C. J., & Maaza, M. (2021). Biosynthesis of hematite phase α -Fe₂O₃ nanoparticles using an aqueous extract of Rosmarinus officinalis leaves. *Materials Today: Proceedings*, 43, 3679-3683.
- [22] Stanhaus, C., Alves, L. L., Ferrari, J. L., Padilha, J. C., & Goes, M. S. (2020). Hematite (α -Fe₂O₃) pure and doped with Eu³⁺ obtained by high-energy ball milling process. *Materials Chemistry and Physics*, 254, 123385.
- [23] Kotrla, T., Paušová, Š., Zlámal, M., Neumann-Spallart, M., & Krýsa, J. (2018). Preparation of Sn-doped semiconducting Fe₂O₃ (hematite) layers by aerosol pyrolysis. *Catalysis Today*, 313, 2-5.
- [24] Picasso, G., Kou, M. S., Vargasmachuca, O., Rojas, J., Zavala, C., Lopez, A., & Irusta, S. (2014). Sensors based on porous Pd-doped hematite (α -Fe₂O₃) for LPG detection. *Microporous and mesoporous materials*, 185, 79-85.
- [25] Krehula, S., Štefanić, G., Zadro, K., Krehula, L. K., Marciniš, M., & Musić, S. (2012). Synthesis and properties of iridium-doped hematite (α -Fe₂O₃). *Journal of alloys and compounds*, 545, 200-209.
- [26] Lee, M. H., Park, J. H., Han, H. S., Song, H. J., Cho, I. S., Noh, J. H., & Hong, K. S. (2014). Nanostructured Ti-doped hematite (α -Fe₂O₃) photoanodes for efficient photoelectrochemical water oxidation. *International journal of hydrogen energy*, 39(30), 17501-17507.
- [27] V Varshney, D., & Yogi, A. (2011). Structural and electrical conductivity of Mn doped hematite (α -Fe₂O₃) phase. *Journal of Molecular Structure*, 995(1-3), 157-162.
- [28] Popov, N., Krehula, S., Ristić, M., Kuzmann, E., Homonnay, Z., Bošković, M., ... & Musić, S. (2021). Influence of Cr doping on the structural, magnetic, optical and photocatalytic properties of α -Fe₂O₃ nanorods. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 148, 109699.
- [29] Bhowmik, R. N., & Lone, A. G. (2018). Electric field controlled magnetic exchange bias and magnetic state switching at room temperature in Ga-doped α -Fe₂O₃ oxide. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 462, 105-118.
- [30] Lemine, O. M., Ghiloufi, I., Bououdina, M., Khezami, L., M'hamed, M. O., & Hassan, A. T. (2014). Nanocrystalline Ni doped α -Fe₂O₃ for adsorption of metals from aqueous solution. *Journal of alloys and compounds*, 588, 592-595.

- [31] Sivakumar, S., Anusuya, D., Khatiwada, C. P., Sivasubramanian, J., Venkatesan, A., & Soundhirarajan, P. (2014). Characterizations of diverse mole of pure and Ni-doped α -Fe₂O₃ synthesized nanoparticles through chemical precipitation route. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 128, 69-75.
- [32] Liu, Y., Yu, Y. X., & Zhang, W. D. (2012). Photoelectrochemical properties of Ni-doped Fe₂O₃ thin films prepared by electrodeposition. *Electrochimica acta*, 59, 121-127.
- [33] Wang, D., Zhang, M., Yuan, J., Lin, Y., & Song, C. (2015). Facile route to Ni-doped α -FeOOH and α -Fe₂O₃ nanostructures and their properties. *Materials Letters*, 157, 147-150.
- [34] Qi, X., Yan, Z., Liu, Y., Li, X., He, G., Komarneni, S., Ni and Co doped yolk-shell type Fe₂O₃ hollow microspheres as anode materials for lithium-ion batteries, *Mater. Chem. Phys.* 211, 452-461, 2018.
- [35] Fouda, A., Hassan, S. E. D., Abdel-Rahman, M. A., Farag, M. M., Shehal-Deen, A., Mohamed, A. A., ... & Azab, M. S. (2021). Catalytic degradation of wastewater from the textile and tannery industries by green synthesized hematite (α -Fe₂O₃) and magnesium oxide (MgO) nanoparticles. *Current Research in Biotechnology*, 3, 29-41.
- [36] Pourghahramani, P., Altin, E., Mallembakam, M. R., Peukert, W., & Forsberg, E. (2008). Microstructural characterization of hematite during wet and dry millings using Rietveld and XRD line profile analyses. *Powder Technology*, 186(1), 9-21.
- [37] Naz, S., Islam, M., Tabassum, S., Fernandes, N. F., de Blanco, E. J. C., & Zia, M. (2019). Green synthesis of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles using *Rhus punjabensis* extract and their biomedical prospect in pathogenic diseases and cancer. *Journal of Molecular Structure*, 1185, 1-7.
- [38] Mir, J. F., Rubab, S., & Shah, M. A. (2020). Hematite (α -Fe₂O₃) nanosheets with enhanced photo-electrochemical ability fabricated via single step anodization. *Chemical Physics Letters*, 753, 137584
- [39] Cullity, B. D. (1978). Elements of X-ray diffraction, Addison. *Wesley Mass*, 127-31.
- [40] Tadic, M., Trpkov, D., Kopanja, L., Vojnovic, S., & Panjan, M. (2019). Hydrothermal synthesis of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticle forms: synthesis conditions, structure, particle shape analysis, cytotoxicity and magnetic properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 792, 599-609.
- [41] Liu, X., Zhan, F., Li, D., & Xue, M. (2020). α -Fe₂O₃ nanoarrays photoanodes decorated with Ni-MOFs for enhancing photoelectrochemical water oxidation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(53), 28836-28846.
- [42] Suresh, R., Giribabu, K., Manigandan, R., Stephen, A., & Narayanan, V. (2014). Fabrication of Ni-Fe₂O₃ magnetic nanorods and application to the detection of uric acid. *RSC Advances*, 4(33), 17146-17155.
- [43] Yan, Y., Tang, H., Li, J., Wu, F., Wu, T., Wang, R., ... & Qu, D. (2017). Self-assembly synthesis of a unique stable cocoon-like hematite@C nanoparticle and its application in lithium ion batteries. *Journal of colloid and interface science*, 495, 157-167.
- [44] Darezereshki, E. (2011). One-step synthesis of hematite (α -Fe₂O₃) nano-particles by direct thermal-decomposition of maghemite. *Materials Letters*, 65(4), 642-645.
- [45] El Afifi, E. M., Attallah, M. F., & Borai, E. H. (2016). Utilization of natural hematite as reactive barrier for immobilization of radionuclides from radioactive liquid waste. *Journal of environmental radioactivity*, 151, 156-165.
- [46] Lassoued, A., Lassoued, M. S., García-Granda, S., Dkhil, B., Ammar, S., & Gadri, A. (2018). Synthesis and characterization of Ni-doped α -Fe₂O₃ nanoparticles through co-precipitation method with enhanced photocatalytic activities. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(7).



INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PV PANEL EFFICIENCY PARAMETER ON INVESTMENT PAYBACK PERIOD

Hüseyin Benli^{*1}, Mert Gürtürk²

¹Department of Technical and Vocational Education, Firat University, TR-23119, Elazığ, Turkey

²Department of Energy Systems Engineering, Technology Faculty, Firat University, 23100 Elazığ, Turkey

Abstract

Original scientific paper

The importance of solar energy is increasing due to climate change and similar reasons. However, the biggest barriers to solar energy investments are the high initial investment cost and the long investment payback period. In this study, the effects of technological developments in the investment payback period are examined. It has been investigated how the increase in PV panel efficiency affects the investment payback period of solar energy systems. The annual average profit, the daily gain to be obtained according to the different PV panel efficiency values are calculated, and the effect of different PV panel efficiency values on the investment payback period of 1 MW PV power plant has been investigated. Levelized cost analysis has been used in this study. In the future, it has been found that the payback period of 1 MW PV power plants may be less than 3 years if high-efficiency PV panels take their place in the market.

Keywords: PV, solar energy, PV efficiency.

PV PANEL VERİM PARAMETRESİNİN YATIRIM GERİ ÖDEME SÜRESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Özet

Orijinal Bilimsel Makale

İklim değişikliği ve benzeri nedenlerle güneş enerjisinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte, güneş enerjisi yatırımlarının önündeki en büyük engel, yüksek ilk yatırım maliyeti ve uzun yatırım geri ödeme süresidir. Bu çalışmada, teknolojik gelişmelerin yatırım geri ödeme süresindeki etkileri incelenmiştir. PV panel verimliliğindeki artışın, güneş enerjisi sistemlerinin yatırım geri ödeme süresini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Yıllık ortalama kar, farklı PV panel verimlilik değerlerine göre elde edilecek günlük kazanç hesaplanmış ve farklı PV panel verimlilik değerlerinin 1 MW PV santralin yatırım geri ödeme süresine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada seviyelendirilmiş maliyet analizi kullanılmıştır. Gelecekte, 1 MW PV enerji santrallerinin geri ödeme süresinin, piyasada yüksek verimli PV panellerin yer alması durumunda 3 yıldan az olabileceği ifade edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PV, güneş enerjisi, PV verim.

1 Introduction

Economic models have been developed to examine the effects of solar energy on economic growth data. A structural economic model has been developed from those economic models [1]. In the literature, different studies on the economic analysis of solar power plants can be found. In one of those studies, five different power plants with 1, 5, 10, 25 and 151 MW were analyzed by using the leveled electricity cost method [2]. Studies in the literature can be examined in a wide-band range from general topics such as sectoral to specific studies on the feasibility of PV power plants. The review study was carried out emphasizing the importance of site selection for solar power plants. Those

studies are an economic feasibility study for investors. In that study, factors that affect the investment have been defined prior to the investment decision considering many parameters which are urban areas, solar radiation and slope [3]. Levelized Cost Analysis is one of the most widely used methods. In that analysis, many input parameters are considered such as the lifetime of the system, share of debt and equity, interest rate on debt, return on equity, weighted average cost of capital (WACC) real which is calculated with an inflation rate, OPEX fix (EUR/kW), OPEX variable (EUR/kWh) [4]. It is also seen in the literature that various analyzes of complex solar energy systems are also made. In one of these studies, detailed research was carried out on the energy and economic efficiency of

* Corresponding author.

E-mail address: hbenli@firat.edu.tr (H. Benli)

Received 26 April 2021; Received in revised form 29 June 2021; Accepted 27 July 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.928012>

Nomenclature*Abbreviation*

a	empirical constant for climatic conditions
AC	annual capital cost (US\$)
b	empirical constant for climatic conditions
d	angle of declination
f	solar constant correction factor
H	sunrise hour angle
h	hour angle
I	Solar radiation (W/m^2)
OM	cost of operating and maintenance (US\$)
R_B	solar radiation angle factor
t	duration of solar radiation incoming on the surface of the PV module
\dot{Z}	capital cost flow (US\$/h)

Greek Letters

τ	total annual number of hours of the system operates (h)
ψ	exponential change of instantaneous total solar radiation

Sub- and Subscripts

CI	capital investment
OM	operating and maintenance
GS	solar constant
A	atmosphere
y	horizontal plane
s	solar radiation incoming on the surface of the PV module placed with an optimum angle

desiccant cooling (DEC) systems. For applications, the DEC was configured with both solar air collectors and PV/T [5]. The energy efficiency and economic assessment of solar air-conditioning by absorption chiller applied to the building sector was examined [6]. The biggest obstacle to solar energy investments is factors such as the initial investment cost and financial risks [7]. Due to these financial barriers, the economic evaluation of solar energy systems, feasibility studies and many similar analyzes are carried out by the researchers. In one of those studies, the authors studied the impacts and economic evaluation of the solar PV mirroring system [8]. In solar energy systems, optimal parameters such as optimal energy costs were investigated. Also, reference [9] can be examined for other parameters. Techno-economic analyses, in which optimum parameters for PV investments are determined, are seen to be among the trending topics in the literature [10]. It is known that the two most important analyzes applied before investment for solar power plants are technical and economic feasibility studies [11]. One of these studies, the authors carried out the technical and economic feasibility of a 50 MW solar power plant which is grid-connected [12].

Examining the effect of the increase in panel efficiency on the return on investment in the literature review is a less studied subject. The investment payback period has been calculated according to use PV panels having different efficiency values in a 1 MW PV power plant. Materials and methods used in the study are discussed in the next section.

2 Material and Methods

In this study, a 1 MW PV solar power plant has been analyzed. This solar power plant is assumed that it has

different PV efficiency values and the PV power plant was installed in the city of Antalya in Turkey. The city is located in an efficient location in terms of solar energy. In the analysis, the annual sunshine time of the plant will be 98 hours [13]. Monthly sunshine duration varies. For 12 years, the average annual solar radiation is approximately 5 kWh/m² [13]. The optimum collector angle for Antalya is considered as 33° [24]. The latitude of the considering place is 36°. The efficiency of the PV panels used in emerging countries is about 16%. In this analysis, the properties of the PV panels which will be used in a 1 MW power plant and detailed information on the cost parameters considered within the scope of the study can be found in Ref [14]. Economic parameters to be taken into consideration in this analysis have been expressed for Turkey. The average loans (commercial - US dollar) rate given by banks in Turkey is 5.25% between 2002 and 2020 [15]. This ratio varies according to emerging countries. At the same time, for all other parameters which are not considered in this analysis have been considered as constant. Some of these assumptions are following,

- All year round the weather is sunny.
- Parameters such as humidity, pressure and wind that affect solar radiation have been neglected.
- The decrease in efficiency due to the temperature of the PV panel has neglected.
- The efficiency decrease due to the pollution factor on the surface of the collector is neglected.
- The prices of PV panels with different efficiency values considered in the analysis and the prices of other system components have been considered as constant.

Several studies have been carried out to increase the efficiency of the PV panels. Currently, solar cell efficiency parameters are published by NREL. Considering the data from this source, the highest solar cell efficiency value has been determined as 46% [16]. Considering the determined parameters, the efficiency values of the PV panels used in the plant have been changed. Efficiency values of PV panels are changed from 20% to 45%. The methods and equations considered for the solar radiation values are as follows [14].

$$I_A = \frac{24}{\pi} \cdot I_{GS} \cdot f \cdot \sin d \cdot \sin e \cdot \left(\frac{\pi}{180} \cdot H - \tan H \right) \quad (1)$$

Eq. (2) indicates the value of the daily sunlight [14,17,18].

$$I_y = I_A \cdot \left(a + b \cdot \frac{t}{t_g} \right) \quad (2)$$

$$I = I_y \cdot \left(\frac{\pi}{4 \cdot t_g} \cdot \left(\cos \left(\frac{180}{2} \cdot \frac{h}{H} \right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot (1 - \psi) \right) \right) \quad (3)$$

Eq. (4) shows the value of the solar radiation incoming on the surface of a PV module [14,17,18].

$$I_s = I \cdot R_B \quad (4)$$

Eq. (5) is used for energy production from 1 MW solar power plant

$$P = \eta \cdot I_s \cdot A \quad (5)$$

The methods and equations considered for the economic feasibility are as follows

\dot{Z} is the capital cost flow [19].

$$\dot{Z} = \dot{Z}^{CI} + \dot{Z}^{OM} \quad (6)$$

Where \dot{Z}^{CI} and \dot{Z}^{OM} indicate the hourly levelized cost of capital investment and operating and maintenance, respectively.

The hourly levelized capital investment cost of the solar power plant (\dot{Z}^{CI}) is shown as [14,19]

$$\dot{Z}^{CI} = \frac{AC}{\tau} \quad (7)$$

Hourly levelized operating and maintenance cost (\dot{Z}^{OM}) is calculated by using Eq. (8) [14,19].

$$\dot{Z}^{OM} = \frac{OM}{\tau} \quad (8)$$

The cost parameters are presented in Table 1.

In many studies and as previously mentioned, PV power plants are considered as risky investments due to their long payback period.

Table 1. Economical parameters of solar power plants for 1 MW power [14].

Parameters	Costs
PV modules (270 W)	US\$ 594,000.00
Inverter	US\$ 98,600.00
Other system components	US\$ 237,726.00
Other costs	US\$ 226,437.00
TOTAL COST	US\$ 1,156,763.34

The most important parameter affecting the payback period of the system is that the PV panel efficiency is still insufficient. In this study, considering the current economic conditions, the payback period of the system has been determined and compared for different efficiency values of PV panels. The efficiency of PV panels, which are used currently in PV power plant, has been considered as 16.62%. The assuming efficiency values of PV panels are 20%, 25%, 30%, 35%, 40% and 45%. Actually, these efficiency values were determined to investigate the answer to a question. This question is if PV panels having higher efficiency values were used today, what would be the investment payback period of PV solar power plants? In this part of the study, used materials and methods were presented. The data obtained are presented in the results and discussion section

3 Results and Discussion

When the studies and technical reports in the literature are examined, it is seen that there are many parameters that affect the initial investment cost of solar power plants. Considering these parameters that increase the cost, it can be concluded that important topics such as concentrating on R & D and innovation studies, produce the high-efficiency panel, and obtaining cheap raw material should be the priority [20]. The use of high-efficiency PV panels will significantly shorten the payback period of investments in solar power systems. In addition, prolonging of the lifetime of PV panels is an important factor. The lifetime of PV panels is expressed as 25 years in many articles and brochures [14,21]. Improvements in the lifetime of PV panels used in the sector will positively affect the investment in PV power plants. It can be clearly seen that the solar energy sector has serious problems in emerging countries. So how can investment in solar energy be supported globally? The answer to this question is technology. The main parameters that should be examined under the title of technology are PV panel efficiency and the lifetime of PV panels. However, the most attractive parameter for investors is the increase in efficiency of the PV panel. The efficiency of the PV panels is directly related to the payback period of the investment and it can be even more important than other parameters such as price and lifetime of the PV panel. Technological developments guide the future of the solar energy sector. Technologically, PV efficiency is increasing day by day. Many useful findings such as payback period of the investment, profit and loss situation can be obtained according to economic conditions of today and different PV panel efficiencies. When the PV panels assumed to have different efficiency values are used in a 1 MW PV

power plant, the daily gain amounts in the plant can be calculated. These findings are shown in Fig. 1.

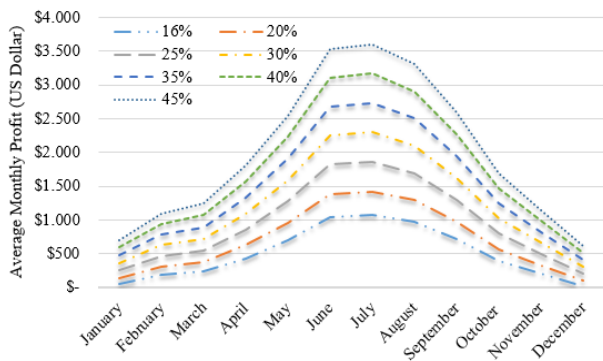


Figure 1. Average daily profit of 1 MW PV power plant according to different PV efficiency values

When the data in Fig. 1 are examined, it is seen that net profit is around 3500 dollars per day with using of the PV panels which have 45% efficiency in summer. When the efficiency value (16%) of the PV panels, which currently use in the solar market, is considered, it is seen that PV power plant makes a net profit of around US\$ 1000 per day in the summer months. When these two efficiency values are compared, it is seen that the profit from the plant using PV panels having the efficiency of 45% is 3.5 times higher than that from 1 MW PV power plant using existing PV panels (16%). Average yearly profit from 1 MW PV power plant according to different efficiency values of PV panels in the scope of the study is given in Fig. 2.

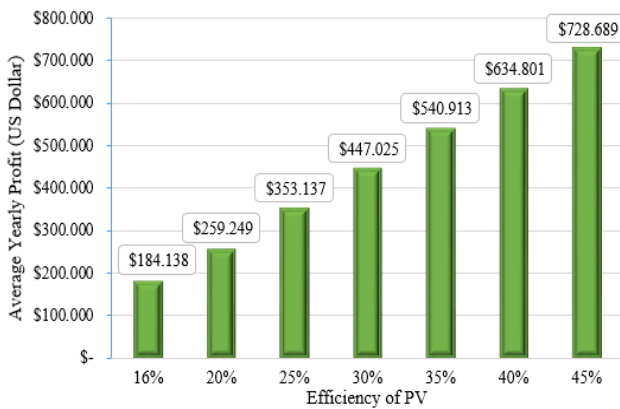


Figure 2. Average yearly profit of 1 MW PV power plant according to different PV efficiency values

When the data in Fig. 2 is examined, annual net profit status is expressed according to different efficiency values of the PV panels. It can be assumed that the investment payback period of 1 MW PV power plant should be less than 3 years. It is seen that the choice of PV panels having efficiencies of 30% or more will provide a very attractive advantage for the investor. High-efficiency PV panels will change their perspective on PV power plants, which are considered a risky investment by financial institutions. These results show that financial barriers, one of the biggest barriers to PV power plants, can be overcome via technological advances. In this analysis, it should be noted that PV panel prices have been assumed to be constant for each efficiency values. The increase in PV panel efficiency will also have an upward impact on panel prices. Also,

changes in the capacities of the system components need to be taken into account. It will be very difficult to estimate the price for the future. The findings show the importance of R & D for solar energy. The investment payback periods of the 1 MW PV power plant according to the different efficiency values considered within the scope of the economic analysis are given in Table 2.

Table 2. Payback period of the 1 MW PV power plant according to different efficiency values of PV panels

PV panel efficiency values	Payback period of the investment cost
16%	6 year – 3 month
20%	4 year – 5 month
25%	3 year – 3 month
30%	2 year – 7 month
35%	2 year – 2 month
40%	1 year – 9 month
45%	1 year – 7 month

The most important objective of investors in emerging countries is to maintain the value of deposits of them against high inflation. The economic feasibility shows that there will be a significant increase in the investments to be made in PV power plants by obtaining high-efficiency PV panels with advanced technological solutions and studies. Therefore, technological developments in solar energy should be given more importance. In particular, the necessity to increase the funds allocated for investments in solar cells has been clearly stated by the findings of this study. It can be concluded that PV panels with high efficiency will create very attractive opportunities for investors. PV panel efficiency used in developed countries is about 20% values. In emerging countries, PV panels having a lower efficiency of 16 - 17% are used. It is seen that the efficiency value of the PV panels used in solar power plants has a significant effect on the payback period of the investment costs. The use of solar energy is increasing despite many barriers. In the long term, solar energy is predicted to have a 10% share in global energy production by 2050 [22].

4 Conclusion

The high initial investment costs and the long investment payback period of solar power plants are directly related to PV panel efficiency. When the solar market will launch high-efficiency PV panels, the solar energy sector will be stronger against global economic shocks and global risks. The PV panels having high efficiency will be used in the PV power plants in the future and the investment payback period will decrease. The data show that high-efficiency PV panels will more profit than the current PV panels in the future. The use of panels with PV efficiencies of 30% or more provides payback period which is less than 3 years. It may a long time for the PV panels with high efficiency to take their place in the market. Investment and production costs, easy production and the need for advanced technology should be considered to produce high-efficiency PV panels.

Declaration

The authors declare that the ethics committee approval is not required for this study.

References

- [1] Farhidi, F. (2017). Solar impacts on the sustainability of economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 440-450. Farhidi, F. (2017). Solar impacts on the sustainability of economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 440-450.
- [2] Bano, T., & Rao, K. V. S. (2016). Levelized electricity cost of five solar photovoltaic plants of different capacities. *Procedia Technology*, 24, 505-512.
- [3] Rediske, G., Siluk, J. C. M., Gastaldo, N. G., Rigo, P. D., & Rosa, C. B. (2019). Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review. *International Journal of Energy Research*, 43(5), 1689-1701.
- [4] Kost, C., Shammugam, S., Jülch, V., Nguyen, H.-T., & Schlegl, T. (2018). *Levelized Cost Of Electricity Renewable Energy Technologies*. Retrieved August 2, 2021, from https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documentations/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf
- [5] Beccali, M., Finocchiaro, P., & Nocke, B. (2009). Energy and economic assessment of desiccant cooling systems coupled with single glazed air and hybrid PV/thermal solar collectors for applications in hot and humid climate. *Solar energy*, 83(10), 1828-1846.
- [6] Bouhal, T., Aqachmar, Z., Kousksou, T., El Rhafiki, T., Jamil, A., & Zeraouli, Y. (2020). Energy and economic assessment of a solar air-conditioning process for thermal comfort requirements. *Solar Energy*, 208, 101-114.
- [7] Sirin, S. M., & Sevindik, I. (2021). An analysis of Turkey's solar PV auction scheme: What can Turkey learn from Brazil and South Africa?. *Energy Policy*, 148, 111933.
- [8] Simon, S. P., Kumar, K. A., Sundareswaran, K., Nayak, P. S. R., & Padhy, N. P. (2020). Impact and economic assessment on solar PV mirroring system—A feasibility report. *Energy Conversion and Management*, 203, 112222.
- [9] Numbi, B. P., & Malinga, S. J. (2017). Optimal energy cost and economic analysis of a residential grid-interactive solar PV system—case of eThekweni municipality in South Africa. *Applied Energy*, 186, 28-45.
- [10] Zhao, Y., Yu, B., Yu, G., & Li, W. (2014). Study on the water-heat coupled phenomena in thawing frozen soil around a buried oil pipeline. *Applied thermal engineering*, 73(2), 1477-1488.
- [11] Khajepour, S., & Ameri, M. (2020). Techno-economic analysis of a hybrid solar Thermal-PV power plant. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100857.
- [12] Obeng, M., Gyamfi, S., Derkyi, N. S., Kabo-bah, A. T., & Peprah, F. (2020). Technical and economic feasibility of a 50 MW grid-connected solar PV at UENR Nsoatre Campus. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119159.
- [13] Turkish State Meteorological Service. *Turkey Average Global Solar Radiation Many Years (2004-2016) Heliosat Model Products (Antalya)*. Retrieved March 13, 2019, from <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ANTALYA>.
- [14] Gürtürk, M. (2019). Economic feasibility of solar power plants based on PV module with levelized cost analysis. *Energy*, 171,
- [15] Turkey Cbotro. *Commercial (Opened in USD) (Flow Data,%)*. Retrieved October 28, 2020, from https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?/evds/serieMarket/collapse_3/5010/DataGroup/english/bie_mt210ags/.
- [16] National Renewable Energy Laboratory (NREL). *Best Research-Cell Efficiency Chart*. Retrieved March 13, 2019, from <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>. 866-878.
- [17] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes* John Wiley & Sons. Inc. *New York*.
- [18] Kılıç, A., & Öztürk, A. (1983). *Günes Enerjisi. Kipas Dağıtım ve Yayıncılık* (book in Turkish).
- [19] Bejan, A., Tsatsaronis, G., & Moran, M. (1996). *Thermal Design and Optimization* John Wiley and Sons. Inc. *New York*.
- [20] Dincer, F. (2011). The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(1), 713-720.
- [21] Byrne, J., Tamini, J., Kim, K. N., Lee, J., & Seo, J. (2017). Multivariate analysis of solar city economics: Impact of energy prices, policy, finance, and cost on urban photovoltaic power plant implementation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 6(4), e241.
- [22] Timilsina, G. R., Kurdgelashvili, L., & Narbel, P. A. (2012). Solar energy: Markets, economics and policies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(1), 449-465.



INVESTIGATION OF CRYOGENIC COOLING EFFECT WITH FINITE ELEMENT METHOD IN MICRO MILLING OF Ti6Al4V MATERIAL

Mehmet Akif Oymak ^{*1} , Erkan Bahçe ¹ , İbrahim Gezer ¹ 

¹Department of Mechanical Engineering, Inonu University, 44280, Malatya, Turkey

Abstract

Original scientific paper

The objective of this study is to see for micro-milling of Ti6Al4V in the different parameters, how wear occurs on the face of the tool and how to evolve cutting temperature, forces, and chip formations with FEM. The effects of dry, liquid coolant and LN₂-based cryogenic cooling applications at 50,100,150 m/s cutting speeds and 1,2,3 μm/dev feed rate were compared in micro-milling of Ti6Al4V alloy. At different parameters, internal and workpiece-cutting edges cryogenic (wacec) are simulated temperatures were observed. Cryogenic cooling, dry and liquid coolant applications perceived that tool wear, chip formation, strain, stresses, and shear forces interpreted with the FEM. Also, a mesh model based on Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) simulations and the Johnson-Cook Plasticity model for material plasticity failure criterion are used in this study. As a result, indicated that at the cutting velocity of 100 m/min, cryogenic cooling on the workpiece and cutting edges has caused into decreasing %57 of cutting temperature also by %54 lower tool wear was observed on the internal tool cryogenic, by %15 the shear stresses decreased on wacec in comparison to dry cutting.

Keywords: Micro milling, finite element method (FEM), cryogenic cooling, Ti6Al4V.

1 Introduction

Micro products are becoming a standard requirement for many product designs in response to the demand for high flexibility, accessibility, and cost reduction with advanced technology [1-2]. Micro-milling stands out with high production speed and efficiency in micro-manufacturing [3]. Micro-milling is using on microsensors, biomedical parts, and molds with the increase of innovative technologies [4].

Ti6Al4V alloy is used in many biomedical devices as it provides high hardness, low wear, and high corrosion resistance [5]. Micro-milling of Ti6Al4V alloy is poor due to the insufficient distribution of heat in the cutting zone causes tool wear [6]. This can lead to severe surface quality and dimensional accuracy breakdown, as well as micro milling tool dimension losses [7]. During micro-milling, coolant liquids have been using to reduce the cutting temperature and prevent tool wear, and improve surface quality [9].

However, it appears that the performance of coolant liquid applications in micro-milling is insufficient to reduce the cutting temperature because of overheating and low thermal conductivity. Overheating can causes evaporation without effective distribution into the cutting zone [10]. Alternative methods developed to prevent the formation of high temperatures in the cutting zone are cryogenic cooling and MQL (minimum quantity lubrication) cooling methods [11]. Although MQL cooling has good lubrication properties, they observed that MQL's

cooling and chip removal properties are lower than cryogenic cooling [12]. The cryogenic cooling process is the process of applying non-oil-based cooling gases such as liquid nitrogen and carbon dioxide to the cutting zone. [13].

Under atmospheric pressure, liquid nitrogen and carbon dioxide evaporate at -196 °C and -78 °C, respectively, leaving no residue and contamination on the tool, workpiece, chip, and cutting area [14]. Therefore, in the processing of biomedical materials, cryogenic processing is more advantageous than other cooling methods that do not require secondary cleaning processes for cleaning the water and oil emulsion contaminated by the coolant. [15].

Micro milling with cryogenic cooling seems in the literature experimental approaches to examine during micromachining studies are expensive and time-consuming methods [16-18]. The numerical solution method is also a reliable technique used to obtain thermal changes on chips and tools during cryogenic machining [19].

Researches on the subject examined; Caudill et al. (2019) observed the cutting forces and thermal fields as cryogenic and liquid-cooled during micro-milling of Ti6Al4V material with FEM (finite element model). When observed liquid nitrogen application in cryogenic processing reduces the cutting temperature by 40%, they saw an increase in tool life and machining efficiency [20]. Davoudinejad et al. (2019) compared the micro-milling of Ti6Al4V material by performing FEM (finite element

* Corresponding author.

E-mail address: correspondingauthor@gmail.com (M. A. Oymak)

Received 05 June 2021; Received in revised form 16 July 2021; Accepted 16 July 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.948297>

analysis) and an experimental study. They proved that 8.5% error rate between experimental and FEM results [21]. Attanasio et al. (2018) analyzed the tool wear and chip flow of CuZn37 in micro milling and used FEM to determine the options of cycle number, feed, force, chip flow, and chip shape. They proved similarity with the experimental results of the cutting forces and chip formations in FEM [22]. Imbrogno et al. (2017) applied 3D FEM to observe cutting forces, temperature, and microstructure during Ti6Al4V turning in a dry and cryogenic. They observed that cryogenic cooling is increased the shear forces and contributed to the improvement in surface roughness [23]. Pashaki and Pouya (2017) studied the temperature changes in dry and cryogenic processing of aluminum alloy with FEM. They used the Johnson-Cook model for error analysis of thermal properties in their work. As a result, they saw that the cryogenic cutting of 10 m/s decreased the tool temperature to dry cutting by 60% [24]. Olleak and Özel (2017) analyzed dry and cryogenic processing in micro-milling of Ti6Al4V using FEM. They observed that tool stresses are lower in cryogenic machining compared to dry machining [25]. Imbrogno et al. (2017) applied the FEM for on-duty observation during the turning of Ti6Al4V alloy under dry cutting and cryogenic cooling. They observed that better surface integrity is achieved in cryogenic cooling with temperature reduction compared to dry cutting [26]. Mamedov and Lazoğlu (2016) compared the temperature obtained from the FEM model with the temperature measured using a milling experiment thermocouple. They found that the share of the difference between FEM and experimental is 12% [27]. In their research, Tounsi and El-Wardany (2015) examined the FEM connection when there are chip formation and residual stresses in the milling of Ti6Al4V alloy. The properties of chip morphology, strength, plastic deformation, and different distributions are analyzed. Residual stresses are showed to coincide with experimental results [28]. Rotella et al. (2014) performed a FEM application to determine the micro offer in the material after the dry and cryogenic cutting of Ti6Al4V.

They demonstrated the change in microprocessing during the cooling and lubrication process during cutting. The experimental results were in agreement with the FEM. They observed better surface integrity and hardness in cryogenic cooling [29].

In summarizing the studies, FEM draws attention to several different models of micro and macro cutting of metal using software such as Abaqus Deform, Advantage, ANSYS can analyze temperature, shear forces, stress, and strain [19-29].

Micro products produced from Ti6Al4V alloy, which is indispensable for modern engineering technologies, and micro surface roughness are gaining increasing importance. Since surface roughness is affected by cutting temperature, cutting speed and coolant are important research topics.

The FEM has gained importance today. It was seen that the finite element analysis confirmed the experimental analyzes with a small margin of error. At the same time, examining many experimental parameters can cause time and financial losses in experimental micro-milling.

In this study, a FEM using based on Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) simulations. Johnson-Cook

plasticity failure criteria model is used to observe the chip removal method. Unlike the researches, the finite element model simulates dry, liquid coolant, internal tool, and the workpiece-cutting edges with liquid nitrogen cooling. This study discussed the effects of cooling methods on temperature, tool wear, strain, stress, chip formations, cutting forces at various cutting speeds, and feed rates.

2 Materials and Methods

2.1 Material and Cutting Tool Properties

A workpiece of Ti6Al4V material dimensions of 8 mm × 10 mm × 3 mm was modeled. Table 1 shows the physical characteristics of heat treatment Ti6Al4V.

Table 1. Physical characteristics of heat treatment Ti6Al4V [30].

Density Kg/m ³	Hardness (HB)	Melting point °C	Thermal Conduction (W/mK)	Elastic modul (GPa)	Poisson
4430	195	1670	7.955	110	0.31

According to the literature, TiAlN coated WC (tungsten carbide) material tools recommended for the machining of hard materials were selected [20-24]. The geometric features of the 4-flute end mill tool are given in Table 2.

Table 2. Tool geometry of TiAlN coated WC

Tool diameter	0.5 mm
Helix angle	30°
Rake angle	15°
Clearance angle	5°
Cutting edge radius	0.5 μm

Fig.1 shows 3D design micro milling and view of the chip removed and temperature distribution on a tooth of micro tool.

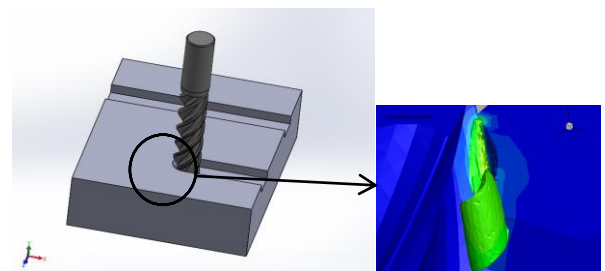


Figure 1. 3D Milling and view of the chip removed and temperature distribution on a tooth.

3D milling tool geometry was designed in the 2D orthogonal finite element method, micro tool, and workpiece. The dimensions of the orthogonal cutting tool are given in Fig. 2.

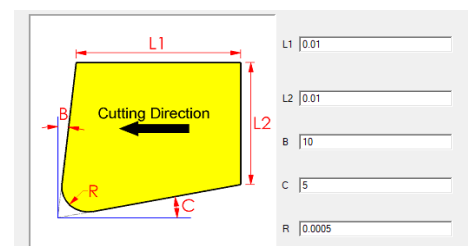


Figure 2. Dimensions of the orthogonal cutting tool.

2.2 Meshing

In this study, the mesh was applied using the Lagrangian approach to calculate chip formation with finite element software. The Arbitrary Lagrangian Euler's (ALE) approach using the clear integration solution is applied to reduce the typical element distortions of the Lagrangian approach.

In the ALE application of mesh to the part and the micro tool designed with the finite element method, 1575 elements meshed on 695 workpieces. Fig. 3 shows the mesh density applied before and during cutting.

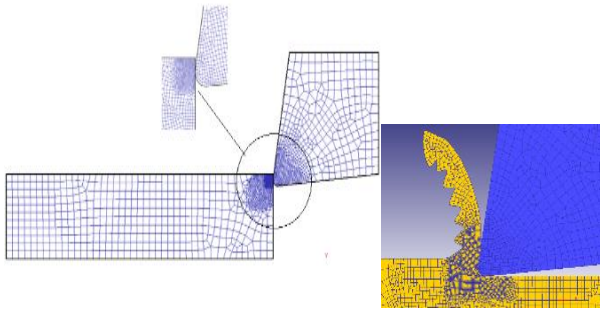


Figure 3. Tool and workpiece mesh distribution and mesh distribution during cutting.

2.3 Structural Modeling of the Material

Johnson-Cook (JC) model describes the plastic behavior of the workpiece material. Structural behavior in machining conditions is a substantial issue to make a reliable FEM. The Johnson-Cook (JC) constituent material model is considered to be a reliable model (Eq. 1) used in previous literature [31]. Chip flow stress, ε plastic strain, $\dot{\varepsilon}$ strain rate, $\dot{\varepsilon}_0$ reference strain rate. The material temperature is m melting point and a is room temperature. JC constants are respectively: yield stress A , pre-exponential factor B , stress rate factor C , work hardening exponent, and m thermal softening exponent.

$$\sigma = [A + B(\varepsilon)^n][1 + C \ln(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0})][1 - (\frac{T - T_0}{T_m - T_0})^m] \quad (1)$$

The thermo-mechanical properties of the workpiece and the material constants used in modeling plastic behavior according to the JC model are given in Table 3

Table 3. Thermo-mechanical properties of Ti6Al4V [32].

A (MPa)	B (MPa)	n	C	m	T ₀ (°C)	T _m (°C)
782.7	498.4	0.28	0.028	1.0	20	1450

2.4 Model of Coulomb Friction

For the model of this section, the case of classical friction situation following Coulomb's law is assumed; frictional sliding force is proportional to the applied normal load. The ratio of these two is the coefficient of friction μ which is constant in all the contact lengths between chip and tool. The relation between frictional stresses τ and normal stresses can be expressed as: (2). The friction coefficient is taken as 0.3 constant throughout the analysis

in all the contact lengths by Calamaz et al.[33] and Hong et al. [34].

$$\tau = \mu \sigma_n \quad (2)$$

2.5 Model of Tool Wear

The simulations of the micro-milling process, the workpiece, and the tool are not exposed to any external forces. A wear rate model based on the sliding wear mechanism that is mechanical contact pressure, sliding velocity and temperature-sensitive proposed by Usui et al. [35] has been used in this study. This tool wear rate model calculates the rate of volume loss on the tool per unit area per unit time. The wear equation constants are set to $a = 1 \times 10^{-5}$ $b=1000$. Interface temperature (T), P interface pressure, and sliding velocity (v_s) at the tool surface as inputs and yields a wear rate (dW/DT) distribution in the tool as shown in Eq. (3).

$$dW/dt = aPv_s e^{-b/T} \quad (3)$$

Also, the tool coating affects the equivalent thermal conductivity, the heat capacity of the coated tool, and the friction coefficient at tool-chip contact.

2.6 Cooler Application Model

In this application, the cutting temperature is compared with cryogenic cooling, coolant, and dry cutting. The ambient temperature was chosen as 20 °C. Analyzes were carried out using the finite element method. The temperatures and surface transfer coefficient parameters in the cutting simulation are given in Table 4.

Table 4. Coolant temperatures and surface transfer coefficient table [20].

	Dry	Liquid	LN ₂ cryogenic
Coolant temperatures °C	20	20	-196
Surface transfer coefficient W/m ²	45	2500	20000

In this simulation of the internal tool cryogenic cooling and equal to the workpiece, and the cutting edges are made according to the design in Fig 4. Three nozzles were used for cooling applied to the workpiece and cutting edges. Nozzle diameter and density of liquid nitrogen cryogenic liquid, flow rate, and application areas are given in Table 5.



Figure 4. Internal cooling of the tool in the orthogonal cutting plane and cooling of the part and the cutting planes during cutting

Table 5. Application values of liquid nitrogen.

LN ₂ density (kg/m ³)	808
Jet radius (mm)	0.01
Flow rate (kg/min)	0.2
Coolant applied location	Workpiece and cutting edges

3 Results and Discussion

With the tendency of cutting heat to accumulate on the cutting tool, there is a need to characterize the distribution of thermal fields on the tool and workpiece. Because of the low thermal conductivity exhibited by the Ti6Al4V material. Table 6 shows micro-milling simulation cutting parameters

Table 6. Cutting parameters

Cutting parameter	
Cutting speeds (m/min)	50,100,150
Feed rates ($\mu\text{m}/\text{dev}$)	1,2,3
Depth of cut (μm)	1
Coolant applications	LN ₂ Cryogenic, Coolant liquid

To characterize cutting temperatures, the temperature distributions, strains, stresses, tool wear during dry, liquid coolant, and cryogenic cutting were shown in the orthogonal plane.

3.1 Effect of Cutting Speed on Cutting Temperature

The higher the cutting speed can cause more mechanical interaction and more chips remove per unit time. This increase in mechanical interaction increases the cutting temperature [38] as seen in Fig 5.

Additionally, it is seen in Fig.5 that cryogenic applications are affected more by the cutting speed than dry and coolant applications. The reason for reduced cutting temperature is due to the low cutting speed in cryogenic applications. Low contact time of the LN₂ fluid in the cutting zone causes friction and reduces the amount of heat transferred to the cutting tool [41]. In the simulation where we applied cryogenic LN₂ to the cutting areas and the part, it is seen that it obtained the best result at 50 m/ min cutting speed, while it obtained a temperature 80% lower than 150 speed. m / min. It is seen that this ratio is 42% in dry cutting, 44% in the cooler, and 62% in the internal cryogenic cooling of the tool.

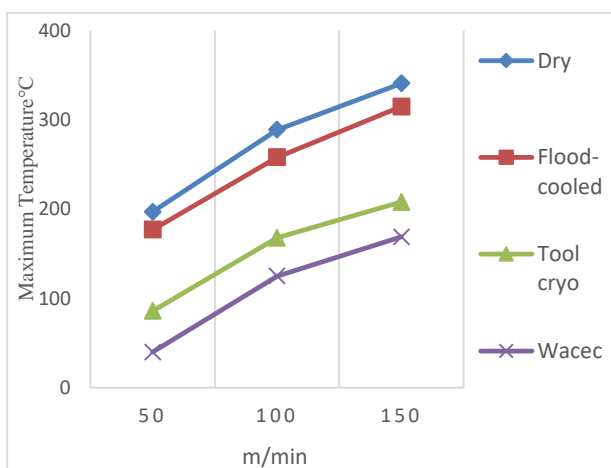


Figure 5. $2\mu\text{m}/\text{dev}$ feed on the effect of coolant applications at different cutting speeds on temperature.

Temperature distributions in the tool and the workpiece analysis results of FEM were shown in Fig 6. It is seen that as the cutting speed increases, the chip

temperatures increase, and ductile chip formation is observed.

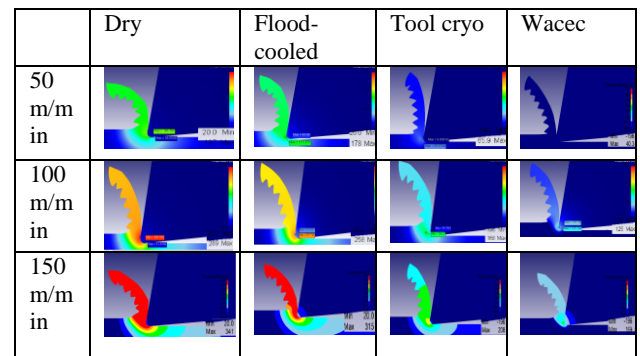


Figure 6. Temperature distribution of dry, coolant, and cryogenic applications at different cutting speeds on $2\mu\text{m}/\text{rev}$ feed.

3.2 Impact of Feed Rate

The graphs of the maximum temperatures at 150 m / min in 1,2,3 $\mu\text{m}/\text{rev}$ progress are given in Fig. 7. In the same cooler applications, the feed rate affects the temperature between 5-19%. The feed rate effect is higher in cryogenic applications. It is noticed from the change of temperatures in Fig. 7 that alteration is between 11-19% in the cryogenic cooling applied to the cutting edges and the workpiece, and between 5-9% change in dry cutting on the different feed rate.

Increasing the cutting speed causes decreases the effect of the feed rate on the temperature in cryogenic applications. It is seen that the cutting speed effect on the temperature is higher than the feed rate when Fig. 5 and 7 are compared.

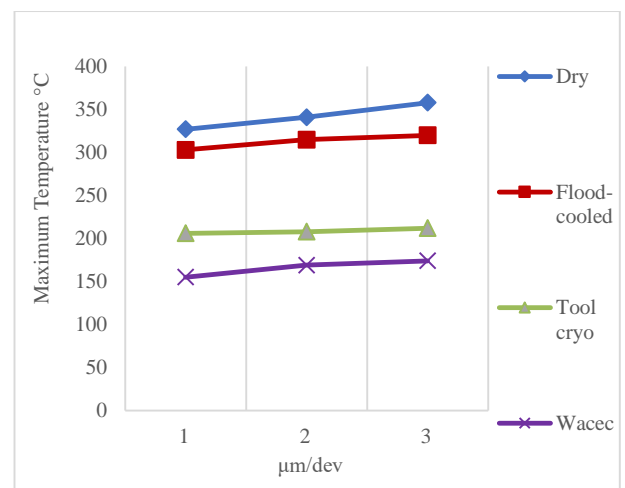


Figure 7. The effect of coolant applications on the temperature at different feed rates on 150 m/s cutting speed.

The temperature distributions formed in the tool and the workpiece simulations made with finite element methods are shown in fig. 8. In the application of dry and coolant, it is seen in the chip formations in fig. 8 that the temperatures in the chips are higher, as a result of which the chip formation is more ductile. When compared the temperature distributions and chip shapes in Fig. 6 and Fig. 8, it is seen that the cutting speed increases can affect the chip ductility and cutting temperature more than the feed rate.

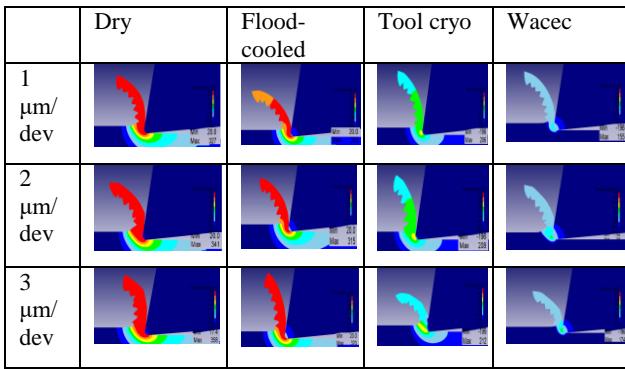


Figure 8. Temperature distribution of coolant applications in the workpiece and tool at different feed rates on 150 m/s cutting speed

3.3 Effect of cryogenic applications

Low cutting speed and feed rates are more effective in lowering temperatures in the application where the workpiece and cutting edges are cryogenic cooled. Fig. 9 shows temperature differences of the internal cryogenic, workpiece-cutting edges cryogenic coolings. The maximum temperature drop was achieved by up to 57% compared to the internal tool and wacec at 50 m/min cutting speed and 1 μm/rev feed rate. The lowest temperature change was measured at 150 m/min cutting speed and 3 μm/rev feed rate by up to 18% compared to the internal tool and wacec. This is because fluid is applied directly to the cutting planes. Slow cutting speed and feed rate can reduce cutting temperatures significantly due to more cutting zones interaction.

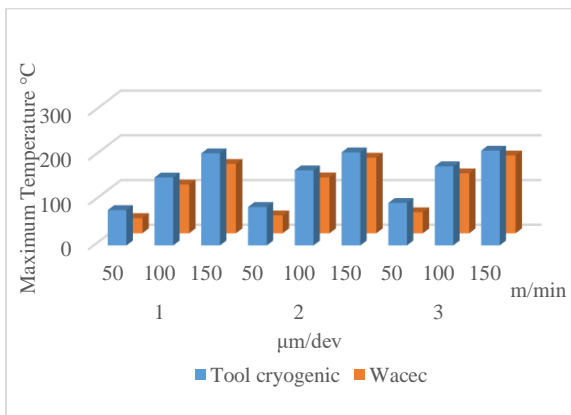


Figure 9. Maximum temperature change in LN₂ applications

3.4 Effect of cutting speed and coolant applications on tool wear

The amount of wear and distribution of cutting tools caused by micro-milling at 50, 100, and 150 m/min is shown in Fig. 10. Cryogenic cooling on workpieces had hardened the Ti6Al4V materials Ahmed et al [42]. The hardening of the material increases tool wear. When the graphic in Fig. 10 is examined, it is seen that internal cryogenic applications executed lesser wearing than other cutting applications on different cutting speeds. Also, it is seen that cryogenic applications decrease tool wear. At the same time, the internal cryogenic application gives the tool high hardness and wear resistance. It was observed that as the cutting speed increased, the amount of wear increased in parallel with the cutting temperature.

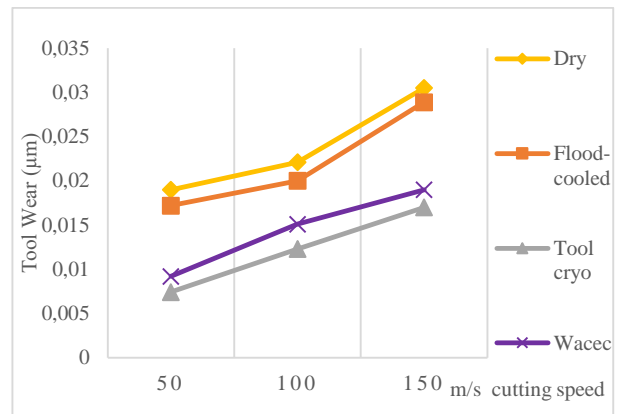


Figure 10. The amount of wear on the tool in 1 μm/dev feed at different cutting speeds and cooling applications

LN₂ application is expected to significantly decrease the rate of tool-wear during high speed milling of Ti6Al4V Caudill et.al [20]. As a result of the analysis made with finite element methods, the wears and the wear distributions in the set were shown in Fig. 11. The lowest wear is observed in the internal cryogenic cooling of the tool at 50 m/s cutting speed. The highest wear is seen in dry cutting with a cutting speed of 150 m/s.

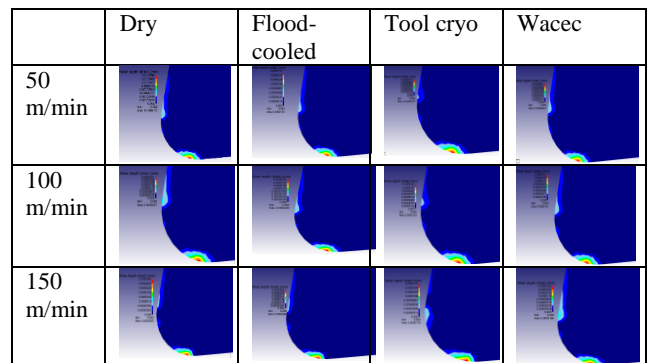


Figure 11. Distribution of tool wear in analyzes shown at different cutting speed.

3.5 Effect on chip formation and stress

As cutting temperatures increase, chip ductility and chip thickness increase [36-37]. As seen in Fig. 12, the top and hole distances decrease in chip thickness cooling applications. Chip thicknesses that decrease while the temperature decreases are indicators of the formation of brittleness in the chip. Chip thickness in the matter of valley heights reduced with cryogenic cooling Davoudinejad et.al. [43].

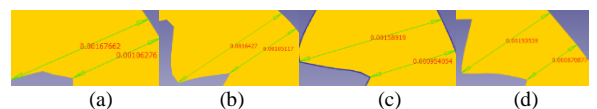


Figure 12. Compare to peak and valley heights of chip thicknesses a) Dry b) flood-cooling, c) internal cryogenic d) wacec, peak, and dimple heights of chip thickness.

Due to the cooling effect of LN₂, which lowers the cutting temperature and increases the brittleness [37]. Also, the cryogenic process. Fig. 13 shows that the stresses are higher in cryogenic cooling applications than in dry cutting. Stress increased inversely with temperature While

machining, a pre-stress area is formed on the cutting plane, which overlaps inversely with the stress field created by the force and heat Umberello et al [44].

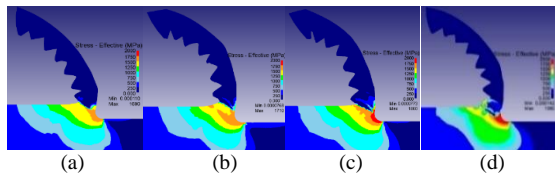


Figure 13. Compare to stress distributions a) Dry b) flood-cooling, c) internal cryogenic d) Wacec.

As is well known, cutting force and cutting heat interrelate during the milling shear slip and plastic deformation would occur in the cutting area due to the cutting force [40]. The temperature rises as the result of which the work of the plastic deformation and the friction turns into heat, thereby causing thermal strain and then softening the material Peng et al [45]. While cryogenic cooling limits the deformation in the chip by reducing the cutting zone temperature, that causes decreases in the amount of strain as shown in Fig. 14. Micro-machining is applied at high speeds to accelerate production. Material processing at high speeds causes continuous chip formation. Decreased strain can make brittle chip formation and prevent unwanted continuous chip formation [39]. Chip breakability was appreciable, and the acceptable forms of chips were produced in cryogenic machining conditions when compared to dry and wet machining environments Jerold and Kumar [46].

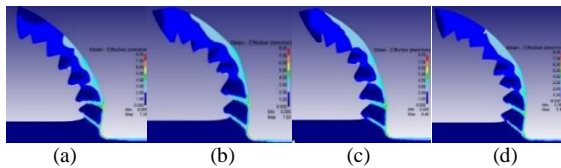


Figure 14. Compare to strain distributions a) Dry b) flood-cooling, c) internal cryogenic d) Wacec

3.6 Effect of coolant applications on forces

Since cryogenic cooling causes hardening in the material, it increases the cutting forces Shokrani et al. [47] There is uncertainty in the literature regarding the effect of cryogenic cooling on measured shear forces. Some empirical-based studies have concluded that cryogenic application in Ti6Al4V processing leads to an increase in shear force [20-24] due to an increase in hardness and strength in the workpiece.

Other studies have concluded that some force components are increased while using cryogenic cooling, while other components are decreased or not affected [25-28]. The force reduction may occur because of changes in the low-temperature friction behavior or a reduction in tool-chip contact length due to physical chip removal. All these possibilities are directly affected by the experimental methodology as the LN₂ application is quite sensitive. Numerical simulations within the deform and the model created to apply cryogenic cooling cannot physically calculate the effect of chip removal. In Fig. 15, the shear forces in the x and y direction in dry, flood-coolant, and cryogenic cooling applications at a speed of 1µm advance

and 100 m/min are given in Fig. 15. It has been observed that the shear forces increase in cryogenic uses.

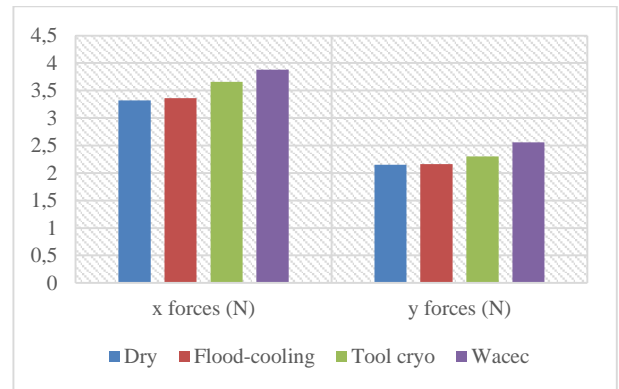


Figure 15. Effect of shear forces (N) in x and y direction in dry, cooler, and cryogenic cooling.

4 Conclusion

Using cryogenic in the machining process increases tool life, dimensional accuracy and provides better roughness. Results of reduced temperature create low energy consumption and increase productivity. Therefore, in this study, the finite element model of micro-milling Ti6Al4V alloy by different cutting parameters and cooling applications. Based on simulation results, it can be concluded that;

- A significant decrease in cutting temperatures is noticed in cryogenic applications. In wacec %57, internal tool cryogenic % 42, and liquid coolant %11, temperature drops were observed against dry cutting.
- In cryogenic cooling on the workpiece and cutting edges, The temperature significantly increased as the cutting speed and the amount of feed increased, and the highest temperatures 174 °C were seen at 3 µm / rev at 150 m / min and the lowest temperatures 34°C were seen at 50 m/min, 1 µm/rev.
- It has been observed that keeping the cutting speed low increases the effect of the cryogenic application on the temperature during cutting and is more effective in the cooling application applied to the part and cutting areas.
- Internal tool cryogenic cooling gave %18 better tool wear results compared to the cooling of the workpiece and cutting edges. It is showed that internal cooling can reduce tool wear.
- Cryogenic cooling of the workpiece and cutting edges showed 44% less wear and 54% less internal tool wear compared to dry cutting. Tool wear can be reduced depending on the predicted temperatures, tool wear was predicted, showing that LN₂ cryogenic cooling can significantly improve tool life.
- Considering the production times of micromachining, production is made at high speeds. Material processing at high speeds causes continuous chip formation. Cryogenic cooling has been found to make the chips brittle. It is predicted that the continuous chip formation that damages the tool and the part can be reduced by cryogenic applications.

It has been seen that the cutting forces %15 increase with cryogenic cooling. However, numerical simulation of micro-milling is limited by the number of factors that can be effectively analyzed. Thus, more experimentation is necessary to make any conclusive statement.

Acknowledgments

The authors would like to thank Inonu University Scientific Research Projects Coordination Unit for their financial support on projects.

References

- [1] Chae, J., Park, S. S., & Freiheit, T. (2006). Investigation of micro-cutting operations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(3-4), 313-332.
- [2] Özel, T., Bártolo, P. J., Ceretti, E., Gay, J. D. C., Rodriguez, C. A., & Da Silva, J. V. L. (Eds.). (2016). *Biomedical devices: design, prototyping, and manufacturing*. John Wiley & Sons.
- [3] 4- Robinson, G. M., & Jackson, M. J. (2005). A review of micro and nanomachining from a materials perspective. *Journal of Materials Processing Technology*, 167(2-3), 316-337.
- [4] Ezugwu, E. O., & Wang, Z. M. (1997). Titanium alloys and their machinability—a review. *Journal of materials processing technology*, 68(3), 262-274.
- [5] Robinson, G. M., Jackson, M. J., & Whitfield, M. D. (2007). A review of machining theory and tool wear with a view to developing micro and nano machining processes. *Journal of Materials Science*, 42(6), 2002-2015.
- [6] Dadgari, A., Huo, D., & Swailes, D. (2018). Investigation on tool wear and tool life prediction in micro-milling of Ti-6Al-4V. *Nanotechnology and Precision Engineering*, 1(4), 218-225.
- [7] Vazquez, E., Gomar, J., Ciurana, J., & Rodríguez, C. A. (2015). Analyzing effects of cooling and lubrication conditions in micromilling of Ti6Al4V. *Journal of Cleaner Production*, 87, 906-913.
- [8] Su, Y., He, N., Li, L., & Li, X. L. (2006). An experimental investigation of effects of cooling/lubrication conditions on tool wear in high-speed end milling of Ti-6Al-4V. *Wear*, 261(7-8), 760-766.
- [9] Debnath, S., Reddy, M. M., & Yi, Q. S. (2014). Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal of cleaner production*, 83, 33-47.
- [10] 11- Pervaiz, S., Deiab, I., Rashid, A., & Nicolescu, M. (2017). Minimal quantity cooling lubrication in turning of Ti6Al4V: influence on surface roughness, cutting force and tool wear. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231(9), 1542-1558.
- [11] Park, K. H., Suhaimi, M. A., Yang, G. D., Lee, D. Y., Lee, S. W., & Kwon, P. (2017). Milling of titanium alloy with cryogenic cooling and minimum quantity lubrication (MQL). *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 18(1), 5-14.
- [12] Jebaraj, M., & Pradeep Kumar, M. (2019). Effect of cryogenic CO₂ and LN₂ coolants in milling of aluminum alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 34(5), 511-520.
- [13] Shah, P., & Khanna, N. (2020). Comprehensive machining analysis to establish cryogenic LN₂ and LCO₂ as sustainable cooling and lubrication techniques. *Tribology International*, 148, 106314.
- [14] Veiga, C., Davim, J. P., & Loureiro, A. J. R. (2013). Review on machinability of titanium alloys: the process perspective. *Rev. Adv. Mater. Sci*, 34(2), 148-164.
- [15] Rotella, G., Dillon, O. W., Umbrello, D., Settineri, L., & Jawahir, I. S. (2014). The effects of cooling conditions on surface integrity in machining of Ti6Al4V alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1-4), 47-55.
- [16] Benardos, P. G., & Vosniakos, G. C. (2003). Predicting surface roughness in machining: a review. *International journal of machine tools and manufacture*, 43(8), 833-844.
- [17] Jawahir, I. S., Attia, H., Biermann, D., Dufflou, J., Klocke, F., Meyer, D., ... & Umbrello, D. (2016). Cryogenic manufacturing processes. *CIRP annals*, 65(2), 713-736.
- [18] Arrazola, P. J., Özel, T., Umbrello, D., Davies, M., & Jawahir, I. S. (2013). Recent advances in modelling of metal machining processes. *Cirp Annals*, 62(2), 695-718.
- [19] - Caudill, J., Schoop, J., & Jawahir, I. S. (2019). Numerical modeling of cutting forces and temperature distribution in high speed cryogenic and flood-cooled milling of Ti-6Al-4V. *Procedia CIRP*, 82, 83-88.
- [20] - Davoudinejad, A., Li, D., Zhang, Y., & Tosello, G. (2019). Optimization of corner micro end milling by finite element modelling for machining thin features. *Procedia CIRP*, 82, 362-367.
- [21] Attanasio, A., Abeni, A., Özel, T., & Ceretti, E. (2019). Finite element simulation of high speed micro milling in the presence of tool run-out with experimental validations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100(1-4), 25-35.
- [22] Umbrello, D., Bordin, A., Imbrogno, S., & Bruschi, S. (2017). 3D finite element modelling of surface modification in dry and cryogenic machining of EBM Ti6Al4V alloy. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 18, 92-100.
- [23] - Pashaki, P. V., & Pouya, M. (2017). Investigation of high-speed cryogenic machining based on finite element approach. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 14, 629-642.
- [24] Özel, T., Olleak, A., & Thepsonthi, T. (2017). Micro milling of titanium alloy Ti-6Al-4V: 3-D finite element modeling for prediction of chip flow and burr formation. *Production Engineering*, 11(4), 435-444.
- [25] Imbrogno, S., Sartori, S., Bordin, A., Bruschi, S., & Umbrello, D. (2017). Machining simulation of Ti6Al4V under dry and cryogenic conditions. *Procedia CIRP*, 58, 475-480.
- [26] Mamedov, A., & Lazoglu, I. (2016). Thermal analysis of micro milling titanium alloy Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*, 229, 659-667.
- [27] Tounsi, N., & El-Wardany, T. (2015). Finite element analysis of chip formation and residual stresses induced by sequential cutting in side milling with microns to sub-micron uncut chip thickness and finite cutting edge radius. *Advances in Manufacturing*, 3(4), 309-322.
- [28] Rao, B., Dandekar, C. R., & Shin, Y. C. (2011). An experimental and numerical study on the face milling of Ti-6Al-4V alloy: Tool performance and surface integrity. *Journal of Materials Processing Technology*, 211(2), 294-304.
- [29] Ortiz-de-Zarate, G., Madariaga, A., Garay, A., Azpitarte, L., Sacristan, I., Cuesta, M., & Arrazola, P. J. (2018). Experimental and FEM analysis of surface integrity when broaching Ti64. *Procedia Cirp*, 71, 466-471.
- [30] Johnson, G.R. and Cook, W.H. (1983) A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain Rates, and High Temperatures. Proceedings 7th International Symposium on Ballistics, The Hague, 19-21 April 1983, 541-547.

- [31] Lee, W. S., & Lin, C. F. (1998). Plastic deformation and fracture behaviour of Ti-6Al-4V alloy loaded with high strain rate under various temperatures. *Materials Science and Engineering: A*, 241(1-2), 48-59.
- [32] Calamaz, M., Coupard, D., & Girod, F. (2008). A new material model for 2D numerical simulation of serrated chip formation when machining titanium alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(3-4), 275-288.
- [33] Hong, S. Y., & Ding, Y. (2001). Cooling approaches and cutting temperatures in cryogenic machining of Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(10), 1417-1437.
- [34] Usui, E., Shirakashi, T., & Kitagawa, T. (1978). Analytical prediction of three dimensional cutting process—Part 3: Cutting temperature and crater wear of carbide tool.
- [35] Pu, Z., Umbrello, D., Dillon Jr, O. W., & Jawahir, I. S. (2014). Finite element simulation of residual stresses in cryogenic machining of AZ31B Mg alloy. *Procedia Cirp*, 13, 282-287.
- [36] Umbrello, D., Caruso, S., & Imbrogno, S. (2016). Finite element modelling of microstructural changes in dry and cryogenic machining AISI 52100 steel. *Materials Science and Technology*, 32(11), 1062-1070.
- [37] Shen, G. E., Gandhi, A., Arici, O., & Sutherland, J. W. (2001). A model for workpiece temperatures during peripheral milling including the effect of cutting fluids. *Transactions-North American Manufacturing Research Institution Of Sme*, 265-272.
- [38] Lee, W. S., & Lin, C. F. (1998). High-temperature deformation behaviour of Ti6Al4V alloy evaluated by high strain-rate compression tests. *Journal of Materials Processing Technology*, 75(1-3), 127-136.
- [39] Rotella, G., & Umbrello, D. (2014). Finite element modeling of microstructural changes in dry and cryogenic cutting of Ti6Al4V alloy. *Cirp Annals*, 63(1), 69-72.
- [40] Hong, S. Y., & Ding, Y. (2001). Cooling approaches and cutting temperatures in cryogenic machining of Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(10), 1417-1437.
- [41] Ahmed, L. S., & Pradeep Kumar, M. (2017). Investigation of cryogenic cooling effect in reaming Ti-6AL-4V alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 32(9), 970-978.
- [42] Shokrani, A., Dhokia, V., Muñoz-Escalona, P., & Newman, S. T. (2013). State-of-the-art cryogenic machining and processing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(7), 616-648.
- [43] Davoudinejad, A., Chiappini, E., Tirelli, S., Annoni, M., & Strano, M. (2015). Finite element simulation and validation of chip formation and cutting forces in dry and cryogenic cutting of Ti-6Al-4V. *Procedia manufacturing*, 1, 728-739.
- [44] Peng, Z., Li, J., Yan, P., Gao, S., Zhang, C., & Wang, X. (2018). Experimental and simulation research on micro-milling temperature and cutting deformation of heat-resistance stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(5), 2495-2508.
- [45] Jerold, B. D., & Kumar, M. P. (2013). The influence of cryogenic coolants in machining of Ti-6Al-4V. *Journal of manufacturing science and engineering*, 135(3).
- [46] Shokrani, A., Dhokia, V., Muñoz-Escalona, P., & Newman, S. T. (2013). State-of-the-art cryogenic machining and processing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(7), 616-648.



PRODUCTION OF NANOCRYSTALLINE CELLULOSE BY ULTRASONICALLY ASSISTED ACID HYDROLYSIS

Betül Çiçek Özkan^{*1} , Melek Güner¹ 

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 23119 Elazığ, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

Cellulose nanocrystals (SN) were isolated from the shell of horse chestnut seed using sulfuric acid hydrolysis. The raw shells were broken into small pieces, treated alkali, bleached, and subjected to the sulphuric acid process. The effect of hydrolysis time on the structure, crystallinity, thermal properties, morphology, and topology of cellulose and SNs were investigated. The lignin and hemicellulose contents were almost entirely removed from the produced cellulose through the alkali and bleaching treatments demonstrated to Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The crystallinity of SNs was increased firstly with increasing reaction time and then along with the reaction times longer than 20 min. decreases. The optimal isolation time for SN production was found to be 20 min at 45 °C in a 50 % sulfuric acid solution. The morphology of the cellulose and SN were investigated by scanning electron microscopy (SEM) and revealed a changed needle-like surface structure of SN relative to cellulose. The surface roughness of cellulose with a Ra value of 585 nm is higher than the cellulose nanocrystalline with a Ra value of 111 nm, which were characterized using atomic force microscopy (AFM). The thermal stability of SNs was decreased during increased extraction times compared with cellulose.

Keywords: Acid hydrolysis, cellulose nanocrystals, crystallinity, horse chestnut.

ULTRASONİK DESTEKLİ ASİT HİDROLİZİ İLE NANOKRİSTALİN SELÜLOZ ÜRETİMİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Selüloz nanokristalin (SN) at kestanesi tohumu kabuğundan asit hidrolizi ile ekstrakte edilmiştir. Ham kabuklar küçük parçalara bölünmüş, alkali işleme tabi tutulmuş, ağartılmış ve sülfirik asit ile muamele edilmiştir. Hidroliz reaksiyonunun süresinin elde edilen SN'lerin yapısına, kristalinitesine, termal, morfolojik ve topolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Fourier kızıl ötesi spektrumları (FTIR) incelendiğinde ligninin ve hemiselülozun alkali ve ağartma işlemleri sırasında üretilen ürünlerin yapısından tamamen uzaklaştırıldığı görülmüştür. Üretilen SN'lerin kristalinite dereceleri artan reaksiyon süresi ile birlikte önce artmış ve 20 dakikadan sonra azalmaya başlamıştır. At kestanesi kabuğundan SN üretiminde optimal izolasyon süresi 20 dakika (45 °C'de ve % 50'lik sülfirik asit çözeltisi içerisinde) olarak belirlenmiştir. Selüloz ve SN'nin morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve selüloza göre SN'nin iğne benzeri değişmiş bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. 585 nm'lik Ra değeri ile selülozun yüzey pürüzlülüğünün SN'ye göre (111 nm) daha yüksek olduğu atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile tespit edilmiştir. SN'lerin termal stabilitesi artan izolasyon süresi ile selüloza göre azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asit hidrolizi, at kestanesi, kristalinite, selüloz nanokristal.

1 Giriş

Dünya nüfusunun artması ve ihtiyaç duyulan kaynakların sınırlı olması yenilenebilir, çevreye duyarlı ve sürekliliği olan biyolojik kökenli malzemelerin öneminin artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle yenilenebilir malzeme arayışı birçok araştırma ve uygulamanın başlıca konusu olmuştur [1,2]. Selüloz; birçok araştırmacının dikkatini çeken, kullanıma hazır, geliştirilebilir, sentetik polimerik malzemelerin yerini alabilecek, yenilenebilir ve başta medikal uygulamalar olmak üzere birçok alanda

gelecek vadeden önemli bir doğal malzemedir [3,4]. Son yıllarda selülozdan meydana gelen birçok yeni malzeme araştırmalara konu olmuş ve üretilmiştir [5]. Selüloz dünyada en çok bulunan ağaçlar, bitkiler, su yosunları, hayvanlar, amip ve bakteriler gibi çeşitli biyo-kütlelerden elde edilen özellikle kâğıt endüstrisinde kullanılan doğal bir ham maddedir [6]. Bunların yanında selüloz biyo-bozunur olması ve toksik olmaması gibi özellikleri sebebiyle biyo-absorban olarak da bilinmektedir [7]. Bitki fiberlerinin ana bileşeni poli(1,4-β-D-anhidroglikopiranoz) birimleri içeren yarı kristal bir polimer olan selülozdur. Bu

* Corresponding author.

E-mail address: betulcckzn@gmail.com (B.Çiçek Özkan)

Received 02 June 2021; Received in revised form 10 July 2021; Accepted 26 July 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.946875>

birimler hidroksil bağları arasındaki güçlü hidrojen bağlarından oluşur. Bitki fiberlerinin diğer bileşenleri ise amorf yapıya sahip olan lignin ve hemiselülozdur [8].

Güçlü asit hidrolizi doğal fiberden amorf bölgenin uzaklaştırılması ve selüloz nano-kristalin izole edilmesi için iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [9]. Belirlenen şartlar altında asit hidrolizi ile amorf bölge uzaklaştırılması selüloz nano-kristalin yapısını, kristalinitesini, yüzey morfolojisini ve termal stabilitesini etkiler [10].

Selüloz nano-kristal (SN) selülozun asit hidrolizi, amonyum persulfat oksidasyonu, TEMPO oksidasyonu gibi yöntemlerle elde edilen ve çubuk şeklinde olan nano boyutlu bir malzemedir [11]. SN, biyo-bozunur olması, termal olarak düşük genleşme göstermesi, optik geçirgenliğe sahip olması, düşük maliyetli olması ve toksik olmaması gibi birçok eşsiz özelliğinden dolayı oldukça geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır. Bu özelliklere bağlı olarak SN şekil hafızalı polimerler, ışık ile onarılan malzemeler, ilaç yayını, fotonik kristaller, sulu işlemler için membran filmler, biyomedikal cihazlar ve mekanik uyumlu nanokompozitler gibi birçok uygulamada kullanılmıştır [3,12]. Ayrıca geniş yüzey alanına sahip olması ve yüzeyinde bolca hidroksil grup barındırması sebebiyle kolayca yüzey modifikasyonu yapılmasına imkân sağlamaktadır. SN'nin kristal yapısını ve kalitesini belirleyen en önemli unsurlardan biri kullanılan doğal selüloz kaynağıdır [13]. Bu nedenle birçok kaynak SN üretmek için kullanılmış ve araştırmalara konu olmuştur. Kargarzadeh ve arkadaşları [14] kenaf bitkisinin liflerinden SN ekstrakte ederek ekstraksiyon koşullarının malzemenin morfolojik, kristalinite ve termal özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Jiang ve Hsieh [15] pirinç samanından mekanik ve kimyasal yolla selüloz nanokristal ve selüloz fiber ekstrakte ederek bunların kendiliğinden bir araya gelip bağ oluşturma (self-assembly) özelliklerini incelemiştir. Neto ve arkadaşları [16] soya kabuğunun endüstriyel tarım atığından selüloz nanokristal eldesini ve karakterizasyonunu gerçekleştirmiştir. Shamskar ve arkadaşları [17] ham pamuk ve pamuk anızından selüloz nanokristal aerojel hazırlayıp bunun karakterizasyonunu ve değerlendirmesini yapmıştır. Jasmani ve Adnan [18] Malezya'da yaygın olarak bulunan Acacia mangium isimli bitkiden SN elde ederek bunun güçlendirme potansiyelini araştırmıştır. Ogundare ve arkadaşları [9] atık sigara filtrelerinden SN üretimini araştırmıştır. Dunlop ve arkadaşları [19] omurgasız deniz canlılarından (tunicates) SN elde etmiştir. Ilyas ve arkadaşları [20] hurma palmyesi liflerinden SN üreterek karakterize etmiştir. Foo ve arkadaşları [21] palmye bitkisinden selüloz nanokristal elde etmiş ve bunun yüzey modifikasyonunu yaptıktan sonra curcuminin bağlanmasında kullanmışlardır. Tuexun ve arkadaşları [22] kauçuk odunundan ve kenaf liflerinden SN sentezlemiş, karakterizasyonunu yapmış ve sitotoksikite özelliklerini araştırmıştır. Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda çam kerestesi [10] ve mısır koçanıdan [10,23,24] selüloz nanokristal ekstrakte edilmiş ve karakterizasyon teknikleriyle incelenmiştir.

SN'nin boyutları elde edildiği kaynağın çeşidine ve izolasyon koşullarına bağlı olmakla birlikte uzunluğu 100-300 nm, genişliği 5-20 nm ve en boy oranı (uzunluk/çap) 30-150 arasında değişmektedir. SN'nin elastisite modülü 138-167 GPa ve eğilme mukavemeti 10 GPa'dır [24].

Endüstride yaşanan gelişmelerle birlikte atık miktarının artması, bu atıkların tekrar kullanılabilirliği gibi sorunlar doğal ve dönüştürülebilir malzemelere olan ilginin artmasına sebep olmuştur. Biyolojik atıklar da endüstriyel atıklar arasında önemli bir yer tutmaktadır. Tıp ve ilaç sanayisi başta olmak üzere at kestanesi ağacının tohumu birçok alanda kullanılmaktadır ve kabuğu biyolojik atık olarak atılmaktadır [25]. Ayrıca kullanılan selüloz kaynağı elde edilen selüloz nanokristalin kalitesini ve özelliklerini belirleyen en büyük etkidir ve at kestanesi kabuğundan SN üretimi hakkında literatürde henüz herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada Fırat Üniversitesi kampüsünde bulunan at kestanesi ağaçlarının tohumlarının kabuklarından SN üretilerek bu alanda ekonomiye ve literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır. Buna bağlı olarak asit hidrolizi yöntemiyle at kestanesinden SN'nin üretiminde hidroliz süresine bağlı olarak optimizasyon çalışması yapılmıştır. Ayrıca elde edilen ürünlerin yapısal özellikleri Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ile kristalinite özellikleri X-Işını Kırınımı (XRD) yöntemiyle, termal özellikleri Termal Gravimetrik Analiz (TGA) ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ile ve morfolojik ve topolojik özellikleri ise Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile araştırılmıştır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Selüloz nanokristal kaynağı olarak Fırat Üniversitesi kampüsünden toplanan at kestanesi tohumlarının kabukları kullanılmıştır. Kullanılan kimyasallar; sodyum hidroksit (NaOH, Sigma-Aldrich), saf asetik asit (CH₃COOH, Sigma-Aldrich), sülfürik asit (H₂SO₄ 96.0 %, Vetec.P.A.) ve sodyum kloritten (NaClO₂, 31.0 %, Sigma-Aldrich) oluşmaktadır.

2.2 Selülozun Hazırlanması

At kestanesi tohumlarının kabukları ve içi birbirinden ayrıldıktan sonra kabuk kısımları kesici mikser yardımıyla öğütülmüştür. Öğütülen kabuklara mekanik karıştırıcıda 4 saat boyunca 80 °C'deki sodyum hidroksit (% 4 NaOH) çözeltisi ile alkali işlemi uygulanmıştır. Bu işlem 4 kez tekrar edilmiş ve alkali ortamda çözünebilir kısmın temizlenmesi için yıkanarak filtrelenmiştir. Fiberler 40 °C'de hava ortamında fırında 24 saat boyunca kurutulmuştur. Alkali işlemin ardından eşit hacimde (v:v) asetat tampon çözeltisi (8,1 g NaOH ve 22,5 mL saf asetik asit 300 mL suda) ve sulu sodyum klorit çözeltisi (1,7 ağırlık % NaClO₂ suda) ile ağartma işlemi yapılmıştır. Ağartma işlemi 4 kez 80 °C'de ve 4 saat boyunca tekrarlanmıştır. Her işlemin ardından ağartılan fiberler saf su ile pH nötr oluncaya kadar yıkanarak dekante edilmiş ve filtrelenmiştir [24].

2.3 Selüloz Nanokristal Ekstraksiyonu

Selüloz, yarıkristal biyopolimer bir malzemedir [2]. Selülozdan SN elde etmek için asit hidrolizi uygulanmıştır. Bunun için 45 °C'de ve 10, 20, 30 ve 60 dakika süreyle ultrasonic ısıtıcılı su banyosu içerisinde sabit karıştırma

hızında gerçekleştirilmiştir. Her bir asit hidrolizi işlemi için eşit miktarda ağartılmış fiberler kullanılarak hacimce % 50'lik sülfürik asit sulu çözeltisi içerisinde hidroliz reaksiyonu başlatılmış, reaksiyonu sonlandırmak için ise ortama saf sudan hazırlanmış buz parçaları eklenmiştir. Ardından ortamda kalan asiti uzaklaştırmak için 10 dakika 1000 rpm'de santrifüj işlemi yapılmıştır. Bu işlemin ardından çökelti, reaksiyona girmemiş sülfat gruplarını, tuzları ve çözünebilir şekeri uzaklaştırmak için pH nötral oluncaya kadar saf su ile diyaliz işlemine tabi tutulmuştur. Her bir numune hidroliz zamanına göre 10, 20, 30 ve 60 dakika için sırasıyla SN10, SN20, SN30 ve SN60 olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 1. 45 °C'de %50'lik H₂SO₄ çözeltisi içerisinde 10, 20, 30 ve 60 dk. asit hidrolizine tabi tutulmuş SN10 (1), SN20 (2), SN30 (3) ve SN60 (4)

2.4 Karakterizasyon Çalışmaları

Tüm numuneler hava ortamında kurutulmuş karakterizasyon testleri için hazırlanmıştır. X-Işını Kırınımı (XRD) ölçümleri (Rigaku Mini Flex 600) 5 ile 50° 2θ aralığında, 0,5°/dk tarama hızında, 40kV ölçüm gücünde 30 mA akım ile ve Cu Kα radyasyonunda (1,5406 Å) yapılmıştır. XRD desenlerine göre numunelerin kristalinite indeksi Segal [26] metoduna göre Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$Krl = \left[1 - \left(\frac{I_m}{I_{002}} \right) \right] \times 100 \quad (1)$$

burada I₀₀₂ 002 kafesindeki kırınımın maksimum yoğunluğu (keyfi birim olarak), ve I_m 002 ve 101 kafesleri arasındaki minimum kırınımın minimum yoğunluğudur. I₀₀₂ kristal ve amorf bölgeyi temsil ederken I_m sadece amorf kısmı göstermektedir.

Numunelerin fonksiyonel gruplarını karakterize etmek için FTIR spektroskopisi (Thermo Scientific, Nicolet iS20) 4000 ile 500 cm⁻¹ aralığında, 4 cm⁻¹ çözünürlükte spektrumlar taranarak kaydedilmiştir.

Termogravimetrik analizler (Perkin Elmer Sapphire) hava atmosferinde 20 ile 600 °C sıcaklık aralığında ve 10°C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin mikro yapıları ve yüzey morfolojileri, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Zeiss Sigma 300) ile tüm numuneler altın kaplandıktan sonra elde edilmiştir.

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM, Park system XE15) kullanılarak yüzeylerin pürüzlülüğü tespit edilmiştir. Sulandırılmış numuneler temizlenmiş mika yüzeyine damlatılarak havada kurutulmuştur.

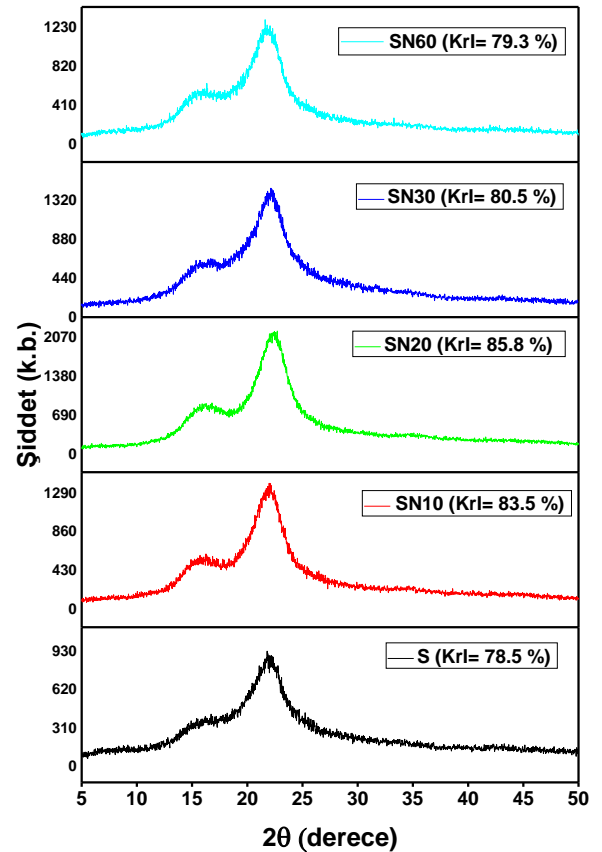
3 Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1 XRD Analizi

S, SN10, SN20, SN30 ve SN60'ın kristalinite özellikleri XRD analizi ile araştırılmış ve Şekil 2'de X-ışını

kırınım desenleri gösterilmiştir. Selüloz, amorf ve kristal olmak üzere iki bölgeden oluşan yarı kristal doğal bir biyopolimer olduğundan selüloza ait tipik X-ışını kırınım desenleri amorf bölge için 2θ = 15 °de (101) düzlemi ve kristal bölge için 2θ= 22 °de (002) düzlemi gösterilmiştir [10].

S, SN10, SN20, SN30 ve SN60 için Krl değerleri XRD diyagramından faydalanılarak Eşitlik 1 yardımıyla sırasıyla 78.5, 83.5, **85.8**, 80.5 ve 79.3 olarak hesaplanmıştır. Kristalinite indeksi asit hidrolizi yapılan tüm numuneler için selüloza göre artış göstermiştir. Fakat asit hidroliz süresinin (20 dakikadan sonra) artması kristalinite indeksinde düşüş gözlenmesine neden olmuştur. asit hidroliz süresine kadar selüloza göre artarken, 20 dakikadan sonra azalmaya başlamıştır. Asit hidrolizi ile selülozun yapısındaki amorf kısmın (hemiselüloz ve lignin) uzaklaştırılması selüloz moleküllerinin yeniden hizalanmasına sebep olur ve bu da kristalinite artışı ile sonuçlanır [27]. Ancak 20 dakikadan daha uzun süren asit hidrolizi proseslerinde kristalinitenin yeniden düştüğü gözlenmektedir (SN30 ve SN60). Bunun sebebi ise uzayan asit hidroliz işlemlerinin selülozun kristal bölgesinde degradasyona sebep olmasıdır. En yüksek kristalinite değeri 20 dakikalık asit hidrolizi sonucunda (%85,8) elde edilmiştir.

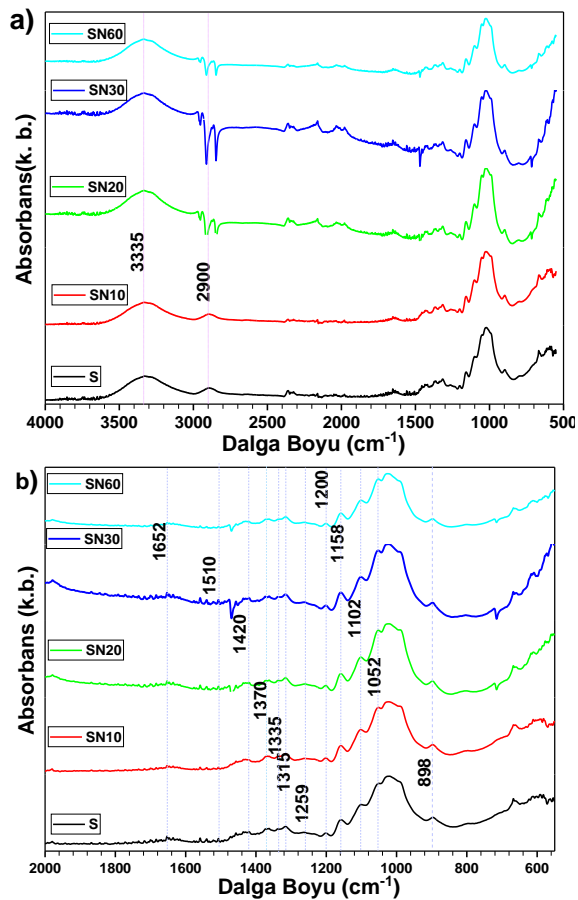


Şekil 2. S, SN10, SN20, SN30 ve SN60 için X-ışını kırınım deseni

3.2 FTIR Analizi

S, SN10, SN20, SN30 ve SN60 için FTIR spektrumları Şekil 3-a'da 4000-500 cm⁻¹ ve Şekil 3-b'de 2000-500 cm⁻¹ aralığındaki dalga boyları için gösterilmiştir. 3335 cm⁻¹ spektrumu OH gerilmesini (selülozun molekül içi hidrojen bağlarına ait), 2900 cm⁻¹ spektrumu CH gerilmesini

göstermektedir. Şekil 2-b’de görüleceği gibi spektrumlar; 1652 cm^{-1} OH bükülmesini (adsorplanan su sebebiyle), 1510 cm^{-1} lignine ait aromatik halkalarla ilgili, 1420 cm^{-1} selülozdeki CH_2 makaslamasını, 1370 cm^{-1} CH bükülmesini, 1335 cm^{-1} OH düzlemindeki eğilmeyi, 1315 cm^{-1} CH_2 titreşimini, 1259 cm^{-1} CO düzlem dışı esnemesi (lignin içindeki aril grubu sebebiyle), 1200 cm^{-1} SO titreşimini (hidroliz işlemi sırasında meydana gelen esterleşme reaksiyonu sebebiyle), 1158 cm^{-1} CC halka germe bandı, 1102 cm^{-1} COC glikozit eter bandını, 1052 cm^{-1} COC piranoz halka germe titreşimini, 898 cm^{-1} selülozik β -glikozit bağlarını gösterdiği belirlenmiştir [24]. Lignine ait FTIR piklerinin şiddetinin çok düşük olduğu gözlenmektedir. Bu ortamdan ligninin tam olarak uzaklaştığının işaretidir ve hazırlanan selüloz ve nanokristalin selülozların saf beyaz rengi bunu desteklemektedir [6].



Şekil 3. S, SN10, SN20, SN30 ve SN60 için a) 4000-500 cm^{-1} aralığındaki ve b) 2000-500 cm^{-1} aralığındaki FTIR spektrumları

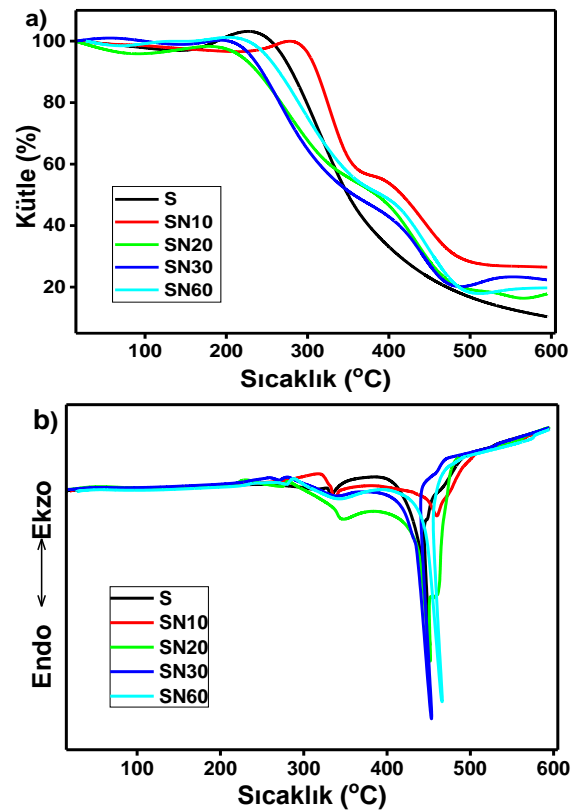
3.3 Termal Analiz

At kestanesi kabuğundan elde edilmiş selüloz ve farklı proses sürelerinde üretilmiş selüloz nanokristallerin termal stabilitesi termal gravimetrik analiz (TGA) yöntemiyle araştırılmıştır (Şekil 4-a). Şekil 4-b’de selüloz ve nanokristalin selülozlar için sıcaklığa karşı çizilmiş diferansiyel termal analiz (DTA) eğrileri verilmiştir. Bütün numunelerdeki kütle kaybı 100 $^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar % 3’ün altındadır. Bu numunelerin yapısında bulunan nemin buharlaşarak uzaklaştığına işaret etmektedir. Asit hidrolizinin ardından elde edilen ürünler selüloza göre oldukça farklı termal degradasyon davranışı

göstermektedirler. Selüloz için kütsel keskin düşüş yaklaşık 228 $^{\circ}\text{C}$ ’de başlarken, SN10 için 254 $^{\circ}\text{C}$, SN20 için 142 $^{\circ}\text{C}$, SN30 için 137 $^{\circ}\text{C}$ ve SN60 için 186 $^{\circ}\text{C}$ ’de başlamaktadır. Ayrıca TGA diyagramında asit hidrolizi ile elde edilmiş selüloz nanokristalin TGA eğrilerinden 354-433 $^{\circ}\text{C}$ arasında iki degradasyon prosesinin gerçekleştiği gözlenmektedir. Bu sonuçlar selülozun termal stabilitesinin sülfürik asit hidrolizi ile hazırlanmış nanokristalin selüloz ürünlerine kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir [28]. Düşük sıcaklıkta ilerleyen degradasyon prosesi yüksek oranda sülfatlanmış amorf bölgelerin bozunmasına karşılık gelebilirken, yüksek sıcaklıkta yürüyen kütsel degradasyon işlemleri sülfatsız kristallerin parçalanmasıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca asit sülfat gruplarının varlığı dehidrasyon reaksiyonunun bir sonucu olarak selülozun termal stabilitesini düşürür [14]. DTA grafiğinden faydalanılarak numunelerin iki termal degradasyon prosesine ait maksimum sıcaklık değerleri Tablo 1’de listelenmiştir. Uzun süren hidroliz proseslerinde selüloz ve sülfürik asit arasındaki artan etkileşimler sonucunda oluşan sülfat grupları sebebiyle sülfatlanmış selülozun bozunma (degradasyon) sıcaklığı azalmaktadır [29].

Tablo 1. S, SN10, SN20, SN30 ve SN60 için DTA eğrilerinde elde edilen bozunma sıcaklıkları ve TGA grafiklerinden elde edilen 600 $^{\circ}\text{C}$ ’deki kömürleşme oranları

Numune	DTA değerleri ($^{\circ}\text{C}$)		Kömürleşme (%) (600 $^{\circ}\text{C}$ ’de)
	Sülfatlanmış Selüloz	Sülfatlanmamış Selüloz	
S	-	452	11
SN10	347	459	26
SN20	345	452	20
SN30	342	453	22
SN60	340	457	18



Şekil 4. S, SN10, SN20, SN30 ve SN60 için a) TGA b) DTA eğrileri

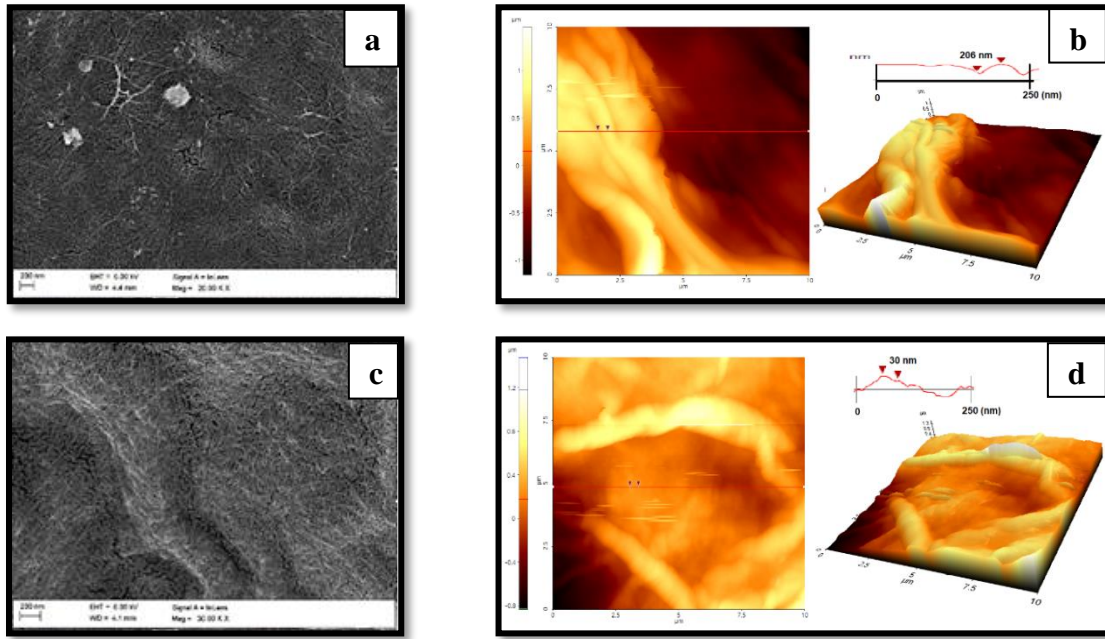
3.4 Mikroskopla İnceleme

Şekil 5-a ve c'de sırasıyla Selüloz ve XRD grafiğinden elde edilen verilere göre en yüksek kristalinite oranına sahip olan SN20 için 2000 bin kez büyütme oranındaki SEM görüntüleri verilmiştir.

Selülozun fiber ve yoğun yapısı net bir biçimde görülmektedir. Bunun yanında SN20'ye ait görüntüde selülozdan farklı yoğun iğne yapılı bir görüntü mevcuttur. Bu asit hidrolizi sonucunda artan kristal oranına işaret etmektedir.

AFM fotoğrafları Şekil 5-b ve d'de gösterilmiştir. Asit hidrolizi ile selülozun yapısında meydana gelen değişiklik AFM topografyasında da net olarak görünmektedir. Yüzey

yapısının değerlendirilmesi için yüzey pürüzlülüğü Ra (aritmetik ortalama pürüzlülük değeri) ve Rms (karekök ortalama değeri) değerleri $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ lik tarama alanından elde edilmiştir. Ortalama olarak selüloz ve SN20 fiberlerin, yüzey Rms değerleri sırasıyla 620 ve 132 nm ve Ra değerleri ise sırasıyla 585 ve 111 nm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan R_{ms} ve Ra değerlerinin orantılı olduğu görülmektedir. SN daha düzgün bir yapı sergilerken selülozun pürüzlülüğü daha yüksektir. AFM görüntüsü incelendiğinde yüzeyde parlak nokta olarak gözlenen tepeciğin oluştuğu ve bunda yüzeye çıkan polimer zincirlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir [30].



Şekil 5. a) Selüloz için SEM ve b) selüloz için AFM, c) SN20 için SEM ve d) SN20 için AFM görüntüleri.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada organik atıkları değerlendirmek ve ekonomiye kazandırmak için at kestanesi kabuğundan selüloz başarılı bir şekilde elde edilmiştir. At kestanesi kabuğu kullanılarak üretilen selülozdan üstün fiziksel özelliklere sahip selüloz nanokristallerin elde edilmesi sülfürik asit hidrolizi ile amorf bölgenin uzaklaştırılması veya kısmen yok edilmesi ile sağlanmıştır. Üretilen selüloz sülfürik asit ile 10, 20, 30 ve 60 dakika boyunca hidrolize tabi tutularak selüloz nanokristalin (SN) üretilmiştir. Farklı reaksiyon sürelerinde sonikasyon ile desteklenen asit hidrolizi işleminin ardından elde edilen ürünler karakterize edilmiştir. Asit hidroliz süresi arttıkça FTIR piklerine ait yoğunluk değerleri artmaktadır. Segal yöntemine göre XRD desenlerinden kristalinite indeksleri belirlenmiş ve selüloza göre en yüksek kristalinite indeks derecesine 20 dakikalık hidroliz sonucunda üretilen nanoselülozun (SN20) sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Asit hidrolizi süresi arttıkça önce kristalinite değerleri selüloza göre artış gösterirken 20 dakikalık asit hidrolizinden sonra azalmaya başladığı belirlenmiştir. Selülozun termal stabilitesi asit hidrolizi ile elde edilmiş ürünlere göre daha yüksektir. Selüloz nanokristalin yüzeyi SEM fotoğraflarında

görüldüğü gibi selüloza göre daha homojen ve düzgün bir yapıdadır. Bunun yanında kristal oranı değişimine bağlı olarak selülozun fiber yoğun yapısına kıyasla SN20'nin selülozdan farklı yoğun iğne yapılı bir görüntü sergilediği görülmektedir. Ayrıca AFM sonuçları selülozun pürüzlülüğü (Ra 585 nm) ve selüloz nanokristaline (111 nm) göre daha yüksektir. Bu sonuçlar asit hidrolizi sonucunda selülozda meydana gelen yapısal değişimleri desteklemektedir. Bu çalışma sonucunda asit hidroliz süresinin 20 dakikadan fazla olmasının selüloz nanokristalin kristalinitesini azalttığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (FÜBAP) tarafından Proje No: TEKF. 21.06 ile desteklenmiştir. Yazar Melek Güner, 100/2000 doktora bursu için Yükseköğretim Kurulu'na (YÖK) teşekkür eder.

Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Chen, W., Yu, H., Liu, Y., Chen, P., Zhang, M., & Hai, Y. (2011). Individualization of cellulose nanofibers from wood using high-intensity ultrasonication combined with chemical pretreatments. *Carbohydrate Polymers*, 83(4), 1804-1811.
- [2] Cui, S., Zhang, S., Ge, S., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). Green preparation and characterization of size-controlled nanocrystalline cellulose via ultrasonic-assisted enzymatic hydrolysis. *Industrial Crops and Products*, 83, 346-352.
- [3] Tayeb, A. H., Amini, E., Ghasemi, S., & Tajvidi, M. (2018). Cellulose nanomaterials—Binding properties and applications: A review. *Molecules*, 23(10), 2684.
- [4] Çiçek Özkan, B. (2021). Çapraz Bağlı Kitosan/Selüloz/Grafen Kompozitinin Şişme Davranışlarının İncelenmesi. *Firat University Journal of Engineering*, 33(1).
- [5] de Amorim, J. D. P., de Souza, K. C., Duarte, C. R., da Silva Duarte, I., Ribeiro, F. D. A. S., Silva, G. S., ... & Sarubbo, L. A. (2020). Plant and bacterial nanocellulose: Production, properties and applications in medicine, food, cosmetics, electronics and engineering. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(3), 851-869.
- [6] Thomas, B., Raj, M. C., Joy, J., Moores, A., Drisko, G. L., & Sanchez, C. (2018). Nanocellulose, a versatile green platform: from biosources to materials and their applications. *Chemical reviews*, 118(24), 11575-11625.
- [7] Fortunati, E., Armentano, I., Zhou, Q., Iannoni, A., Saino, E., Visai, L., ... & Kenny, J. M. (2012). Multifunctional bionanocomposite films of poly (lactic acid), cellulose nanocrystals and silver nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 87(2), 1596-1605.
- [8] Teo, H. L., & Wahab, R. A. (2020). Towards an eco-friendly deconstruction of agro-industrial biomass and preparation of renewable cellulose nanomaterials: A review. *International journal of biological macromolecules*.
- [9] Ogundare, S. A., Moodley, V., & Van Zyl, W. E. (2017). Nanocrystalline cellulose isolated from discarded cigarette filters. *Carbohydrate polymers*, 175, 273-281.
- [10] Ditzel, F. I., Prestes, E., Carvalho, B. M., Demiate, I. M., & Pinheiro, L. A. (2017). Nanocrystalline cellulose extracted from pine wood and corncob. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1577-1585.
- [11] Zhang, H., Chen, Y., Wang, S., Ma, L., Yu, Y., Dai, H., & Zhang, Y. (2020). Extraction and comparison of cellulose nanocrystals from lemon (*Citrus limon*) seeds using sulfuric acid hydrolysis and oxidation methods. *Carbohydrate polymers*, 238, 116180.
- [12] Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte chemie international edition*, 44(22), 3358-3393.
- [13] Bhat, A. H., Khan, I., Usmani, M. A., Umapathi, R., & Al-Kindy, S. M. (2019). Cellulose an ageless renewable green nanomaterial for medical applications: An overview of ionic liquids in extraction, separation and dissolution of cellulose. *International journal of biological macromolecules*, 129, 750-777.
- [14] Kargarzadeh, H., Ahmad, I., Abdullah, I., Dufresne, A., Zainudin, S. Y., & Sheltami, R. M. (2012). Effects of hydrolysis conditions on the morphology, crystallinity, and thermal stability of cellulose nanocrystals extracted from kenaf bast fibers. *Cellulose*, 19(3), 855-866.
- [15] Jiang, F., & Hsieh, Y. L. (2013). Chemically and mechanically isolated nanocellulose and their self-assembled structures. *Carbohydrate polymers*, 95(1), 32-40.
- [16] Neto, W. P. F., Silvério, H. A., Dantas, N. O., & Pasquini, D. (2013). Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from agro-industrial residue—Soy hulls. *Industrial Crops and Products*, 42, 480-488.
- [17] Shamskar, K. R., Heidari, H., & Rashidi, A. (2016). Preparation and evaluation of nanocrystalline cellulose aerogels from raw cotton and cotton stalk. *Industrial Crops and Products*, 93, 203-211.
- [18] Jasmani, L., & Adnan, S. (2017). Preparation and characterization of nanocrystalline cellulose from Acacia mangium and its reinforcement potential. *Carbohydrate polymers*, 161, 166-171.
- [19] Dunlop, M. J., Acharya, B., & Bissessur, R. (2018). Isolation of nanocrystalline cellulose from tunicates. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4408-4412.
- [20] Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., & Ishak, M. R. (2018). Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from sugar palm fibres (*Arenga Pinnata*). *Carbohydrate polymers*, 181, 1038-1051.
- [21] Foo, M. L., Tan, C. R., Lim, P. D., Ooi, C. W., Tan, K. W., & Chew, I. M. L. (2019). Surface-modified nanocrystalline cellulose from oil palm empty fruit bunch for effective binding of curcumin. *International journal of biological macromolecules*, 138, 1064-1071.
- [22] Tuerxun, D., Pulingam, T., Nordin, N. I., Chen, Y. W., Kamaldin, J. B., Julkapli, N. B. M., ... & Johan, M. R. B. (2019). Synthesis, characterization and cytotoxicity studies of nanocrystalline cellulose from the production waste of rubber-wood and kenaf-bast fibers. *European Polymer Journal*, 116, 352-360.
- [23] de Carvalho Mendes, C. A., Ferreira, N. M. S., Furtado, C. R. G., & de Sousa, A. M. F. (2015). Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from corn husk. *Materials Letters*, 148, 26-29.
- [24] Silverio, H. A., Neto, W. P. F., Dantas, N. O., & Pasquini, D. (2013). Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from corncob for application as reinforcing agent in nanocomposites. *Industrial Crops and Products*, 44, 427-436.
- [25] Gullón, P., Gullón, B., Muñiz-Mouro, A., Lú-Chau, T. A., & Eibes, G. (2020). Valorization of horse chestnut burs to produce simultaneously valuable compounds under a green integrated biorefinery approach. *Science of The Total Environment*, 730, 139143.
- [26] Dos Santos, R. M., Neto, W. P. F., Silvério, H. A., Martins, D. F., Dantas, N. O., & Pasquini, D. (2013). Cellulose nanocrystals from pineapple leaf, a new approach for the reuse of this agro-waste. *Industrial Crops and Products*, 50, 707-714.
- [27] Xu, Q., Gao, Y., Qin, M., Wu, K., Fu, Y., & Zhao, J. (2013). Nanocrystalline cellulose from aspen kraft pulp and its application in deinked pulp. *International Journal of Biological Macromolecules*, 60, 241-247.
- [28] Wang, J., Wan, Y. Z., Luo, H. L., Gao, C., & Huang, Y. (2012). Immobilization of gelatin on bacterial cellulose nanofibers surface via crosslinking technique. *Materials Science and Engineering: C*, 32(3), 536-541.
- [29] Ngwabebhoh, F. A., Erdem, A., & Yildiz, U. (2018). A design optimization study on synthesized nanocrystalline cellulose, evaluation and surface modification as a potential biomaterial for prospective biomedical applications. *International journal of biological macromolecules*, 114, 536-546.
- [30] Lahiji, R. R., Xu, X., Reifenberger, R., Raman, A., Rudie, A., & Moon, R. J. (2010). Atomic force microscopy characterization of cellulose nanocrystals. *Langmuir*, 26(6), 4480-4488.



AN INVESTIGATION OF GALILEO CONTRIBUTION ON THE RELATIVE POINT POSITIONING

Sercan Bulbul^{*1} 

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Abstract

Original scientific papers

Today, point coordinates are determined by Global Navigation Satellite System (GNSS). Relative positioning methods are widely preferred in applications requiring high accuracy. Different satellite configurations are used to obtain raw measurements and process these measurements with relative positioning methods. While only GPS (G) was used at first, point coordinates have started to be determined with global satellite systems such as GLONASS (R), Galileo (E) and BeiDOU (C) developed by different institutions and organizations over time. In this study, the effect of Galileo on point positioning and positioning accuracies were investigated. In this context, a geodetic network consisting of 6 International GNSS Services-Multi-GNSS Experiment (IGS-MGEX) stations was used. The 31-day (01-31.08.2017) 24-hour RINEX data of the selected stations was processed in the Bernese v5.2 GNSS software with the double differences method in GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) and GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E). In the comparison, the coordinates obtained by shifting the coordinates of ITRF2014 (2010.00 reference epoch) to the measurement epoch with the velocities are taken as true quantity values. Then, the root square errors (KOH) and positioning accuracies in the directions of the coordinate axes were calculated and compared with each other statistically. As a result of the comparison, it was determined that the positioning accuracies obtained with the G, G+R and G+R+E satellite configurations were compatible with each other at the 95% confidence interval.

Anahtar Kelimeler: Bernese, bağıl konum belirleme, Galileo, GNSS, karesel ortalama hata.

GALİLEO UYDU SİSTEMİNİN BAĞIL KONUM BELİRLEMeye KATKISININ ARAŞTIRILMASI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Günümüzde nokta koordinatları Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS) tekniğiyle belirlenmektedir. Yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda bağıl konum belirleme yöntemleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Bağıl konum belirleme yöntemleri ile ham ölçülerin elde edilmesinde ve bu ölçülerin değerlendirilmesinde farklı uydu konfigürasyonları kullanılmaktadır. İlk olarak sadece GPS (G) uyduları kullanılırken, zamanla farklı kurum ve kuruluşlar tarafından geliştirilen GLONASS (R), Galileo (E) ve BeiDOU (C) gibi global uydu sistemleri ile nokta koordinatları belirlenmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, Galileo uydu sisteminin nokta koordinat ve konum doğruluklarına etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda 6 adet Uluslararası GNSS Hizmetleri-Çoklu-GNSS Deneyi (IGS-MGEX) istasyonundan oluşan bir jeodezik ağ oluşturulmuştur. Seçilen ağa ilişkin 31 günlük (01-31.08.2017) 24 saat RINEX verileri Bernese v5.2 GNSS değerlendirme yazılımında ikili farklar yöntemi ile G, G+R ve G+R+E farklı uydu konfigürasyonunda değerlendirilmiştir. Karşılaştırmada ITRF2014 (2010.00 referans epogu) koordinatları hız değerleri ile ölçü epoguna kaydırılarak elde edilen koordinatlar gerçek değerler olarak alınmıştır. Daha sonra koordinat eksenleri yönündeki karesel ortalama hatalar (KOH) ve konum doğrulukları hesaplanarak istatistiksel olarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ise G, G+R ve G+R+E uydu konfigürasyonları ile elde edilen konum doğruluklarının %95 güven aralığında birbirleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Keywords: Bernese, Galileo, GNSS, relative point positioning, the root mean square.

1 Giriş

1980'li yılların sonlarından itibaren GNSS tekniği ile nokta konumlarının belirlenmesine başlanmıştır. İlk olarak askeri amaçlar için ortaya çıkan GNSS tekniği gelişen teknoloji ve ihtiyaçlar doğrultusunda sivil kullanıcılara açılmıştır. GNSS teknolojinin ilk uydu sistemi Global Konumlama Sistemi (GPS)'tir. GPS Amerika Birleşik

Devletleri (ABD) Savunma Bakanlığı'nca geliştirilmiş uydu tabanlı konum belirleme sistemlerinin öncüsüdür[1]. GPS yeryüzünden yaklaşık 20200 km yükseklik ve ekvator ile 55° eğimle 6 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiştir. Her bir uydu sistemi yaklaşık olarak 11 saat 58 dakika da dünya etrafını dönmektedir [2]. GPS'e alternatif olarak Rusya tarafından GLONASS sistemi geliştirilmiş ve 1983 yılında resmi olarak ilan edilmesine rağmen 1995 yılına 7

* Corresponding author.

E-mail address: sbulbul@ktun.edu.tr (S. Bulbul)

Received 02 June 2021; Received in revised form 16 August 2021; Accepted 04 October 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.945756>

adet uydu ile işler hale gelmiştir [3]. GLONASS uydu sistemi GPS'ten sonra işler hale gelmiş ikinci kuşak bir küresel uydu konumlandırma sistemidir. GPS ve GLONASS uydu sistemleri ile aktif olarak konum belirleme çalışmaları gerçekleştirilirken Avrupa Birliği kendi sistemini kurma fikrini ortaya atmıştır. Bu fikir ilk olarak 1999 yılında tasarlanmasına rağmen Galileo uydu sistemi çok daha uzun yıllar sonra faaliyetlerine başlamıştır [4]. Ayrıca, 2000 yılından beri faaliyet gösteren BEIDOU (COMPASS) sistemi de global anlamda konum belirlemeye yardımcı olmuştur. Daha önce bahsedilen sistemlerin aktif olmasıyla beraber GNSS ile ilgili bilimsel çalışmalar farklı bir boyut kazanmış ve global uydu sisteminin etkileri araştırılmaya başlanmıştır. Global olarak veri sağlayan bu sistemlerin dışında NAVIC ve QZSS gibi bölgesel olarak konum belirlemeye imkan sağlayan konum belirleme sistemleride günümüzde kullanılmaktadır. Tüm bu sistemlerin konum belirlemeye katıda Çoklu-GNSS kavramını ortaya çıkartmıştır.

MGEX ile beraber kullanıcılar, çoklu GNSS çözümlerini aynı anda gerçekleştirebilecektir. Çoklu GNSS sistemleri ayrıca kullanıcılara konum belirlemede, yüksek dereceden iyonosferik modellemede, faz başlangıç belirsizliği, taşıyıcı fazlar ile bağıl konum belirlemede ve istasyonların nihai koordinatlarının elde edilmesinde sağladığı fazla veri sayesinde katkılar yapacağı düşünülmektedir [5].

Galileo, 2011 ve 2012 yılları arasında dört yörünge için doğrulama uydusunu yörüngeye fırlatmıştır. Daha sonra, Ağustos 2014'ten Temmuz 2018'e kadar 22 adet tam kapasiteli(FOC) uydusunu yörüngeye fırlatmıştır. Son olarak 26 Temmuz 2018'de dört adet ek FOC uydusu yörüngeye fırlatılmıştır. Gönderilen bu uydularla beraber 2020 yılının sonunda aktif olarak konum belirleme çalışmalarına katkı sağlamaya başlamıştır [6-7]

Galileo uydu sisteminin konum belirleme etkilerini araştıran farklı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle Galileo uydu sistemi kullanılarak Hassas Nokta Konumlama (PPP) tekniği üzerine gerçekleştirmiştir. Literatürdeki bu çalışmalara [8-12] den erişilebilir. Ayrıca Galileo'nun nokta konumlamaya katkısı ile ilgili bir başka çalışmada da [13] tarafından akıllı telefonlar kullanılarak araştırılmıştır.

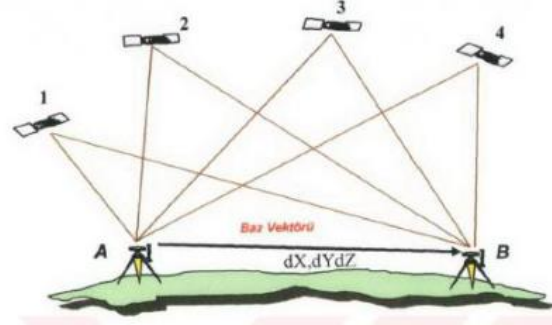
GNSS tekniği ile nokta konumları belirlenirken yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda genellikle statik ölçü yöntemi tercih edilmektedir. Statik ölçü yöntemi ile verilerin toplanmasında uydu konfigürasyonu, uydu yükseklik açısı veri kayıt aralığı vb. birçok değişken kullanıcı tarafından değiştirilebilmekte ve istenilen amaç doğrultusunda veriler elde edilmektedir. Elde edilen statik veriler beklenen doğruluk ve çalışmanın amacına bağlı olarak bilimsel ve ticari GNSS değerlendirme yazılımlarında değerlendirilebilmekte ve sonuçlar elde edilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, 6 adet IGS-MGEX istasyonundan oluşan bir jeodezik ağda toplanan veriler Bernese v5.2 GNSS değerlendirme yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sadece GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) ve GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) stratejileri ile değerlendirilmiş ve Galileo'nun nokta konumlamaya katkısı araştırılmıştır. Değerlendirmede, Uluslararası GNSS Hizmetleri (IGS) tarafından yayınlanan ITRF2014 (2010.0 referans

epoğunda yayınlanan) nokta koordinatları, ölçü epoğuna kaydırılmış, bu koordinatlar elde esas alınarak ,ölçü epoğunda hesaplanan nokta koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar ikili varyans testinden yararlanılarak sonuçlar verilmiştir.

2 Bağıl Konum Belirleme

Bağıl Konum belirleme yöntemi en az iki istasyonda, en az iki GNSS alıcısı ile eş zamanlı olarak toplanan ham GNSS verileri yardımıyla, istasyonlar arasında oluşturulan baz vektörlerinin elde edilmesiyle koordinatları belirlenecek yeni noktalarının ofis ortamında gerçekleştirilen değerlendirme (post-prosess) ile belirlenmesi olarak tanımlanabilir(Şekil 1). Bağıl konum belirleme yöntemlerinde çoğunlukla tüm frekanslarda kod ve taşıyıcı faz ölçülerinin kombinasyonu kullanılmaktadır [14].



Şekil 1. Statik konum belirleme yöntemi [15]

Statik yöntem yer kabuğu hareketlerinin kestirilmesi, plaka hareketlerinin belirlenmesi, uzun bazlara sahip yüksek duyarlılık gerektiren jeodezik ağların çözümlenmesi gibi jeodezik çalışmalarda ve bilimsel çalışmalarda tercih edilmektedir [16].

3 Uygulama

Bu çalışmada farklı uydu konfigürasyonlarının bağıl konum belirleme etkisi ve Galileo uydu sisteminin bağıl konum belirleme katkısı araştırılmıştır. Bu amaçla 6 adet IGS-MGEX istasyonundan oluşan bir jeodezik ağ oluşturulmuştur. Şekil 2'de seçilen istasyonların konumları, Tablo 1'de ise istasyonlara ait genel bilgiler verilmiştir.



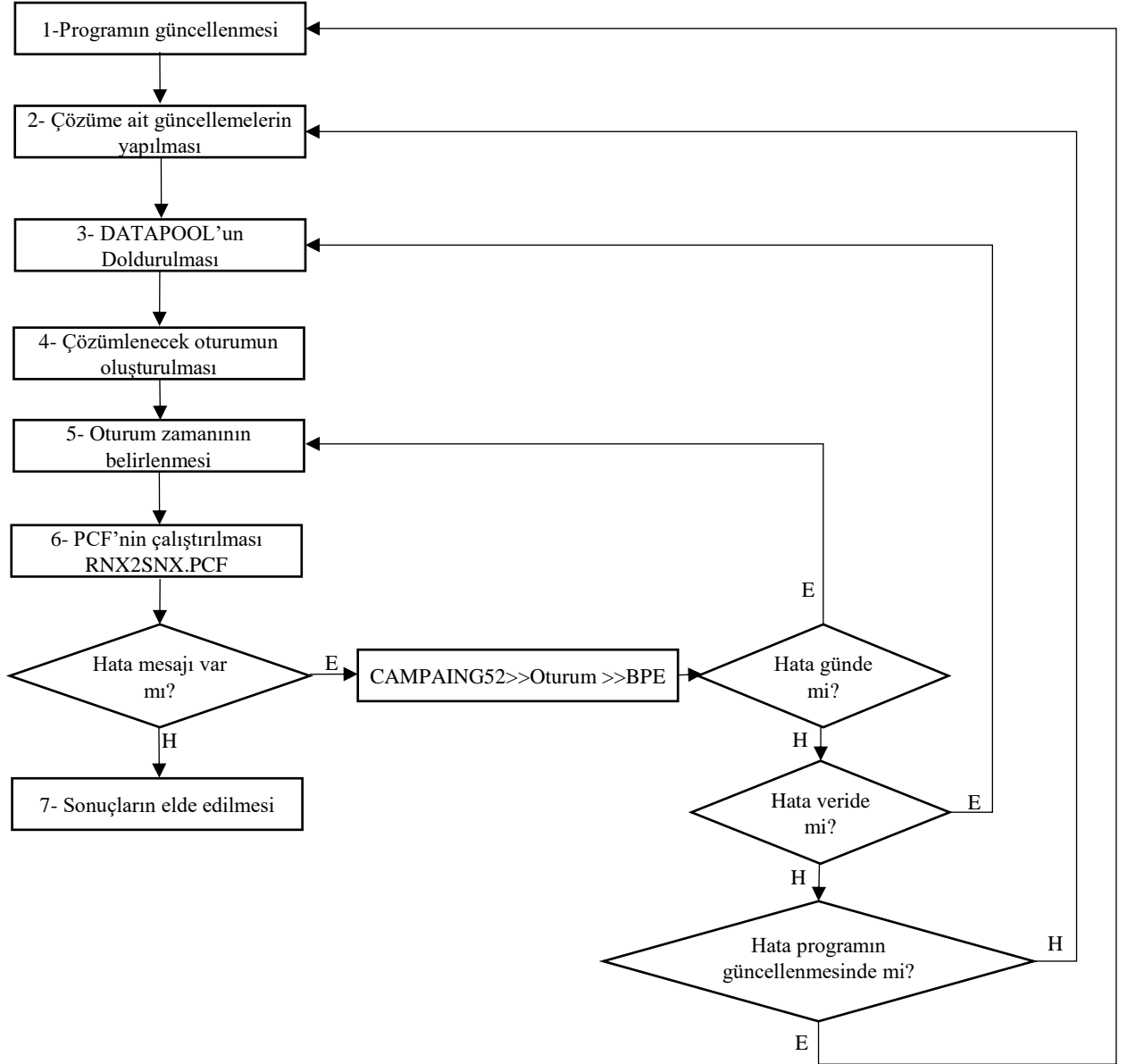
Şekil 2. Kullanılan IGS istasyonları

Seçilen istasyonlara ait 31 günlük (2017 yılının 213-243 günleri) 24 saatlik RINEX verileri ilgili web sayfasından indirilmiştir. Her bir güne ait RINEX verileri Bernese v5.2 GNSS yazılımı kullanılarak ikili farklar

yöntemi ile (RNX2SNX.PCF) GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) ve GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) kombinasyonunda çözümlenmiştir (Şekil 3).

Tablo 1. Seçilen istasyonlara ait genel bilgiler

İstasyon	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)	Alıcı	Anten
GANP	49.035	20.323	746.00	TRIMBLE NETR8	TRM55971.00 NONE
MATE	40.649	16.704	535.60	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG NONE
TLSE	43.561	1.481	207.18	TRIMBLE NETR5	TRM59800.00 NONE
WTZR	49.144	12.879	666.00	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAR25.R3 LEIT
ZIM2	49.887	7.465	956.50	TRIMBLE NETR5	TRM59800.00 NONE
ZIMM	46.877	7.465	956.40	TRIMBLE NETRS	TRM29659.00 NONE



Şekil 3. RNX2SNX.PCF iş akış şeması

Gerçekleştirilen tüm çözümlerde iyonosferik model olarak Klobouchar, troposferik model olarak Saastamoinen kullanılmıştır. Çözümlerde uygulama açısından farklı etkilerin önüne geçebilmek amacıyla her seferinde aynı yaklaşımlar kullanılmıştır. Tüm çözümlerde uydu yükseklik açısı 10° ve veri kayıt aralığı ise 30 saniye olarak alınmıştır.

Çözümler gerçekleştirildikten sonra karşılaştırmalarda gerçek değer olarak ölçü epoğuna kaydırılmış ITRF2014 koordinatları gerçek değer olarak alınmıştır. Kullanılan istasyonlara ait referans epoğu koordinatları ve hızları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan istasyonlara ait referans epoğu koordinat ve hızları

İstasyon	X (m)	Y (m)	Z (m)	V_X (m)	V_Y (m)	V_Z (m)
GANP 11515M001	3929181.43121	1455236.81192	4793653.94520	-0.01724	0.01563	0.00874
MATE 12734M008	4641949.46346	1393045.51575	4133287.53870	-0.01846	0.01895	0.01479
TLSE 10003M009	4627851.76384	119640.10821	4372993.60383	-0.01148	0.01933	0.01202
WTZR 14201M010	4075580.46294	931853.88145	4801568.17344	-0.01629	0.01714	0.00986
ZIM2 14001M008	4331299.80372	567537.41105	4633133.77012	-0.01393	0.01810	0.01168
ZIMM 14001M004	4331296.99513	567555.96734	4633133.99316	-0.01393	0.01809	0.01169

Her bir uydu konfigürasyonu için koordinat farkları;

$$\begin{aligned}\varepsilon_X &= X_U - X_g \\ \varepsilon_Y &= Y_U - Y_g \\ \varepsilon_Z &= Z_U - Z_g\end{aligned}\quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; alt indis u; uydu konfigürasyonunu, X_g, Y_g, Z_g ise gerçek değerleri göstermektedir. Tablo 3, Tablo-4 ve Tablo-5'te maksimum mutlak hatalar her bir uydu konfigürasyonu için verilmiştir. Farklar hesaplandıktan sonra koordinat eksenini yönündeki karesel ortalama hatalar(KOH);

$$\begin{aligned}m_{X_u} &= \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_X \varepsilon_X]}{n}} \\ m_{Y_u} &= \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_Y \varepsilon_Y]}{n}} \\ m_{Z_u} &= \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_Z \varepsilon_Z]}{n}}\end{aligned}\quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmış ve Tablo 3, Tablo-4 ve Tablo-5'te gösterilmiştir. Eşitlikte; alt indis u uydu konfigürasyonunu göstermektedir.

Tablo 3. X koordinat bileşeni için maksimum mutlak farklar ve KOH'lar

İstasyon	Maksimum mutlak hatalar (cm)			KOH (cm)		
	G	G+R	G+R+E	G	G+R	G+R+E
GANP	1.82	1.55	1.64	±1.07	±1.03	±1.10
MATE	0.94	0.74	0.85	±0.30	±0.33	±0.39
TLSE	0.82	0.87	1.06	±0.42	±0.47	±0.51
WTZR	0.59	0.64	0.72	±0.26	±0.24	±0.25
ZIM2	0.80	0.65	0.63	±0.32	±0.25	±0.24
ZIMM	0.81	0.67	0.64	±0.36	±0.32	±0.29

Tablo 3 incelendiğinde, maksimum mutlak fark 1.82 cm ile GANP istasyonunda sadece G uydusu için elde edildiği görülmektedir. KOH'lar incelendiğinde ise, maksimum KOH'un ±1.10 cm ile GANP istasyonu

G+R+E uydu konfigürasyonunda elde edildiği belirlenmiştir. Genel olarak Tablo 3 incelendiğinde, X koordinat bileşeni için en iyi KOH'lar G+R uydu konfigürasyonunda hesaplanmıştır.

Tablo 4. Y koordinat bileşeni için maksimum mutlak farklar ve KOH'lar

	Maksimum mutlak hatalar (cm)			KOH (cm)		
	G	G+R	G+R+E	G	G+R	G+R+E
GANP	0.23	0.28	0.24	±0.15	±0.13	±0.12
MATE	2.73	0.53	0.54	±0.63	±0.40	±0.38
TLSE	0.40	0.37	0.41	±0.22	±0.20	±0.22
WTZR	0.31	0.28	0.28	±0.17	±0.16	±0.16
ZIM2	0.32	0.29	0.32	±0.19	±0.17	±0.19
ZIMM	0.49	0.47	0.51	±0.31	±0.31	±0.31

Tablo 4 incelendiğinde, maksimum mutlak fark 2.73 cm ile MATE istasyonunda sadece G uydusu için elde edildiği görülmektedir. KOH'lar incelendiğinde ise, maksimum KOH ±0.63 cm ile MATE istasyonunda G

uydu konfigürasyonunda hesaplanmıştır. Genel olarak Tablo 4 incelendiğinde, Y koordinat bileşeni için hesaplanan KOH'ların her 3 uydu konfigürasyonu içinde benzer olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Z koordinat bileşeni için maksimum mutlak farklar ve KOH'lar (Birim : cm)

	Maksimum mutlak hatalar (cm)			KOH (cm)		
	G	G+R	G+R+E	G	G+R	G+R+E
GANP	1.97	1.75	1.71	±1.12	±1.13	±1.17
MATE	1.23	1.09	1.26	±0.70	±0.71	±0.80
TLSE	0.66	0.69	0.78	±0.27	±0.31	±0.32
WTZR	0.67	0.78	0.79	±0.32	±0.36	±0.38
ZIM2	0.77	0.62	0.58	±0.23	±0.20	±0.19
ZIMM	1.00	0.88	0.81	±0.43	±0.40	±0.37

Tablo 5 incelendiğinde, maksimum mutlak fark 1.97 cm ile GANP istasyonunda sadece G uydusu için elde edildiği görülmektedir. KOH'lar incelendiğinde ise, maksimum KOH ±1.17 cm ile GANP istasyonunda G+R+E uydu konfigürasyonunda belirlenmiştir. Genel olarak Tablo 5 incelendiğinde, Z koordinat bileşeni için hesaplanan KOH'ların G ve G+R uydu konfigürasyonunda benzer olduğu, G+R+E uydu konfigürasyonunda bunları takip ettiği belirlenmiştir.

Koordinat eksenleri yönünde hesaplanan KOH'ların birbirleri ile uyumlu olup olmadığının araştırılmasında, normal dağılımdaki iki popülasyonun varyanslarının istatistiksel olarak eşit olup olmadığını

belirlemek için kullanılan F-test'den yararlanılmıştır. F-test'in kullanımında test değeri;

$$F_{test} = \frac{m_i^2}{m_j^2} \quad (3)$$

eşitliği ile elde edilmiştir. Eşitlikte m_i , m_j koordinat eksenleri yönündeki karesel ortalama hataları ifade etmektedir. Eşitliğin kullanımında dikkat edilen en önemli husus büyük olan koh'un paya yazılmasıdır. Ayrıca F_{tablo} değeri $F_{f_1, f_2, 1-\alpha} = F_{31, 31, 0.95} = 1.822$ olarak alınmıştır. Her bir koordinat eksen yönündeki karşılaştırma Tablo 6, Tablo-7 ve Tablo-8'de verilmiştir.

Tablo 6. X koordinat bileşeni için F-test değerleri

İstasyon	G ile G+R	G ile G+R+E	G+R ile G+R+E
GANP	1.074	1.054	1.133
MATE	1.203	1.605	1.334
TLSE	1.251	1.461	1.168
WTZR	1.173	1.092	1.074
ZIM2	1.648	1.834*	1.113
ZIMM	1.245	1.521	1.221
* anlamlı farklar			

Tablo 6 incelendiğinde, sadece ZIM2 istasyonunda G ile G+R+E uydu konfigürasyonları arasında anlamlı bir fark olduğu diğer tüm istasyonlar ve uydu

konfigürasyonlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Y koordinat bileşeni için F-test değerleri

İstasyon	G ile G+R	G ile G+R+E	G+R ile G+R+E
GANP	1.193	1.582	1.326
MATE	2.504*	2.702*	1.079
TLSE	1.110	1.012	1.123
WTZR	1.149	1.130	1.016
ZIM2	1.212	1.033	1.173
ZIMM	1.004	1.034	1.038
* anlamlı farklar			

Tablo 7 incelendiğinde, MATE istasyonu için G ile G+R ve G ile G+R+E uydu konfigürasyonları arasında anlamlı bir fark olduğu diğer tüm istasyonlar ve uydu konfigürasyonlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 8 incelendiğinde, tüm istasyonlar ve uydu konfigürasyonlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Her üç uydu konfigürasyonu için konum doğrulukları;

$$m_{du} = \pm \sqrt{m_{x_u}^2 + m_{y_u}^2 + m_{z_u}^2} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte alt indis u sırasıyla G, G+R, G+R+E uydu konfigürasyonlarını, m_X, m_Y, m_Z ise sırasıyla X, Y ve Z koordinat bileşenleri yönünde elde

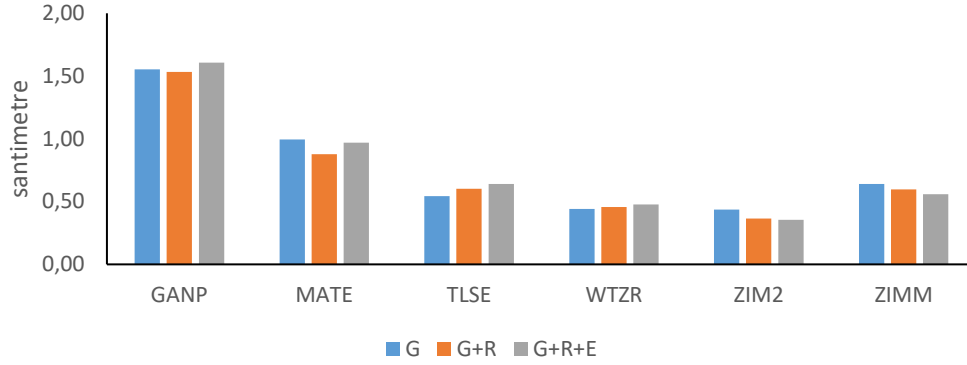
edilen KOH'ları göstermektedir. Elde edilen konum doğrulukları Şekil 4' de gösterilmiştir.

Tablo 8. Z koordinat bileşeni için F-test değerleri

İstasyon	G ile G+R	G ile G+R+E	G+R ile G+R+E
GANP	1.016	1.090	1.073
MATE	1.006	1.294	1.287
TLSE	1.395	1.434	1.028
WTZR	1.273	1.419	1.115
ZIM2	1.284	1.468	1.143
ZIMM	1.186	1.401	1.181
* anlamlı farklar			

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte alt indis u sırasıyla G, G+R, G+R+E uydu konfigürasyonlarını, m_X, m_Y, m_Z ise sırasıyla X, Y ve Z koordinat bileşenleri yönünde elde

edilen KOH'ları göstermektedir. Elde edilen konum doğrulukları Şekil 4' de gösterilmiştir



Şekil 4. Her bir istasyona ait konum doğrulukları

Şekil 2 incelendiğinde, her bir istasyon için hesaplanan konum doğrulukları görülmektedir. Hesaplanan konum doğruluklarına göre en iyi konum doğruluğu genellikle G+R uydu konfigürasyonunda hesaplandığı belirlenmiştir.

Karşılaştırma sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

Her uydu konfigürasyonu ve istasyonlar için elde edilen konum doğrulukları da F-test ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada eşitlik (2)'den yararlanılmıştır. Tablo değeri de $F_{f_1, f_2, 1-\alpha} = F_{31, 31, 0.95} = 1.822$ olarak alınmıştır.

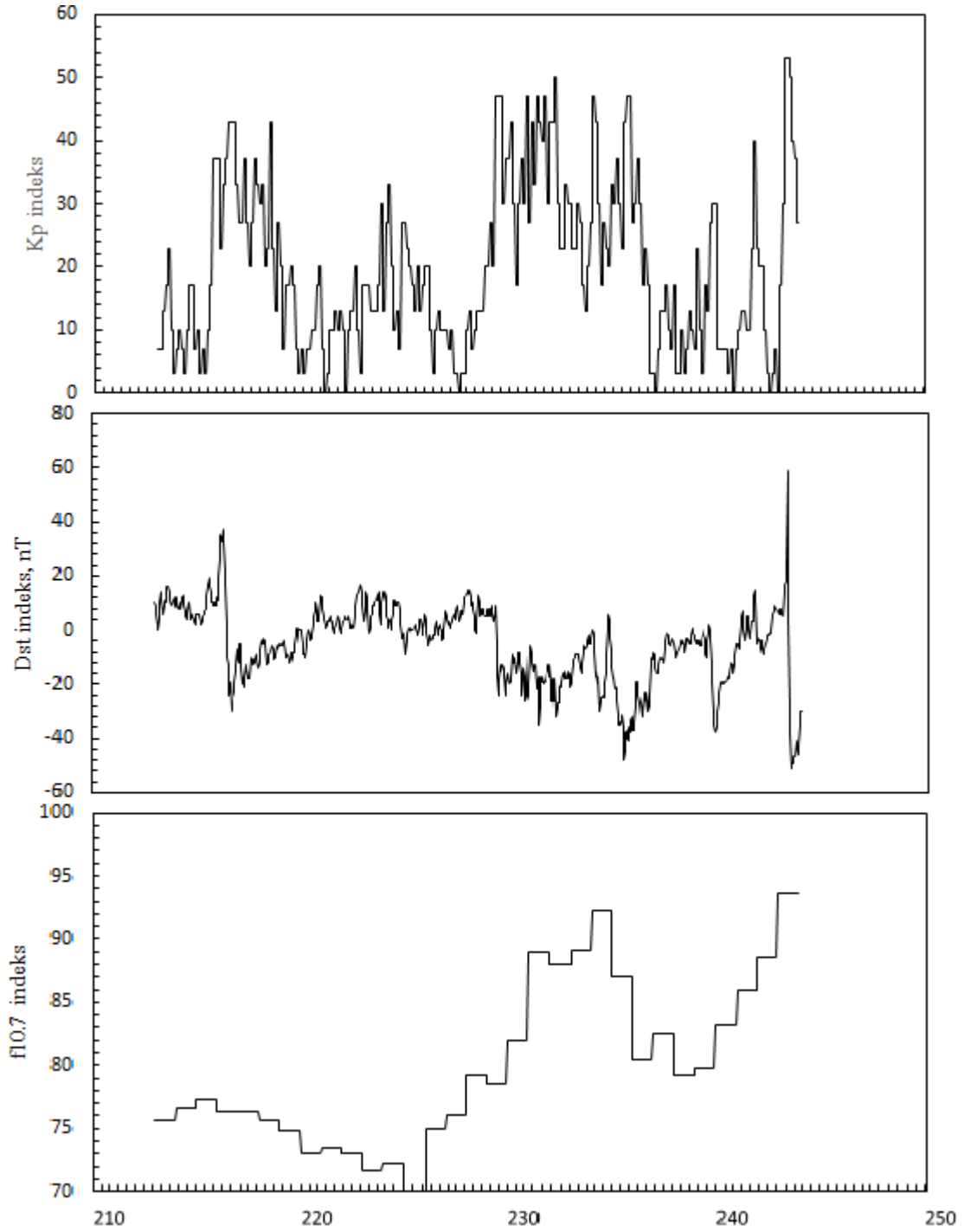
Tablo 9. Her bir uydu konfigürasyonu ve istasyon için konum doğruluklarının karşılaştırılması

İstasyon	G ile G+R	G ile G+R+E	G+R ile G+R+E
GANP	1.027	1.069	1.098
MATE	1.283	1.053	1.219
TLSE	1.230	1.384	1.125
WTZR	1.073	1.172	1.092
ZIM2	1.438	1.506	1.048
ZIMM	1.151	1.322	1.149
* anlamlı farklar			

Tablo 9 incelendiğinde, tüm uydu konfigürasyonu ve istasyonlar için hesaplanan konum doğruluklarının birbirleri ile uyumlu olduğu ve birbirlerinin yerine kullanılabilmesi görülmektedir.

Tüm bu karşılaştırmadan sonra GNSS ile hesaplanan konum doğruluklarını etkileyen jeomagnetik aktivite değerleri de incelenmiş ve seçilen günlerde herhangi bir aktivitenin olup olmadığı araştırılmıştır. Seçilen günlere ilişkin jeomagnetik aktivite indisleri

<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> web sayfasından indirilmiş ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, K_p indeksinin maksimum 5+ seviyelerine çıktığı, Dst indeksinin en düşük -50 nT seviyesine indiği ve $F10.7$ indeksinin ise 70 sfu ile 93.6 sfu arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerlere göre seçilen günlerde herhangi bir önemli jeomagnetik aktivitenin meydana gelmediği, yani GNSS ölçülerini sadece seçilen uydu konfigürasyonlarının etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 5. Seçilen günlere ilişkin jeomagnetik aktivite değerleri

4 Sonuçlar

Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda, gerçek değerler ve farklı uydu konfigürasyonlarına ait maksimum mutlak farkları içeren Tablo 3, Tablo-4 ve Tablo-5 incelendiğinde, maksimum mutlak farkların her üç koordinat bileşeni içinde sadece GPS (G) uydu konfigürasyonunda elde edildiği görülmektedir. Bu durumda maksimum koordinat farkların iyileşmesinde GLONASS (R) ve Galileo (E) uydu konfigürasyonunun katkısı ortaya çıktığı görülmektedir. Ancak KOH'lar incelendiğinde ise, her üç uydu konfigürasyonunun içeren GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) uydu konfigürasyon için her zaman en iyi KOH'ların elde edilemediği görülmektedir. Bu durumda, Galileo (E) uydu

konfigürasyonun her zaman KOH'ları iyileştirmede irtaya koymaktadır.

Koordinat eksenleri yönünde hesaplanan KOH'ların istatistiksel olarak karşılaştırılmasında ise genellikle her üç koordinat eksenini ve her üç uydu konfigürasyonu için hesaplanan KOH'ların birbirleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Her bir uydu konfigürasyonu ve her bir nokta için hesaplanan konum doğruluklarının incelenmesinde ise farklı uydu konfigürasyonlarının ise konum doğruluklarını çok fazla etkilemediği görülmektedir.

Tüm bu analizlerden sonra, GNSS ölçü sonuçlarının olumsuz olarak etkileyen jeomagnetik aktivite değerleri de incelenmiştir. Şekil 5 incelendiğinde çalışma günlerinde nokta koordinatlarını olumsuz olarak

etkileyebilecek herhangi bir önemli bir jeomanyetik aktiviteye rastlanmadığı görülmektedir. Bu durumda elde edilen nokta koordinat ve konum doğruluklarını sadece seçilen uydu konfigürasyonunun etkilediğini göstermektedir.

Yapılan çalışmanın sonucunda ise, uzun ölçü süresinde (24 saat) farklı uydu konfigürasyonlarının konum doğrulukları üzerinde önemli derecede bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu öngörü Tablo 8’de gerçekleştirilen istatistiksel karşılaştırma ile ortaya konulmuştur. Yine bu çalışmanın sonucu olarak, GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) ve GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) uydu konfigürasyonu ile elde edilen konum doğrulukları birbirleri ile uyumlu, aralarındaki farkların ise rastlantısal olduğu söylenebilir. Tüm bunlar neticesinde, Gerçekleştirilen bu çalışmanın sonucunda, GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) ve GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) uydu konfigürasyonlarının birbirlerinin yerlerine kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Duan, B., & Hugentobler, U. (2021). Enhanced solar radiation pressure model for GPS satellites considering various physical effects. *GPS Solutions*, 25(2), 1-14.
- [2] Johnston, G., Riddell, A., & Hausler, G. (2017). The international GNSS service. In *Springer handbook of global navigation satellite systems* (pp. 967-982). Springer, Cham.
- [3] Xie, W., Huang, G., Wang, L., Li, P., Cui, B., Wang, H., & Cao, Y. (2021). Long-term performance detection and evaluation of GLONASS onboard satellite clocks. *Measurement*, 175, 109091.
- [4] Strugarek, D., Sośnica, K., Arnold, D., Jäggi, A., Zajdel, R., & Bury, G. (2021). Determination of SLR station coordinates based on LEO, LARES, LAGEOS, and Galileo satellites. *Earth, Planets and Space*, 73(1), 1-21.
- [5] Montenbruck, O., Steigenberger, P., Khachikyan, R., Weber, G., Langley, R., Mervart, L., & Hugentobler, U. (2014). IGS-MGEX: preparing the ground for multi-constellation GNSS science. *Inside Gnss*, 9(1), 42-49.
- [6] Ogutcu, S. (2020). Assessing the contribution of Galileo to GPS+ GLONASS PPP: Towards full operational capability. *Measurement*, 151, 107143.
- [7] Sośnica, K., Prange, L., Kaźmierski, K., Bury, G., Drożdżewski, M., Zajdel, R., & Hadas, T. (2018). Validation of Galileo orbits using SLR with a focus on satellites launched into incorrect orbital planes. *Journal of geodesy*, 92(2), 131-148.
- [8] Yalvac, S. (2021). Investigating the historical development of accuracy and precision of Galileo by means of relative GNSS analysis technique. *Earth Science Informatics*, 14(1), 193-200.
- [9] Chen, J., Zhao, X., Liu, C., Zhu, S., Liu, Z., & Yue, D. (2021). Evaluating the Latest Performance of Precise Point Positioning in Multi-GNSS/RNSS: GPS, GLONASS, BDS, Galileo and QZSS. *The Journal of Navigation*, 74(1), 247-267.
- [10] Deng, Y., Guo, F., Ren, X., Ma, F., & Zhang, X. (2021). Estimation and analysis of multi-GNSS observable-specific code biases. *GPS Solutions*, 25(3), 1-13.
- [11] bin Wu, Y., Liu, Y., Yi, W., & bin Ge, H. (2021). Impact of elevation mask on multi-GNSS precise point positioning performance. *Earth Science Informatics*, 1-10.
- [12] Du, Z., Chai, H., Xiao, G., Yin, X., Wang, M., & Xiang, M. (2021). Analyzing the contributions of multi-GNSS and INS to the PPP-AR outage re-fixing. *GPS Solutions*, 25(2), 1-12.
- [13] Paziewski, J., Fortunato, M., Mazzoni, A., & Odolinski, R. (2021). An analysis of multi-GNSS observations tracked by recent Android smartphones and smartphone-only relative positioning results. *Measurement*, 175, 109162.
- [14] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). GNSS—global navigation satellite systems: *GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
- [15] Tiryakioğlu, İ. (2005). *GPS Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması*. (Master’s dissertation, Afyon Kocatepe University).
- [16] Bilgen, B., (2017). GNSS Tekniği İle Yatay Yöndeki Deformasyonların Araştırılması. (Master’s dissertation, Selçuk University).



ANOMALY DETECTION FROM TRAFFIC VIDEO ANALYSIS DATA AND CLASSIFICATION WITH DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM EXTREME LEARNING MACHINE

Derya Avcı^{*1} , Yasin Sönmez² 

¹Technical Vocational School, Fırat University, 23119 Elazığ, Turkey.

²Technical Vocational School, Batman University, 72100 Batman, Turkey

Abstract

Original scientific paper

The process of obtaining meaningful and interpretable information about the object by detecting and tracking moving objects in videos obtained by cameras can be defined as video analysis. The analysis of highway traffic flow videos can be expressed as a detection and warning system of the behavior (anomaly) of moving objects (vehicle and pedestrian) outside the rules determined for the road followed. In this study, the anomaly behaviors of moving objects in highway traffic flow videos have been determined and the data has been classified by machine learning methods. The study consists of three stages. In the first stage, Gaussian Mixing Model, one of the background / foreground segmentation methods, and Kalman Filter-Macac Algorithm methods have been used to track the object on video. In the second step, location, time, velocity and shape data have been obtained by using the coordinate information of the detected object. With the unique algorithm-based feature extraction software, a table of properties including anomaly conditions for objects has been created. In the last stage, the data in the feature table; Classification of the Extreme Learning Machine method has been made with the Differential Evolution Algorithm - Extreme Learning Machine method developed by optimizing the number of neurons in the hidden layer and activation functions with the Differential Evolution Algorithm. The results obtained with the developed method have been compared with the results of other machine learning methods (Naive Bayes, Support Vector Machine and Artificial Neural Network) and the performance was the highest with 100%.

Keywords: Intelligent traffic monitoring system, anomaly detection, differential evolution algorithm, optimization, extreme learning machine, classification.

TRAFİK VİDEO ANALİZ VERİLERİNDEN ANOMALİ TESPİT VE DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI UÇ ÖĞRENME MAKİNESİ İLE SINIFLANDIRMA

Özet

Orijinal bilimsel makale

Kameralar ile elde edilen videolarda hareketli nesne tespit ve takibi ile nesne hakkında anlamlı ve yorumlanabilir bilgi elde edilmesi süreci, video analizi olarak tanımlanabilir. Karayolu trafik akış videolarının analizi ise hareket eden nesnelerin (taşıt ve yaya) izlenen yol için belirlenen kurallar dışında davranış sergilemeleri (anomali) durumunun tespit ve uyarı sistemi olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada karayolu trafik akış videolarında hareket eden nesnelerin anomali davranışlarını tespit ederek verileri makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırması yapılmıştır. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada hareketli nesnenin tespiti için arka/ön plan bölütleme yöntemlerinden Gauss Karışım Modeli ve nesnenin videoda takibi yapılabilmesi için Kalman Filtre-Macac Algoritması yöntemleri kullanılmıştır. İkinci aşamada tespit edilen nesneye ait koordinat bilgilerini kullanarak konum, süre, hız ve şekil verileri elde edilmiştir. Hazırlanan özgün algoritmaya dayalı özellik çıkarma yazılımı ile nesneler için anomali durumlarını içeren özellikler tablosu oluşturulmuştur. Son aşamada ise özellik tablosundaki veriler; Uç Öğrenme Makine yönteminin, gizli katmandaki nöron sayıları ve aktivasyon fonksiyonları Diferansiyel Gelişim Algoritması ile optimize edilerek geliştirilen Diferansiyel Gelişim Algoritması- Uç Öğrenme Makine yöntemi ile sınıflandırma yapılmıştır. Geliştirilen yöntem ile elde edilen sonuçlar diğer makine öğrenme yöntem (Naive Bayes, Destek Vektör Makinesi ve Yapay Sinir Ağı) sonuçları ile karşılaştırılmış ve başarımları %100 ile en yüksek çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı trafik izleme sistemi, anomali durum tespit, diferansiyel gelişim algoritması optimizasyon, uç öğrenme makinesi, sınıflandırma.

* Corresponding author.

E-mail address: davci@firat.edu.tr (D. Avcı)

Received 20 March 2021; Received in revised form 14 May 2021; Accepted 24 August 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.900251>

1 Giriş

Askeri ve yerleşim yeri güvenliği, kişi ya da araç hareketlerini sürekli izleme ve raporlama önceden tanımlanmış olayların tespiti gibi uygulamaların insan gözlem tabanlı sistemler ile yapılmasının çeşitli dezavantajları vardır. Günümüzde bu işlem, çoğunlukla birkaç ekran karşısında oturan güvenlik personeli ile yapılmaya çalışılmaktadır. Kapalı devre izleme merkezlerinde yapılan testlerde; iki veya daha fazla monitörün, 12 dakika sürekli döngü halinde izlenmesi durumunda güvenlik personelinin ekranda olan aktivitelerin %45' ini kaçırdığı, 22 dakika sonra ise aktivite tespit başarımının sadece %5 ile sınırlı olduğu ölçülmüştür. Bu bağlamda insan gözüyle video izleme içeriği hakkında karar vermenin imkânsız olduğu sistemleri bilgisayar ile otomatik duruma getirmek teknolojik olarak bir gerekliliktir. Zira askeri uygulamalar, kent güvenliği, trafik akış düzenleme, tıbbi görüntülerin yorumlanması ve robotik vb. gibi birçok uygulama alanında otomatik çalışan akıllı video analizi sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü otomatik sistemler ile ardışık imge dizileri üzerinde değerlendirmelerin yapılması görsel değerlendirmede insan faktörlü hata payını azaltmakta, bunun yerine bilgisayar kontrolünü ve verinin doğruluğunu artırmaktadır [1]. Akıllı video gözetim sistemlerinde nesne tespit önemli bir görevdir. Bu işlem videoda hareketli nesnenin şekil bilgilerini içerir [2]. Nesne izleme ardışık video karelerinde hareketli nesnelere bulma sürecidir. Hareket analizi algoritmaları genel olarak hareketin varlığının tespiti, hareketli nesnenin yörüngesinin tahmini ile izlenmesi ve son olarak da hareketin tanımlanması kısımlarından oluşmaktadır. Analizin başarısını belirleyen en önemli faktör, ilk kısım olan hareketin varlığının tespitidir. Bu aşamanın doğru ve etkili bir şekilde yapılması, sonraki aşamaların verimini doğrudan etkilemektedir. Gerçek zamanlı videolarda nesne izleme zorlu bir süreç olup bilgisayarlı görme konusudur. Hareketli nesne takibindeki zorluklar nesneden nesneye hareket, hareketli arka plan ve kameranın hareketi olarak gösterilebilir. İzleme, genellikle her video karesinde nesnenin şekil veya konum bilgisine ihtiyaç duyan yüksek seviyeli uygulamalar ile gerçekleştirilen bir işlemdir [3-5]. Genel bir yaklaşım ile güçlü bir arka plan çıkarma yönteminin başarımını etkileyen birkaç ölçüt vardır. İlk olarak, aydınlatma değişikliklerine karşı dayanıklı olmalıdır. İkincisi, durağan olmayan arka plan, sallanan yapraklar, yağmur ve kar gibi hareket belirten zorlu ortam ve doğa olaylarına karşı arka planın güncellenmesi ile efektif olmalıdır. Son olarak tespit edilmesi gereken nesnelere değişimlerine anında tepki verebilmelidir [6, 7]. Video gözetim sistemi zaman, işlemci ve bellek kullanımı gibi ölçütler açısından da basit olmalıdır. Dolayısıyla böyle sistemlerin gömülü işlemciler üzerinde gerçekleştirilmeleri hızlı işlem yapabilmesi açısından önemlidir. Otomatik çalışabilecek bir video gözetim sisteminde problem sadece yukarıda anlatıldığı gibi hareketli nesne tespit ve takip yöntemleri ile ilgili değildir. Tespit ve takibin yanında nesnelere ait büyük miktarlardaki verinin kullanılarak nesnenin özelliklerine göre sınıflandırılması ve şu anki veya geçmişteki verileri kullanarak şimdi veya gelecek için

tahminlerde bulunmak da ayrı bir problemdir. Çözüm için makine öğrenmesi yöntemleri kullanılabilir. Makine öğrenmesi verilen bir problemi, probleme ait veriye göre modelleyen bilgisayar algoritmalarının genel adıdır. Önerilmiş birçok yaklaşım ve algoritma mevcuttur. Bu yaklaşımların bir kısmı sınıflandırma bir kısmı da tahmin ve kestirim yapabilme yeteneğine sahiptir [8]. Bu makalenin organizasyonu şu şekildedir: Bölüm 2'de, Trafik Videolarının Analizinin Önemi ve Anomali Kavramı hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3'te, çalışmada kullanılan Materyal ve Metot tanımlanmaktadır. Bölüm 4'te deneysel sonuçlar verilmiştir. Son olarak, Bölüm 5'te Tartışma ve Öneriler verilmiştir.

2 Trafik Videolarının Analizinin Önemi ve Anomali Kavramı

İnsan gözetlemesine dayalı klasik video izleme yöntemleri ile şehirlerarası ve kent içi karayolu trafik gözetim sistemleri anlık değerlendirme, sürekli bilgi güncellemesi, yüksek miktarda veri ve manuel uyarı gibi nedenlerden dolayı yetersiz kalmaktadır [9, 10]. Günümüz teknolojisinde otomatik çalışan sistemler ile trafik video görüntülerinden anlamlı ve yorumlanabilir veriler elde etme yeteneği; gelişen donanım yapısı ve yazılım sistemleri ile daha kolay ve efektif bir seviyeye ulaşmıştır [9, 11]. Bu gelişim ile şehirlerarası ve kent içi karayolu trafiğinde, gözetlemenin klasik teknikler yerine ileri teknoloji gözetleme sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu ileri teknolojik tekniklerin önemli bir bölümü yapay zekâ yöntemleri ile çalışan otomatik sistemlerden oluşturulmuştur. Karayolu trafik akış gözetim görüntülerinin analizi; çeşitli görüntüleme ve kayıt aygıt donanımlarından aktarılan video akışlarındaki hareketli nesne tespit ve takibi ile kural dışı davranış olarak nitelendirilen anomalinin sınıflandırılması ve gelecek durum tahmini olarak tanımlanabilir. Trafik akışının otomatik izlenebilmesini sağlayan donanım ve yazılımdan oluşan sistemler bize değerlendirilebilir ve yorumlanabilir bilgiler sunmaktadır. Bu bilgiler ile trafik akışının güvenliğinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu bilgilerin bilgisayar destekli otomatik sistemler tarafından yapılması değerlendirmede insan faktörlü hata payını azaltıp bilgisayar kontrolünü ve verinin doğruluğunu artırmaktadır. Otomatik çalışan sistemler güvenlik amacıyla gözetlenen karayolu trafiğinde başarımı yüksek uyarı sistemlerini sunmaktadır. Trafik videolarında anomali tespiti incelenen verilerde izlenen yol için belirlenen kurallara uymayan veya aykırı davranan nesnelere tespit olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre anomali literatürde "olağandışı", "anormal", "aykırı", "uyumsuz", "istisna" veya "tuhaf" gibi kelimeler ile ifade edilebilmektedir. Anomali durumunun tespiti için videonun analiz verilerinden çıkarımlar yapılarak ilgili anomali durum değerlendirilmesi yapılır. Bu değerlendirme izlenen bir trafik akış videosunda yol şeridinde ters giden(hareket yönü), yol için belirlenen hız limitini(hızı aşan) aşan veya yolda konumu durağan olan araçların davranışları anomaliye örnek gösterilebilir [12-18].

Bu çalışmanın temel amacı, karayolu trafik akış videolarında hareket eden nesnelere anomali davranışlarını(aracı anomalileri hareket yönü, yerdeğiştirme, konum ve hız) tespit ederek verileri

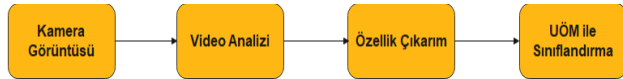
makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırma yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda trafik video analizi için otomatik çalışan sistem problemlerine etkili ve kullanılabilir çözümler sunabilmektir. Bu temel amaç ile aşağıda belirtilen özel ve somut amaçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışmanın özellikleri ve yenilikleri aşağıda verilmiştir.

- 1.Hareketli nesne tespitindeki zorlu ortam koşullarından (yağmur, kar, sis düşük ışık vb.) en az etkilenen en uygun ve efektif yöntemin geliştirilmesini sağlamaktır.
- 2.Hareketli nesnelerin takibi esnasında karşılaşılan en önemli zorluklardan olan çoklu nesne izleme problemlerine karşı kullanılacak en uygun ve efektif yöntemin geliştirilmesini sağlamaktır.
- 3.Video analizi ile tespit ve takibi yapılan hareketli nesnelerin gerekli giriş ve çıkış değer verileri oluşturulduktan sonra bu verilere göre sınıflandırılması ile gelecekteki durum tahminleri için Uç Öğrenme Makinesi (UÖM) sınıflandırma yöntemini kullanarak başarımlarını ortaya koymaktır.
- 4.Uç Öğrenme Makinesi yönteminin aktivasyon fonksiyonu ve gizli katmandaki hücre sayılarını Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) optimizasyon tekniği ile en uygun parametrelerin seçilerek UÖM yönteminin daha iyi sonuç verebilmesini sağlamaktır.

3 Materyal ve Metot

Bu çalışmada incelenen probleme ilişkin önerilen üç aşamalı yöntemde kullanılan materyaller bu bölümde incelenmiştir. Bu aşamalardan birincisinde video analizinde arka/ön plan bölütleme ve nesne yörünge tahmin-atama yöntemleri; ikincisinde analiz verilerinden anomali tespiti için özellik çıkarma; üçüncü aşamada ise anomali sınıflandırma için UÖM yöntemi anlatılmıştır. Aşağıda Şekil 1’de önerilen yöntemle ilişkin blok diyagram verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yöntemin blok diyagramı

3.1 Video Analizi

Video; imgelerin saniyede 30 adet olacak şekilde arka arkaya sunulması ile insan gözünde bu imgelerdeki nesnelerin hareketliymiş izlenimi yaratması mantığına dayanan ardışık imge dizisi olarak tanımlanır [20-22]. Video analizi ise görüntüleme donanımları ile elde edilen verilerin çeşitli görüntü işleme teknikleri kullanarak anlamlı ve yorumlanabilir bilgi elde edilmesi olarak tanımlanabilir [20, 22]. Video analizindeki amaç görüntüler üzerindeki değerlendirmelerde bilgisayar kontrolünü ve verinin doğruluğunu artırarak insan faktörlü hata payını azaltmaktır. Bu amaçla görüntülerde hareketli nesnelerin tespit ve takip edilmesi video analizi başlığı altında incelenmesi gereken iki konudur. Hareket tespiti ve analizi konusunda yapılmış çok sayıda farklı uygulamalar vardır. Hassas güvenli ortamlardaki hareketli nesne aktivitelerinin otomatik olarak yorumlanabilmesi, nesne algılama ve takip etme yeteneğine sahip görmeye dayalı, sağlam ve güvenilir bir

sistematığın kurulmasıyla sağlanabilir. Dinamik görüntüler ses, olay, yer ve zaman bileşenleri ile tümleşik bir veriyi temsil etmektedir. Bu geniş içeriğin analizinden elde edilecek sonuçların çeşitliliği sayısal imge işlemeye verilen önem ve gösterilen ilgiyi gün geçtikçe arttırmaktadır [3, 20-23].

Videoda analiz hareketin tespitiyle başlar. Hareketli nesne tespiti, nesneye ait bölgenin imgedeki diğer (hareketsiz) bölgelerden ayrıştırılması prensibine dayanır [3, 22]. Hareket verilerine doğru ulaşabilmek ise görüntüdeki ilgilenilen nesnenin şekil ve konum bilgilerinin en az hatayla tespit edilmesini gerektirmektedir. Görüntüde aranan nesnenin doğru ve hatasız bulunması ya da cisim hareketinin hassas tespit edilmesi, cismin gerçek şeklini de ortaya çıkarmaya yöneliktir.

Tekli Gaussian modeli dış mekan sahneleri için iyi bir model olmadığından, arka plan çıkarma için [24] ve [25] tarafından önerilip geliştirilen yöntem piksel renginin belli bir renk uzayındaki ağırlıklı Gauss dağılımlarının ağırlıklı toplamı ile ifade edilir. Modelde piksel yoğunluk fonksiyonunun kendisi genel olarak Gauss olasılık fonksiyonlarının doğrusal bir birleşimi olarak değerlendirilebilir. Bu model, aynı sınıfa ait verilerin normal dağılıma uygun bir şekilde sınıf merkezi etrafında dağıldığını öngörür. Önceden belirlenen sınıf sayısı için, örneklerin en az olasılık dağılım fonksiyonu toplandığı sınıf merkezlerini ve bu merkezlere ait örneklerin standart sapmalarını bulur. Bir pikselin arka plana ya da ön plana ait olduğunu belirleyebilmek için olasılık dağılım fonksiyonunun ilgili pikseli izleyip izlemediğine bakılır. Eğer pikselin değeri arka plan bileşeninin standart sapmasının ölçekleme faktörüyle çarpımından küçük veya eşitse bu piksel arka plan bileşeni; diğer durumda ise ön plan bileşenidir. Yöntemi oluşturan matematiksel bileşenler şöyledir. P(j) j . sınıfın dağılımdaki ağırlığı, başka bir deyişle bu sınıftaki elemanların olasılığını gösterirken K sınıf için Denklem 1’deki bağıntı elde edilir.

$$\sum_{j=1}^K P(j) = 1 \quad (1)$$

X elemanının j. sınıfa ait olma olasılığına P(x|j) denilirse, bu olasılığın Gauss dağılımı Denklem 2’deki gibi olur.

$$P(x|j) = \frac{1}{(2\pi)\sigma_j^2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma_j^2}} \quad (2)$$

Bu eşitlikte, x sınıflandırılacak veri, j aidiyetine bakılan sınıf, μ söz konusu sınıfın ortalaması ve σ ise söz konusu sınıfın varyansını göstermektedir. Bu durumda sınıflandırılmak istenilen bir x parçasının j sınıfına hangi oranda ait olabileceği Denklem 3’teki gibi bulunabilir.

$$P(x|j) = \frac{P(x|j)P(j)}{\sum_j P(x|j)P(j)} \quad (3)$$

O halde bütün x parçalarının söz konusu sınıflara ait olma ihtimali bütün x’ler için Denklem 3’teki olasılıkların toplamıdır. Bu olasılığı en yüksek yapacak sınıf

ortalamalarının ve varyanslarının ne olacağı bulunduğunda sınıflama işlemi yapılmış olur.

O halde bütün x parçacıklarının söz konusu sınıflara ait olma ihtimali bütün x 'ler için Denklem 3'teki olasılıkların toplamıdır. Bu olasılığı en yüksek yapacak sınıf ortalamalarının ve varyanslarının ne olacağı bulunduğunda sınıflama işlemi yapılmış olur.

Hareketli nesne takibi görsel gözetim sistemlerinde tespit edilen nesnelerin izlenmesidir. Her izleme yöntemi, nesne videoda ilk görüldüğü andan itibaren bir tespit mekanizması gerektirir. Bu bölümde amaç hareket eden nesnenin videonun her karesinde yer, yön, hız ve yolunu belirleyerek zamansal olarak değişen yörüngesini oluşturmaktır. Nesneyi tespit etme ve çerçeveler arasındaki nesne örnekleri arasında ilgi kurma görevleri ya ayrı ya da ortak olarak gerçekleştirilebilir. Çerçeveler arası kurulan ilişki ile önceki çerçevelerden elde edilen nesne konumu ve bölge bilgilerini bir sonraki çerçeveye tahmin edilerek aktarılır ve bu durum iteratif olarak güncellenir.

Kalman Filtreleme tahmin teorisinde popüler bir yaklaşımdır. Yöntem temelde Saklı Markov modeline dayanmaktadır. Kalman Filtresi karmaşık bir hatanın ortalamasını en aza indirgeyecek şekilde bir sürecin durumunu tahmin etmek için yinelemeli bir dizi matematik denklemdir. Kalman Filtresi geçmiş, şimdiki ve hatta gelecekteki durumların tahminlerini destekler ve modellenen sistemin doğası bilinmediğinde bile tahmin yapabilen güçlü bir yöntemdir. Kalman Filtresinin yinelemeli bir tahmin aracıdır. Bu durum şöyle açıklanabilir, önceki adımda tahmin edilen durum ile o anki durumun ölçümü bir sonraki durumun tahminini yapılabilmesi için yeterli olmalıdır. Zaman güncellemesi (tahmin) mevcut durumu ilerletmekte ve bir sonraki adımda kullanılmak üzere ön durum tahminini elde etmek için hata kovaryansını güncellemektedir. Ölçüm güncellemesi (düzeltme) ise geri bildirim yapmaktadır [3,4, 18, 21, 26]. Hareketli nesnenin algılanmasından sonra, Kalman Filtre nokta tabanlı izleyici olarak kullanılır. Hareketli nesnenin merkez konumu, tahmin edilecek temel nokta olarak kullanılır. Kalman Filtresinin durum vektörü x , y konumları ve birim zaman aralığı başına x , y yönlerinde yer değiştirmeler olarak tanımlanır. Kalman Filtreleme algoritması ölçüm hatalarına dayalı olarak durum vektörünü tahmin eder. A geçiş matrisidir ve ω tahmin hatası vektörüdür. Durum vektörü ve ölçümler arasında doğrusal bir ilişki olduğunu varsayıyoruz.

$$X_k = (x_c \ y_c \ v_x \ v_y) \quad (4)$$

$$X_k = AX_{k-1} + \omega_{k-1} \quad (5)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

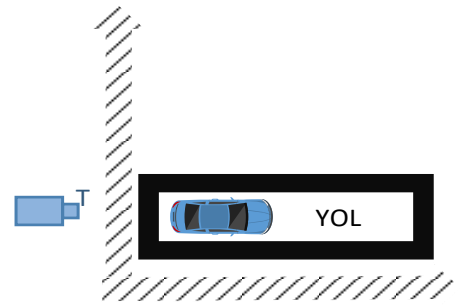
$$Z_k = HX_k + v_k \quad (6)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

burada H , gözlem matrisidir ve v , ölçüm hatasıdır. Geçiş ve gözlem matrisinin bu değerlerini kullanarak, Denklem 4,5,6'da verilen zaman güncelleme ve ölçüm güncelleme denklemleri bir sonraki nesne durumu tahminini verir [23, 27].

3.2 Özellik Çıkarma

Özellik çıkarma video analizinin en önemli aşaması olup, doğru ve başarımlı yüksek sınıflandırma yapabilmek için ilk adımdır. Analiz edilen videodan özellik çıkarmanın üç ana amacı; sınıflama süresini azaltarak sınıflandırıcının başarımlarını artırmak, değerlendirilecek bilgi miktarını en aza indirmek ve sistemin güvenilirliğini sağlamaktır. Birinci aşamanın tamamlanması sonucu elde edilen koordinat ve pencere büyüklüğünün sayısal değerleri kullanılarak oluşturulan özellik tablosu ile anomali durumları sınıflandırma aşamasında özellik vektör olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada araçların anomali durumlarına göre öznitelikler belirlenmiştir. Bu öznitelikler araçların hareket yönü, yer değiştirme, konum ve hız bilgilerinden oluşmaktadır. Video analiz sırasında elde edilen değerler izlenen yolun Şekil 2.'de ki gibi bir koordinat düzlemi olarak ele alındığında geçerlidir.



Şekil 2. İzlenen yolun koordinat sistemi temsili gösterimi

Tablo 1'de video analizi ile elde edilen verilerden her nesneye ait karayolundaki hareketine ilişkin çıkarılan özellikler verilmiştir. Oluşturduğumuz veri tabanındaki bir video setinde yapılan analiz sonucu tespit edilen nesnelerin anomali durumu etiketlemesi Tablo 2'de gösterilmiştir. Bu etiketleme Tablo 3'te verilen kurala göre oluşturulmuştur.

Tablo 1. Nesne özellik çıkarma tablosu

Video analizi ile elde edilen veriler	Nesne hareket özelliği
Son koordinat değeri (skd) - İlk koordinat değeri (ikd)	Hareket Yönü (hy) enlem boylam
Anlık koordinat değeri (akd)	Konum (k) enlem boylam
(Son koordinat değeri (skd) - İlk koordinat değeri (ikd)) / Zaman-(çerçeve sayısı) (Z)	Hız (h) kilometre saat
Toplam piksel alanı(tpa)	Şekil /araç sınıfı (s)

Tablo 2. Tespit edilen anomali durum tablosu

Nesne ID	Nesne Türü *	Hareket yönü	Yer değiştirme	Konum	Hız
14	1	İleri	Pozitif	Aktif	77 km/s
21	1	İleri	Pozitif	Aktif	63 km/s
30	1	İleri	Pozitif	Aktif	94 km/s
34	1	Geri	Negatif	Aktif	33 km/s
46	2	İleri	Pozitif	Aktif	81 km/s
53	2	İleri	Pozitif	Aktif	68 km/s

*Küçük araç:1, Büyük araç:2, Yaya:3, Bilinmeyen:0

Tablo 3. Anomali durum tespit için kural tablosu

Nesne Sınıf	Hareket yönü	Yer değiştirme	Konum	Hız
Küçük araç (1)	İleri	Pozitif	Aktif	X < 90 km/s
Büyük araç (2)	İleri	Pozitif	Aktif	X < 51 km/s

Bu aşamanın sonuçlanması ile sınıflandırma için giriş olarak kullanacağımız veri seti elde edilmiş olur. Bu çalışmada araçların anomali durumlarına göre öznitelikler belirlenmiştir. Bu öznitelikler araçların hareket yönü, yer değiştirme, konum ve hız bilgilerinden oluşmaktadır. Elde edilen öznitelikler sınıflandırıcının girişine verilmiştir. Son olarak sınıflandırıcının çıkışında anomali var, anomali yok, araçların hareket yönü, yer değiştirme, konum ve hız bilgileri olmak üzere 5 adet çıkış bulunmaktadır.

3.3 Makine Öğrenmesi Süreçleri

Makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak bir problemin çözülebilmesi için yaklaşım adımları aşağıdaki gibidir [29].

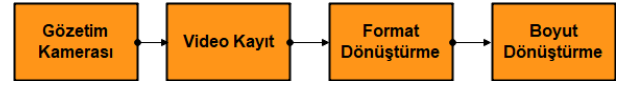
- Problemin tanımı
- Veri seti
- Verilerin hazırlanması
- Modelleme
- Model performans değerlendirme

Bu çalışmada trafik akış video verilerinden anomali tespiti ve makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırma yapılarak amaçlanan faydalar ilgili başlık altında sıralanmıştır. Video analiz verilerinin hangi sınıfa ait olacağı işlemine ilişkin problem çözülmeye çalışılmaktadır.

Veriler Diyarbakır ilinin şehir içi ve şehirler arası yol güzergahlarında, bir akıllı telefonun 16 mega piksel özelliğindeki arka kamerası ve sabit bir noktadan çekim yapmak amacıyla tripod yardımıyla toplanmıştır. Ayrıca benzetim yapmak amacıyla rasgele veriler oluşturularak hazırlanmıştır. Veri seti 32 adet 30'ar saniye 25 FPS 'den (saniyede çerçeve başına düşen görüntü sayısı) oluşmaktadır. Görüntüler 4 farklı bölgeden alınmıştır. Her bir bölgede 8 adet video olmak üzere 4 veri seti oluşturulmuştur. Bu çalışmada araçların durumu analiz edildiği için veri setinde yayalara ilişkin bilgiler gözardı edilmiştir.

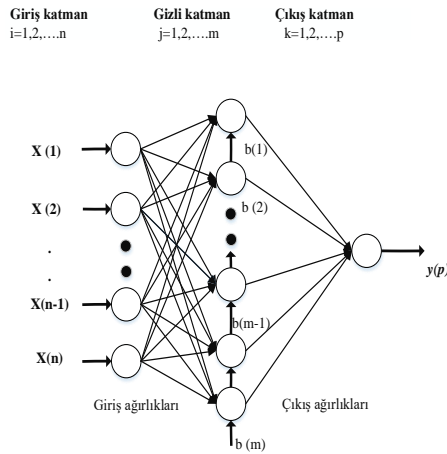
Veriler modelde işlenmeden önce kullanılmak üzere hazır hale getirmek için veriye göre özetlenmesi, temizlenmesi, dönüştürülmesi, indirgenmesi, ayrıştırılması gerekmektedir [29]. Şekil 3'te gözetim kamerasından aktarılan videoların analiz edilmek üzere

depolama aygıtlarına aktarıldıktan sonra OpenCV programının işleyebileceği video formatlarına dönüşüm yapılır. Son adımda ise işlenebilecek videolarda süre ve diskte kapladığı yer açısından analiz edilebilecek boyut indirgenmesi yapılarak videolar analiz edilmeye hazır hale getirilir.

**Şekil 3.** Video verisi hazırlama iş akış diyagramı

Veriler işlenmeye hazır hale getirildikten sonra öğrenme algoritması için modelleme aşaması başlar. Model esas olarak görevin niteliklerine uygun olarak tanımlanmış çıktıya duyulan ihtiyacın mimarilendirilmesidir [29]. Bu çalışmada trafik videolarının analizi sonucu hareket eden nesnelerin anomali durumlarının sınıflandırma yapılmasında verileri değerlendirmek için yeni bir yaklaşım olarak UÖM ve DGAUÖM (Diferansiyel Gelişim Algoritması Uç Öğrenme Makinesi) model olarak seçilmiştir. Modellerin çalışma algoritmaları ile ilgili bilgiler alt bölümlerde sunulmuştur.

Uç Öğrenme Makinesi (UÖM) bir tek gizli katmana sahip ileri beslemeli bir yapay sinir ağı (YSA) modelidir [38-40, 79, 80]. YSA'nın başarımı yüksek öğrenme gerçekleştirebilmesi için eşik değeri, ağırlık ve aktivasyon fonksiyonu gibi parametreleri veri için modellenecek sisteme uygun değerde olmalıdır. Gradyan bazlı öğrenme yaklaşımlarında bu parametrelerin tümü iteratif olarak uygun değer için değiştirilir. Dolayısıyla yavaş ve yerel minimuma takılabilme olasılığı nedeniyle başarımı düşük sonuçlar üretebilmektedir. UÖM Öğrenme süreçlerinde parametrelerini gradyan bazlı olarak yenilenen YSA'dan farklı olarak giriş ağırlıkları rastgele seçilirken çıkış ağırlıkları analitik olarak hesaplanmaktadır. Analitik bir öğrenme süreci; hem çözüm zamanını hem de hata değerinin yerel bir minimuma takılabilme olasılığını ciddi oranda azalttığından başarımları artmaktadır. UÖM'nin gizli katmanda bulunan hücreleri aktive etmek için doğrusal bir fonksiyon seçilebileceği gibi doğrusal olmayan (sigmoid, sinüs vb.), türevlenemeyen veya kesikli aktivasyon fonksiyonlarda kullanılabilir [30-38]. Şekil 4'te UÖM mimarisi verilmiştir.



Şekil 4. İleri beslemeli tek gizli katmanlı bir yapay sinir ağı modeli

$$y(p) = \sum_{j=1}^m \beta_j g\left(\sum_{i=1}^n w_{i,j} x_i + b_j\right) \quad (7)$$

Denklem 7’teki x_i giriş y_p çıkış vektörlerini (m ve n nöron sayısı) ve $w_{i,j}$ giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıkları, β_j çıkış katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıkları b_j gizli katmandaki nöronların eşik değeri $g(\cdot)$ Aktivasyon fonksiyonu ifade eder. Eşitlikteki giriş katmanı ağırlıkları ($w_{i,j}$) ve bias (b_j) değerleri rastgele atanır. Aktivasyon fonksiyonu ($g(\cdot)$) giriş katman nöron sayısı (n) ve gizli katman nöron sayısı (m) başlangıç adımında atanır. Şimdi bu bilgilere dayanarak eşitlikte bilinen parametreler bir araya getirilip yeniden

$$H(w_{i,j}, b_j, x_i) = \begin{bmatrix} g(w_{1,1}x_1 + b_1) & \dots & g(w_{1,m}x_m + b_m) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g(w_{n,1}x_n + b_1) & \dots & g(w_{n,m}x_m + b_m) \end{bmatrix}$$

düzenlenirse çıkış katmanı Denklem 8’deki gibi olur.

(8)

$$y = H\beta \quad (9)$$

Tüm eğitim algoritma modellerinde hedeflenen amaç olabildiğince hatayı minimum yapabilmektedir. UÖM de gerçek çıktı \widehat{Y}_o değeri ile elde edilen çıktı Y_p değerinin hata fonksiyonu $\sum_k^s (\widehat{Y}_o - Y_p)$ (s : eğitim veri sayısı) veya hata maliyet fonksiyonu $\|\sum_k^s (\widehat{Y}_o - Y_p)^2\|$ minimum olmasını sağlayabilmektedir. Bunun için her iki fonksiyonda da gerçek çıktı \widehat{Y}_o değeri ile elde edilen çıktı Y_p değerinin eşit olması gerekir. Bu eşitlik sağlandığında Denklem 9’da bilinmeyen parametre sadece β ağırlık değeridir. H Matrisi çok düşük ihtimalle kare bir matris olabilir. Ya da başka bir ifade ile eğitim kümesindeki veri sayısının, her verinin içerdiği özellik sayısına eşit olma olasılığı düşüktür. Dolayısıyla bu matrisin tersinin $[H^-]$ alınarak ağırlıkların (β) bulunması problem olacaktır. Bu durumu aşmak için Huang vd. [80] bu problemde olduğu gibi tersi alınmayan matrislerin yaklaşık terslerini hesaplamak için geliştirilmiş olan genelleştirilmiş ters Moore-Penrose matrisi kullanmayı önermişlerdir. $\hat{\beta}$ yaklaşık çıkış ağırlığı ve H^+ , H matrisinin genelleştirilmiş

ters Moore-Penrose matrisi olur. Buna göre çıkış ağırlıkları $\hat{\beta} = H^+y$ ile bulunabilir [38, 39].

Yüksek boyutlu değişken sayısına bağlı olarak doğrusal olmayan, gürültülü, çok modlu ve değişmeme özelliğine sahip problemlerin çözümüne ilişkin sunulmuş bir gelişimsel optimizasyon algoritması olan Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) genetik algoritma-popülasyon tabanlı optimizasyon tekniğidir [40-43]. DGA, polinomal uyum problemini çözmek üzere Kenneth Price tarafından geliştirilmiştir [44]. DGA geliştirildiği teknik olan genetik algoritma optimizasyondaki çaprazlama, karşılaştırma ve mutasyon işlemlerini ayrı basamaklarda gerçekleştirir. Dolayısıyla her bir basamakta geçen süre kümülatif olarak değerlendirildiğinde uzun zaman almaktadır. DGA temel olarak bu dezavantajın giderilmesi amaçlamıştır. Özet olarak DGA başlangıç popülasyonundaki en iyi kromozom seçer ve ardından tüm popülasyon, istenilen durdurma şartları sağlanıncaya kadar mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlem adımlarını takip eder. Durdurma şartı, adım sayısı veya belirli bir hata değeri olabilir. DGA yeni ve oldukça da etkili bir mutasyon işlemi uygulamaktadır. Gelişim tabanlı algoritmalar ile arasında en temel ve belirgin fark rastgele seçilmiş amaç vektör farklarına dayalı bir mutasyon işlemi uygulamasıdır. Bu durum DGA’nın performansını arttırmaktadır. Bunun yanında hızlı, basit, kolay uygulanabilir, değiştirilebilir, etkili küresel optimizasyon kabiliyetli, kayan nokta formatına bağlı hassasiyet sınırlamalı, matris çarpımları ve sıralama işlemleri olmadığı için güçlü bir algoritma olarak kabul edilir. DGA dört temel adımdan oluşur [40-43]. Aşağıda bu dört temel adımdan oluşan DGA’nın sözde kodu verilmiştir.

Adım 1: Kontrol parametrelerinin $D, Gmax, NP \geq 4 F \in (0,1+), CR \in [0,1]$ değerlerini ve parametre sınırlarını $x^{(lo)}, x^{(hi)}$ ata.

Adım 2: Başlangıç popülasyonunu oluştur.

Adım 3: while($\forall i \leq NP \Delta \forall j \leq D : x_{i,j,G=0} = x_j^{(lo)} + rand_j[0,1] \cdot \{x_j^{(hi)} - x_j^{(lo)}\}$)

Adım 4: for $i=1$ to NP

Adım 5: Mutasyon, Çaprazlama

$r_1, r_2, r_3 \in \{1,2, \dots, NP\} r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$
 $j_{rand} \in \{1,2, \dots, D\}$

for $i=1$ to D

If ($rand_j[0,1] < CR \Delta j = j_{rand}$)

$U_{i,j}^{(G)} = V_{i,j}^{(G)}$

else

$U_{i,j}^{(G)} = X_{i,j}^{(G)}$

end if

end for

Adım 6: Seçim

if $f(\bar{u}_{i,G+1}) \leq f(\bar{x}_{i,G})$

$\bar{x}_i^{(G+1)} = \bar{U}_i^{(G+1)}$

else

$\bar{x}_i^{(G+1)} = \bar{x}_i^{(G)}$

end if

end for

end while

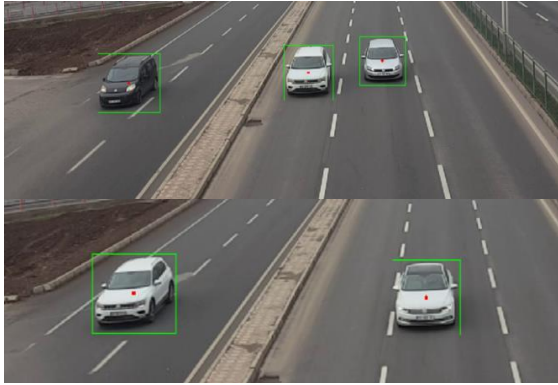
4 Deneysel Sonuçlar

Yapılan çalışmanın sonuçları ve başarımları üç aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada arka/ön plan bölütleme yöntemi için kullanılan GKM ve nesne yörünge tahmin-atama için Kalman Filtre-Macar algoritması yöntemleri kullanılarak videoda tespit edilen nesne sayıları ve toplam piksel değeri ile etiketlendirilen nesne tespit başarımları Tablo 4’de verilmiştir. Video analiz programının tespit ettiği şekil sayısı ile manuel ölçümler karşılaştırılarak tablo 4’teki başarımlar oranları elde

edilmiştir. İkinci aşamada yazılım ile nesnelerin özellik verileri ile izlenen yol için belirlenmiş kural verileri karşılaştırılarak yapılan anomali durum tespiti başarımları %100 dür. Üçüncü aşamada ise UÖM ve DGAUÖM yöntemleri ile sınıflandırma başarımları verilmiştir. Ayrıca UÖM yönteminin başarımlarının karşılaştırılması amacıyla diğer makine öğrenmesi yöntemlerinden sınıflandırma için Destek Vektör Makinesi (DVM) Naive Bayes (NB) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) kullanılarak elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlar MATLAB 2016 yazılımı ve Intel i5-6400 CPU, 16 GB RAM’ e sahip bilgisayar ile elde edilmiştir. Şekil 5’te ise oluşturulan video veri tabanındaki video setine ait örnek çerçeveler gösterilmiştir.

Tablo 4. Tespit edilen nesne ve türlerine ilişkin video analiz başarımları

Video seti	Videodaki nesne	Adet	Yazılımın tespit ettiği	Adet	Başarımlar
1	Otomobil, SUV	24	Küçük Araç	24	% 100
	Otobüs, Kamyon	24	Büyük Araç	24	% 100
	Hareketli nesne	1	Bilinmeyen	1	% 100
2	Otomobil, SUV	42	Küçük Araç	42	% 100
	Otobüs, Kamyon	13	Büyük Araç	13	% 100
	Hareketli nesne	3	Bilinmeyen	3	% 100
3	Otomobil, SUV	38	Küçük Araç	38	% 100
	Otobüs, Kamyon	11	Büyük Araç	11	% 100
	Hareketli nesne	4	Bilinmeyen	4	% 100
4	Otomobil, SUV	48	Küçük Araç	48	% 100
	Otobüs, Kamyon	16	Büyük Araç	16	% 100
	Hareketli nesne	3	Bilinmeyen	3	% 100



Şekil 5. Video veri setine ait örnek çerçeveler

4.1 UÖM ile Sınıflandırma Sonuçları

Tablo 5’de UÖM yöntemi ile video setleri için çıkarılan nesne özellikleri anomali etiketlerine göre sınıflandırma sonuçları verilmiştir. Veri seti bölmede K-kat çapraz performans yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen başarımlar sırasında UÖM’nin gizli katmandaki hücre sayısı(2, 5, 10, 20, 25, 50, 75) ve aktivasyon fonksiyonu(sigmoid (sig), sinüs (sin), hard limit (hardlim), triangular basis (tribas), radial basis (radbas) ve linear (lin) Deneme-Yanılma yöntemi ile denenmiş elde edilen sonuçlardan maksimum (1’e yakın) olan değer verilmiştir.

Tablo 5. UÖM sınıflandırma başarımları

Video Seti	Test başarımları / Doğruluk başarımları	Gizli katmandaki hücre sayısı	Aktivasyon fonksiyonu
1	%97,92	50	linear (lin)
2	%97,62	25	linear (lin)
3	%95,83	50	linear (lin)
4	%98,33	10	linear (lin)

Görüntüler 4 farklı bölgeden alınmıştır. Her bir bölgede 8 adet video olmak üzere 4 veri seti oluşturulmuştur. UÖM sınıflandırıcının test verilerine uygulanması ile elde edilen performans metrik değerleri 4 veri seti için Tablo 6’ da gösterilmektedir. Şekil 6’da video setlerine ait UÖM sınıflandırma test başarımlar grafikleri verilmiştir. Şekil 6’da gizli katmandaki hücre sayısı 50 için aktivasyon fonksiyonu linear(lin) iken başarımların %97,92 olduğu gözlenmektedir. Gizli

katmandaki hücre sayısı 25 için aktivasyon fonksiyonu linear(lin) iken başarımların %97,62 olduğu gözlenmektedir. Gizli katmandaki hücre sayısı 50 için aktivasyon fonksiyonu linear(lin) iken başarımların %95,83 olduğu gözlenmektedir. Şekil 7’ de video setlerine ait UÖM sınıflandırma AİK (doğru pozitif yanlış pozitif oranı olarak hesaplanan duyarlılık, belirleyicilik, kesinlik ve F-ölçüsü) grafiği verilmiştir. Şekil 7’de ki AİK grafiğine

göre duyarlılık 1, belirleyicilik 0,96, kesinlik 0,95 ve F-ölçüsünün 0,97 olduğu gözlenmektedir.

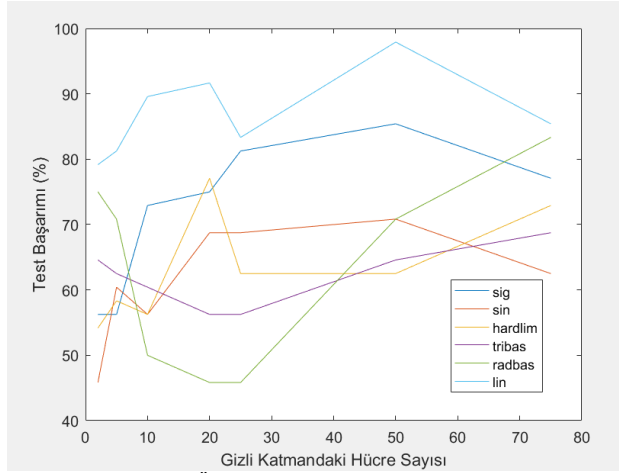
Tablo 7’de 4 farklı video veri seti için duyarlılık belirleyicilik, kesinlik ve F- ölçüsü değerleri verilmiştir.

Tablo 6. UÖM sınıflandırma performans metrik değerleri

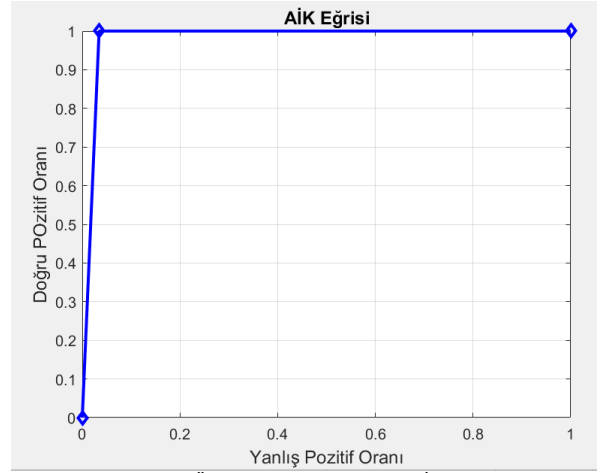
Video Seti	Performans metrik değerleri			
	Duyarlılık	Belirleyicilik	Kesinlik	F- Ölçüsü
1	1	0,96	0,95	0,97
2	1	0,92	0,97	0,98
3	0,96	0,94	0,96	0,96
4	1	0,96	0,97	0,98

Tablo 7. UÖM sınıflandırma başarımları

Video Seti	Test başarımları / Doğruluk başarımları	Gizli katmandaki hücre sayısı	Aktivasyon fonksiyonu
1	%97,92	50	linear (lin)
2	%97,62	25	linear (lin)
3	%95,83	50	linear (lin)
4	%98,33	10	linear (lin)



Şekil 6. UÖM sınıflandırma test başarımları grafiği



Şekil 7. UÖM sınıflandırıcısına ait AİK grafiği

4.2 DGAUÖM Sınıflandırma Sonuçları

DGAUÖM yöntemi ile video setleri için çıkarılan nesne özellikleri anomali etiketlerine göre sınıflandırma sonuçları verilmiştir. DGA'nın çaprazlama ve mutasyon adımlarında denenen gizli katmandaki hücre sayısı ve aktivasyon fonksiyonları ve algoritmaya uygun şekilde çalışmıştır. Son adımda ulaşılan en iyi hücre sayısı ve aktivasyon fonksiyonu tablo 8’de verilmiştir. Veri setinin %75’i, eğitim için geri kalan %25’i test için ayrılmıştır. Veri seti bölmede K-kat çapraz performans yöntemi kullanılmıştır. K-kat çaprazlama, veriyi belirlenen bir k sayısına göre eşit parçalara böler, her bir parçanın hem

eğitim hem de test için kullanılmasını sağlar, böylelikle dağılım ve parçalanmadan kaynaklanan sapma ve hataları en aza indirgenir.

Elde edilen başarımlar sırasında UÖM’nin DGA yöntemi ile en iyiye ulaşmak için gizli katmandaki hücre sayısı ve aktivasyon fonksiyonunu mutasyon ve çaprazlama yapılarak en iyi başarımları (1’e yakın) olan değeri verilmiştir. Bu sonuçların test / doğruluk başarımlarının tamamı %100 çıkmıştır. Bu sonuçlar DGAUÖM yönteminin UÖM yönteminden de başarılı sonuç üretebileceğini göstermektedir.

Tablo 8. DGA-UÖM sınıflandırma başarımları

Video Seti	Test başarımları / Doğruluk başarımları	Gizli katmandaki hücre sayısı	Aktivasyon fonksiyonu
1	%100	25	Radial basis (radbas)
2	%100	10	Radial basis (radbas)
3	%100	25	Radial basis (radbas)
4	%100	50	Radial basis (radbas)

Tablo 9’da literatürde sık kullanılan diğer makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemlerinin aynı veri seti üzerindeki başarımları sonuçları verilmiştir. Yapay sinir ağları modelinde gizli katman sayısı bir ve bu katmandaki gizli düğüm sayısı üç olarak alınmıştır. Katmanlar arasında sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

Yakınsama kriteri 0.2 maksimum iterasyon sayısı 50 ve her bir çalıştırmada algoritmanın sonlandırılmasında 20 devir alınmıştır. Diğer makine öğrenmesi sınıflandırıcılarının test verilerine uygulanması ile elde edilen performans metrik değerleri gösterilmektedir.

Tablo 9. Alternatif yöntem sınıflandırıcıların performans metrik değerleri

Video Seti	Performans metrik değerleri				
		Duyarlılık	Belirleyicilik	Kesinlik	F- Ölçüsü
1	Naive Bayes	0,94	0,81	0,75	0,83
	Destek vektör	0,94	0,79	0,70	0,80
	YSA	0,92	0,96	0,95	0,93
2	Naive Bayes	0,91	0,83	0,94	0,92
	Destek vektör	0,77	1	1	0,87
	YSA	0,94	1	1	0,97
3	Naive Bayes	0,78	0,83	0,93	0,85
	Destek vektör	0,68	1	1	0,81
	YSA	0,96	1	1	0,98
4	Naive Bayes	0,85	0,95	0,97	0,90
	Destek vektör	0,63	1	1	0,77
	YSA	0,89	0,96	0,97	0,93

5 Tartışma ve Öneriler

Askeri ve yerleşim yeri güvenliği, kişi ya da araç hareketlerini sürekli izleme ve raporlama önceden tanımlanmış olayların tespiti gibi uygulamalar insan gözlem tabanlı sistemler ile yapılmasının çeşitli dezavantajları vardır. Günümüzde bu işlem, çoğunlukla birkaç ekran karşısında oturan güvenlik personeli ile yapılmaya çalışılmaktadır. Kapalı devre izleme merkezlerinde yapılan testlerde; iki veya daha fazla monitörün, 12 dakika sürekli döngü halinde izlenmesi durumunda güvenlik personelinin ekranda olan aktivitenin %45'ini kaçırdığı, 22 dakika sonra ise aktivite tespit başarımının sadece %5 ile sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Karayolu trafiği gözetleme sistemleri anlık değerlendirme, sürekli bilgi güncellemesi, yüksek miktarda veri ve manuel uyarı gibi nedenlerden dolayı klasik izleme sistemleri yetersiz kalmaktadır. Kural dışı davranış olarak nitelendirilen anomalinin sınıflandırılması ve tahmini bilgisayar destekli otomatik sistemler tarafından yapılması insan faktörlü hata payını azaltıp bilgisayar kontrolünü ve verinin doğruluğunu artırarak trafik akışının güvenliğinin sağlanmasında başarımlı yüksek uyarı sistemlerini sağlar. Bu çalışmada akıllı trafik izleme sistemine ilişkin çeşitli yöntemlere dayalı fikirler savunulmuştur. Çalışmanın açık noktaları ve ileride üzerinde çalışma yapılması gereken konular mevcuttur. Bunlar videoların analizi sırasında karşılaşılan (durağan olmayan arka plan: iklim, ışık, kamera kalibre vb.) problemleri; tespit edilen hareketli nesnelere ilişkin özellik çıkarma ve izlenen karayolunun kuralının otomatik olarak çıkarılabilmesi; video gibi yüksek miktardaki verinin makine öğrenmesi yöntemleri ile işlenip gerçek zamanlı otomatik uyarım sistemlerinin oluşturulması olarak sıralanabilir.

Her geçen gün bu problemlerin çözümüne ilişkin yeni çalışmalar sunulmaktadır. Bu çalışmalar ile akıllı şehir ve otomatik araç teknolojilerine katkılar sunulmaktadır. Gelecek birkaç yıl içinde küreselleşen ve her geçen gün nüfusu artan dünyamızda trafik akış güvenliği ve buna bağlı birçok etkenin olumsuz etkileri; gelişen donanım ve yazılım teknolojisi ile aşılabilir hale gelecektir. Trafik

akışı gibi büyük veri içeren ve insan görsel değerlendirilmesine dayalı birçok sistem yerini otomatik çalışıp gerektiğinde uyarı verebilen modeli öğrenip geleceğe yönelik tahminler yapabilen sistemlere bırakacaktır. Özet olarak bu çalışmada bunu yapabilecek bir sistem; yapay öğrenme yöntemi ile trafik akış gözetimi analizinde yeni bir yaklaşım olarak sunulmuştur.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Peker, M., & Zengin, A. (2011, May). Gerçek zamanlı harekete duyarlı bir görüntü tanıma sistemi. *In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* (pp. 16-18).
- [2] Hsia, C. H., & Guo, J. M. (2014). Efficient modified directional lifting-based discrete wavelet transform for moving object detection. *signal Processing*, 96, 138-152.
- [3] Oral, M., & Deniz, U. (2005, May). Motion detection in moving pictures. *In Proceedings of the IEEE 13th Signal Processing and Communications Applications Conference*, 2005. (pp. 187-190). IEEE.
- [4] Retrieved January 15, 2018, from www.nuuo.com/enews/201210_enews/images/2012010_Fl_yer_IVS_V1.0_A4_en.pdf
- [5] Borji, A., Cheng, M. M., Hou, Q., Jiang, H., & Li, J. (2019). Salient object detection: A survey. *Computational visual media*, 5(2), 117-150.
- [6] Sen-Ching, S. C., & Kamath, C. (2004, January). Robust techniques for background subtraction in urban traffic video. *In Visual Communications and Image Processing 2004* (Vol. 5308, pp. 881-892). International Society for Optics and Photonics.
- [7] Mahamuni, P. D., Patil, R. P., & Thakar, H. S. (2014). Moving object detection using background subtraction algorithm using Simulink. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(06).
- [8] Orhan, U. *Makine Öğrenmesi ders notları* [PDF Document], retrieved August 2, 2015, from <http://bmb.cu.edu.tr/uorhan/MLearn.htm>
- [9] Jodoin, J. P., Bilodeau, G. A., & Saunier, N. (2014, March). Urban tracker: Multiple object tracking in urban mixed

- traffic. In *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision* (pp. 885-892). IEEE.
- [10] Mohan, A. S., & Resmi, R. (2014, December). Video image processing for moving object detection and segmentation using background subtraction. In *2014 First International Conference on Computational Systems and Communications (ICCS)* (pp. 288-292). IEEE.
- [11] Zhu, Y., Nayak, N. M., & Roy-Chowdhury, A. K. (2012). Context-aware activity recognition and anomaly detection in video. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 7(1), 91-101.
- [12] Bas, E., Tekalp, A. M., & Salman, F. S. (2007, June). Automatic vehicle counting from video for traffic flow analysis. In *2007 IEEE intelligent vehicles symposium* (pp. 392-397). Ieee.
- [13] Buch, N., Velastin, S. A., & Orwell, J. (2011). A review of computer vision techniques for the analysis of urban traffic. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 12(3), 920-939.
- [14] Morris, B. T., & Trivedi, M. M. (2008). Learning, modeling, and classification of vehicle track patterns from live video. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 9(3), 425-437.
- [15] Öz, K., & Görgünoğlu, S. (2016). Video Gözetim Sistemlerinde Anomali Tespiti Üzerine Bir Derleme. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3(3).
- [16] Çandar, C., & Gerek, Ö. N. (2002) Yol üzerinde trafik ve araç durumunun video analiz yöntemleri ile incelenmesi.
- [17] Nandhini, K., Pavithra, M., Revathi, K., & Rajiv, A. (2017, March). Anomaly detection for safety monitoring. In *2017 Fourth International Conference on Signal Processing, Communication and Networking (ICSCN)* (pp. 1-6). IEEE.
- [18] Batapati, P., Tran, D., Sheng, W., Liu, M., & Zeng, R. (2014, June). Video analysis for traffic anomaly detection using support vector machines. In *Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation* (pp. 5500-5505). IEEE.
- [19] Chung, S. C. S., & Kamath, C. (2005). Robust background subtraction with foreground validation for urban traffic video. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2005(14), 1-11.
- [20] Panchal, P., Prajapati, G., Patel, S., Shah, H., & Nasriwala, J. (2015). A review on object detection and tracking methods. *International Journal for Research in Emerging Science and Technology*, 2(1), 7-12.
- [21] Yilmaz, A., Javed, O., & Shah, M. (2006). Object tracking: A survey. *Acm computing surveys (CSUR)*, 38(4), 13-es.
- [22] Ritika, G. S. S. (2012) Path Estimation and Motion Detection of Moving Object in Videos. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSRJCE)*, 2(4), 01-04.
- [23] Ergezer., H. (2007). *Visual detection and tracking of moving objects* (Master's dissertation, METU).
- [24] Stauffer, C., & Grimson, W. E. L. (1999, June). Adaptive background mixture models for real-time tracking. In *Proceedings. 1999 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition* (Cat. No PR00149) (Vol. 2, pp. 246-252). IEEE.
- [25] Hayman, E., & Eklundh, J. O. (2003, October). Statistical background subtraction for a mobile observer. In *Computer Vision, IEEE International Conference on* (Vol. 2, pp. 67-74). IEEE Computer Society.
- [26] Talu, M. F. (2010). *İnsan hareketlerinin takibinde karşılaşılan problemlerin çözümüne yeni yaklaşımlar* (Doctoral Dissertation, Fırat University).
- [27] Aydemir, M. S. (2012). *Gerçek zamanlı güvenlik kamerası videolarının insan tabanlı özetlenmesi* (Master's dissertation, Yıldız Teknik University).
- [28] Kartal E., Özen Z., Gezer M., Saylan S. (2017) Mühendislikte yapay zekâ ve uygulamaları *Sakarya Üniversitesi Kütüphanesi Yayınevi-Sakarya*
- [29] Ertam, F. (2016). *Kurumsal bilgisayar ağlarındaki trafik bilgisinin akıllı sistemler ile sınıflandırılması* (Doctoral Dissertation, Fırat University).
- [30] Ertuğrul, Ö. F., Tağluk, M. E., Kaya, Y., & Tekin, R. (2013, April). EMG signal classification by extreme learning machine. In *2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.
- [31] Yılmaz, K. A. Y. A., & TEKİN, R. (2012). Epileptik nöbetlerin tespiti için aşırı öğrenme makinesi tabanlı uzman bir sistem. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 5(2), 33-40.
- [32] Wang, G., & Li, P. (2010). Dynamic Adaboost ensemble extreme learning machine. In *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)* (Vol. 3, pp. V3-54). IEEE.
- [33] Kaya, Y., Ertuğrul, Ö. F., & Tekin, R. (2014). An expert spam detection system based on extreme learning machine. *Computer Science and Applications*, 1(2), 132-137..
- [34] ERTUĞRUL, Ö. F. (2016). Aşırı Öğrenme Makineleri ile biyolojik sinyallerin gizli kaynaklarına ayrıştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(1), 41-50.
- [35] Tağluk, M. E., Mamiş, M. S., Arkan, M., & Ertuğrul, Ö. F. (2015). Aşırı Öğrenme Makineleri ile Enerji İletim Hatları Arıza Tipi ve Yerinin Tespiti. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4).
- [36] Ertuğrul, Ö. F., & Kaya, Y. (2014). A detailed analysis on extreme learning machine and novel approaches based on ELM. *American Journal of computer science and engineering*, 1(5), 43-50.
- [37] Ertugrul, Ö. F. (2016). Forecasting electricity load by a novel recurrent extreme learning machines approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 429-435.
- [38] Ertugrul, F. (2016). Determining the order of risk factors in diagnosing heart disease by extreme learning machine. In *International Conference on Natural Science and Engineering, Kilis* (pp. 10-19).
- [39] Huang, G. B., Zhu, Q. Y., & Siew, C. K. (2006). Extreme learning machine: theory and applications. *Neurocomputing*, 70(1-3), 489-501.
- [40] Keskindürk, T. (2006). Diferansiyel gelişim algoritması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9), 85-99.
- [41] Aydın, S., & Zeybek, M. S. Diferansiyel Gelişim Algoritması İle Problem Çözme Üzerine Bir Değerlendirme. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(20), 49-55.
- [42] Yılmaz, A. R. (2014). *Genel amaçlı yapay sinir ağlarının diferansiyel gelişim algoritması ile eğitiminin fpga üzerinde gerçekleştirilmesi* (Master's dissertation, Yıldız Teknik University).
- [43] Karaboğa, D. (2017). *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*. Nobel Akademi Yayıncılık.
- [44] Storn, R., & Price, K. (1997). Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11(4), 341-359..
- [45] Takma, Ç., Atıl, H., & Aksakal, V. (2012). Çoklu doğrusal regresyon ve yapay sinir ağı modellerinin laktasyon süt verimlerine uyum yeteneklerinin karşılaştırılması. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18(6), 941-944.
- [46] Ertugrul, Ö. F., & Kaya, Y. (2016). Smart city planning by estimating energy efficiency of buildings by extreme learning machine. In *2016 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)* (pp. 1-5). IEEE.



A REVIEW STUDY ON BIOCOMPATIBLE IMPROVEMENTS OF NITI-BASED SHAPE MEMORY ALLOYS

Safar Saeed Mohammed^{*1} , Mediha Kök² , Ibrahim Nazem Qader¹ , Meltem Coşkun² 

¹Department of Physics, College of Science, University of Raparin, Sulaymanyah, Iraq

²Department of Physics, Faculty of Science, Fırat University, Elazığ, Turkey

Abstract

Review paper

NiTi-based shape memory alloys (SMAs) have many applications, especially for implantation, however since they are not a passive material so it is important to investigate them from different biocompatible perspectives. In this study, we introduced the important physical characteristics of NiTi alloys, then we explained different biocompatible terminologies, including carcinogenic, genotoxic, cytotoxicity, mutagenic, allergic, and corrosivity. We collected some important previous works that investigated the biocompatibility of NiTi-based SMAs and the different techniques used for improving the alloy and diminishing the hazard due to Ni-leakages.

Keywords: NiTi, shape memory alloys, biocompatibility, toxicity, Carcinogenic, Mutagenic

1 Introduction

Smart materials are a group of engineering materials that have many technological applications [1, 2], besides, shape memory alloys (SMAs) are a special type of smart materials which are received more attention compared to other types of smart materials because they are able to recover and a deformed shape through some specific mechanisms [3-7]. SMAs have two main phases which are austenite and martensite phases. Austenite is stable at high temperatures while martensite is stable at low temperatures, and the phase transformation from austenite to martensite and vice versa can be obtained through the heating/cooling process [8-20]. Also, the ability of SMAs to return to their previous shape is specified into two different categories, which are shape memory effect (SME) and superelasticity (SE). Because of these interest behaviors, SMAs are widely used in modern technological applications, such as robotics, automotive, aerospace, and medical application [21]. Additionally, some SMAs, especially NiTi-based alloys, are used as biomedical materials. Biocompatibility is an ability of biomedical materials since they are implanting in the human body, so they should be passive and do not damage the living tissues [22]. Besides, the biocompatibility of SMAs is relative, therefore they can be improved by some basic techniques such as heat treatment and alloying process. In the past few decades, many studies in the literature could improve the biocompatibility of SMAs. For example, Jin et al. used a filtered arc ion plate technique to coating NiTi alloy with the tin element. They reported that Sn enhanced the biocompatibility of their sample [23]. Likewise, Zhang and coworkers improved the biocompatibility and anti-corrosion resistance of a binary NiTi SMA by coating its

surface with graphene [24]. Also, Tao and coworkers performed the oxidation treatment on a NiTi SMA using H₂O₂ solution, and they stated that the wettability, blood compatibility, and fibroblasts compatibility were improved after coating the sample with a titanium oxide layer [25].

In this article, most studies conducted about improving the biocompatibility of NiTi-based shape memory alloys have been reviewed. Firstly, we discussed the main features of shape memory alloys, then we explained some biocompatible terminology used for biomedical materials. Also, the techniques used to improve and minimize the risks of using these smart materials are highlighted.

2 General Characteristics of SMAs

As we mentioned before, SMAs have two main phases which are austenite and martensite. Also, they can be transferred from one phase into the other counterpart, also they able to return to their previous shape only by manipulating temperature. This ability is based on two main characteristics, which are known as SME and SE.

2.1 Shape Memory Effect (SME)

When the SMA phase is converted from a low-temperature phase (martensite) to a high-temperature phase (austenite) by thermoelastic conversion, it can return to its original state under the influence of the heating process. This behavior is called the shape memory effect [26]. Figure 1 depicts a stress-strain-temperature diagram that determines the SME mechanism. The austenite is phase transformed to the martensite phase under the effect of the stress and cooling process; firstly, the austenite phase transforms into twinned-martensite (1→2), and then its

* Corresponding author.

E-mail address: safar87physics@gmail.com (S. Mohammed)

Received 25 June 2021; Received in revised form 15 September 2021; Accepted 27 September 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.957722>

crystal structure changes to detwinned-martensite (2→3). When the effect of mechanical stress is removed through the (3→4) process, its crystal structure stays constant, but under the effect of the heating process, the alloy can recover to its parent phase (austenite) through (4→1) [26].

Based on the SME, two different types of SMAs have been classified: one-way shape memory alloy (OWSMA) and two-way shape memory alloy (TWSMA). In OWSMA, the alloy can remember only one predetermined shape given in the austenite phase, while in TWSMA, the alloy can be trained to remember two different shapes in two various temperatures. Generally, OWSMAs have more commercial applications compared to TWSMAs [27].

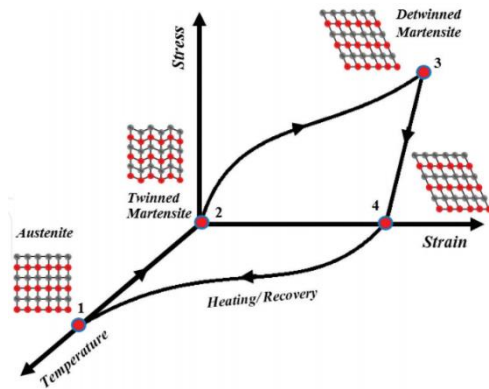


Figure 1. Schematic diagram of SME [26]

2.2 Super Elasticity (SE)

SE is another unique property of SMAs, which has more technological applications. SE does not need temperature change [28], but in a specific temperature between austenite finish and martensite deformation, the superelasticity can be obtained from an SMA [28]. Figure 2 shows the superelasticity mechanism in a stress-strain diagram. After the applying stress exceeds elastic (A→B) deformation, a martensite phase transformation takes place (B→C). After austenite is compactly transformed to the martensite phase, the crystal structure of the alloy changes from cubic to a detwinned martensite crystal structure. The stress is stored as elastic energy so after removing the external load, the restoring energy returns the deformed alloy to its original shape, however, by over-stressing the alloy, a slip can happen that leads to permanent deformation.

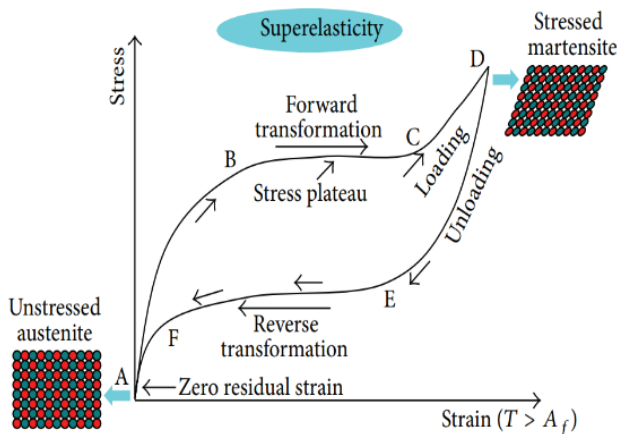


Figure 2. Schematic diagram of the SE [28]

3 Biocompatible Properties

In this chapter, the main well-known biocompatible properties of materials, especially NiTi-based alloys were discussed. Table 1 lists the biocompatibility of some elements, includes Ni and Ti.

3.1 Carcinogenic

Carcinogenic is one of the most imperfections or harmful properties that must be taken into account for the substances which are used in medical treatments and manufacturing medical devices that are implanted into the human body [29]. Also, carcinogenic can increase cancer [30]. Chemical carcinogenic which refers to some chemical substances such as arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni), and selenium (Se), can destroy DNA that directly or indirectly causes a mutation in the essential oncogene or immune cell gene that causes cancer [31]. The NiTi-based shape memory alloys are the most popular ones that are used in biomedical applications, however, one of the big problems of using NiTi as a biomaterial is the release of the carcinogenic Ni and Ti ions into the human body [32]. There are more works in the literature where they were treated this problem by surface modifications and coating methods to improve the corrosion resistance by reduced the carcinogenicity of Ni-Ti alloy [33-36].

O'Brien et al. carried out the passivation process on a NiTi SMA; they treated samples thermally and then they passivated them in a nitric acid solution. They stated that the biocompatibility of the NiTi alloy was improved. The surface analysis indicated that after the passivation process Ni and NiO content were reduced and TiO₂ increased on the surface. Also, they concluded that the corrosion resistance of the alloy was proportional to the quantity of nickel removed [37]. Likewise, El Abedin and coworkers improved the biocompatibility of a NiTi alloy by reducing the carcinogenic Ni content. They coated the NiTi SMA with a thin layer of Ta using a 3.5% NaCl solution; they stated that the corrosion resistance was improved after coating the alloy [32].

3.2 Genotoxic

Genotoxic is one of the properties of chemical elements that are concerning in biomedical applications to avoid cancer due to the change in the genetic information of the organs and mutation by damaging the DNA of the cells [38]. The indirect and direct DNA damage, due to genotoxicity includes induction of a mutation, and direct DNA damage, resulting in mutations. It induces immediate and inherited modifications which can be transmitted to subsequent cell generations [39]. It is known that NiTi-based alloys have several important and interesting properties such as superelasticity, shape memory, and high damping property, however, due to the presence of Ni element, the NiTi-based alloys are listed in genotoxic materials [38]. Assad et al. decreased the genotoxicity for a NiTi SMA by diminishing the amount of Nickel in a NiTi alloy. They found that the genotoxicity of pure Titanium is smaller than a binary NiTi, stainless steel, and pure nickel. Based on genotoxicity results, they sorted the materials as Ti < Ni-Ti < stainless steel < Ni [40].

3.3 Cytotoxicity

Cytotoxicity is one of the important properties of chemical elements or materials that causes cell damage or cell death when a cytotoxic material is implanted inside a human body. The prefix (cyto) means cell, and (toxic) means poison. Chemotherapy is used for treating the damage to cancer cells caused by cytotoxic material [41]. Cytotoxicity testing is so important for the biomedical element used for implanting applications [42]. NiTi-based shape memory alloys are one of the biomedical materials that are also cytotoxicity because nickel is one of the toxic chemical elements. However, this issue can be treated by diminishing Ni or substituting Ni with a third biocompatible element. Tabish, et al. added Fe as the third element into a NiTi alloy with composition of $Ti_{50}Ni_{48}Fe_2$, $Ti_{50}Ni_{47}Fe_3$, and $Ti_{50}Ni_{45}Fe_5$. They implanted the samples inside the rabbit body, and they tested the blood and histology of various vital organs of the rabbit after 4, 8, and 12 weeks. Thus, they stated that the ternary NiTiFe alloys showed no sign of cytotoxicity and the alloys were passive and had no reaction with the living organs inside the rabbit body [43].

3.4 Mutagenic

Mutagenic is another property of materials that can cause a permanent change in the genetic code of a host cell [44, 45]. The permanent change in the amount or structure of the genetic code and chromosome of the organism is called mutation [46]. Normally, the human body has enough immunity to these mutations and it can recognize and repair some of the mutations, however, some of these mutations are not repaired and not recognized by the immunity system, therefore, they may produce a tumor and develop cancer [47]. Although, as aforementioned, a NiTi SMA has high biocompatibility, Nickel as a main constituent of the alloy is listed in mutagen elements that should be taken into account [48].

3.5 Allergic

An allergy is an immune system reaction to a foreign material that is not normally dangerous to the body. These materials are called allergens, and allergic reactions can be produced when these materials enter a body. These materials have many types such as pollen, foods, and pet dander [49, 50]. Sometimes, a NiTi shape memory alloy can also classify as an allergen material because Ni is one of the five elements (Amalgam, Gold, Nickel, Chromate, and Platinum) that are caused to allergic, and it ranks third among this list [51]. Also, generally, females have more sensitivity to Nickel than males. Somehow, up to 20% of females have sensitivity to nickel, while, only 1-2% of males are sensitive to this element [52-54]. This allergy can be treated by release the amount of Nickel in the alloy or by surface coating to avoid Ni-leakage [55]. Kim, et al. coated a NiTi alloy with both nitride and epoxy and they subjected the samples in dissolution with 0.9% NaCl and neutral PH at room temperature. The result showed that nitride has no significant effect on decreasing the allergy of the NiTi because it did not affect the corrosion of the

alloy, while, they stated that epoxy decreased the allergy of the NiTi alloy because the epoxy increased the corrosion resistance of the alloy [56].

3.6 Prone to Corrosion

Despite implanting materials have more benefits in biomedical applications, they sometimes have side effects and cause additional health issues [57]. One of these side effects is corrosion which is the degradation of the implanting materials by an electrochemical attack when they are placed inside the host body. The implanted materials normally face various electrolyte environments, such as blood, water, chlorine, sodium, plasma, and amino acids, therefore, these fluids may cause corrode the implanted metals [58]. NiTi SMAs have comparably good corrosion resistance, but, they can be further improved by some different techniques. Jean et al. added Cu into Ni-Ti alloy, and they reported that the corrosion rate of the equiatomic NiTi is greater than the ternary NiTiCu alloy [59]. Likewise, Ruiz, et al. investigated the effect of both boron addition and heat treatment on the corrosion resistance of a NiTi alloy. They added 250, 500, and 1000 ppm of B into Ni55-Ti45, at the same time, and they performed heat treatment on the samples at 900 °C for 4 hours. Their results showed that after adding 250 and 500 ppm of B, the corrosion rate was decreased but 1000 ppm B increased the corrosivity of the alloy [60]. Also, Iijima, et al. performed a surface configuration method on a NiTi alloy. They polished the surface alloy with 0.9% NaCl and 1% lactic acid solutions, and they found that a thick oxide layer TiO_2 was formed on the Ni-Ti surface by the heat treatment and subsequent pickling processes. Besides, they realized that this oxide layer improved both general and localized corrosion of the NiTi in [61].

Also, the corrosion resistance of a NiTi alloy can be improved by a chemical treatment method, which is called passivation. Passivation can be defined as the anti-corrosion mechanism or it is a loss of electrochemical activity, whereby the passive layer is produced as a barrier between the surface of the metal and the electrolyte, therefore this protection layer can increase the corrosion resistance of the material [62-67].

4 Conclusions

Since NiTi-based shape memory alloys (SMAs) are not a passive material, they widely are investigated from various biocompatible perspectives. In this review, the essential physical properties of the NiTi alloys were discussed. Additionally, the well-known biocompatible terms including carcinogenic, genotoxic, cytotoxicity, mutagenic, allergic, and corrosivity were clarified for NiTi alloys. Some significant studies that investigated the biocompatibility of NiTi-based SMAs and the various strategies used to improve the alloy and reduce the risk of Ni-leakages were reviewed. Researchers could achieve good results, however, there are still many issues that need more studies.

Table 1. The biocompatibility of some elements [29]

Periodic position	Element	Biocompatible	Carcinogenic	Genotoxic	Mutagenic	Cytotoxic	Allergenic	Pron to corrosion	Other
3d	Ti	✓	x	x	x	Med	x	x	x
	V	x	✓	✓	✓	High	Disputed	x	x
	Cr	x	Disputed	✓	x	High	✓	x	x
	Mn	x	x	✓	x	High	x	✓	x
	Fe	x	x	✓	x	Med	x	✓	x
	Co	x	✓	✓	✓	High	✓	✓	✓
	Ni	x	✓	✓	✓	High	✓	✓	✓
	Cu	x	x	✓	✓	High	✓	✓	✓
4d	Zr	✓	x	x	x	Low	x	x	x
	Nb	✓	x	x	x	Low	x	x	x
	Mo	x	Disputed	✓	✓	Low	✓	✓	✓
	Tc	x	-radioactive-						
	Ru	x	x	x	x	Med	x	x	✓
	Rh	x	✓	✓	✓	High	Unknown	x	x
	Pd	x	✓	x	Disputed	Med	✓	x	x
	Ag	x	x	x	x	High	✓	x	✓
5d	Hf	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown	Med	x	x	Unknown
	Ta	✓	x	x	x	Low	x	x	x
	W	x	✓	✓	x	Med	x	✓	x
	Re	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown	x	x	Unknown
	Os	x	Unknown	✓	✓	High	x	✓	x
	Ir	x	x	x	✓	High	x	x	✓
	Pt	x	✓	✓	✓	High	✓	x	x
	Au	✓	x	x	x	High	x	x	x
Other	Al	x	x	✓	x	Low	x	x	✓
	Zn	x	x	x	x	High	x	x	✓
	Sn	✓	x	x	x	Low	x	x	✓

Declaration

The authors declare that the ethics committee approval is not required for this study.

References

- [1] Qader, I.N., Kök, M., Dağdelen, F., & Aydogdu, Y. (2019). A Review of Smart Materials: Researches and Applications, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, C 6, 755-788.
- [2] Lobo, P.S., Almeida, J., & Guerreiro, L. (2015). Shape memory alloys behaviour: a review, *Procedia Engineering*, C 114, 776-783.
- [3] Kök, M., Qader, I.N., Mohammed, S.S., Öner, E., Dağdelen, F., & Aydogdu, Y. (2019). Thermal stability and some thermodynamics analysis of heat treated quaternary CuAlNiTa shape memory alloy, *Materials Research Express*, C 7, 015702.
- [4] Mohammed, S.S., Mediha, K., Qader, I.N., & Dağdelen, F. (2019). The Developments of piezoelectric Materials and Shape Memory Alloys in Robotic Actuator Systems, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, C, 1014-1030.
- [5] Mohammed, S.S., Kok, M., Qader, I.N., Kanca, M.S., Ercan, E., Dağdelen, F., & Aydoğdu, Y. (2020). Influence of Ta Additive into Cu84-xAl13Ni3 (wt%) Shape Memory Alloy Produced by Induction Melting, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, C 44, 1167-1175.
- [6] Dagdelen, F., Balci, E., Qader, I.N., Ozen, E., Kok, M., Kanca, M.S., Abdullah, S.S., & Mohammed, S.S. (2020). Influence of the Nb Content on the Microstructure and Phase Transformation Properties of NiTiNb Shape Memory Alloys, *JOM*, C 72, 1664-1672.
- [7] Qader, I.N., Öner, E., Kok, M., Mohammed, S.S., Dağdelen, F., Kanca, M.S., & Aydoğdu, Y. (2020). Mechanical and Thermal Behavior of Cu84-xAl13Ni3Hfx Shape Memory Alloys, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, C.
- [8] Tatar, C., Acar, R., & Qader, I.N. (2020). Investigation of thermodynamic and microstructural characteristics of NiTiCu shape memory alloys produced by arc-melting method, *The European Physical Journal Plus*, C 135, 311.
- [9] Qader, I.N., Mediha, K., Dağdelen, F., & Abdullah, S.S. (2020). The Effect of Different Parameters on Shape Memory Alloys, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, C 24, 881-902.
- [10] Qader, I.N., Kok, M., & Cirak, Z.D. (2020). The effects of substituting Sn for Ni on the thermal and some other characteristics of NiTiSn shape memory alloys, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, C.
- [11] Qader, I.N., Ercan, E., Faraj, B.A.M., Kok, M., Dagdelen, F., & Aydogdu, Y. (2020). The Influence of Time-Dependent Aging Process on the Thermodynamic Parameters and Microstructures of Quaternary Cu79-Al12-Ni4-Nb5 (wt%) Shape Memory Alloy, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, C 44, 903-910.
- [12] Mohammed, S.S., Kök, M., Çirak, Z.D., Qader, I.N., Dağdelen, F., & Zardawi, H.S.A. (2020). The Relationship between Cobalt Amount and Oxidation Parameters in NiTiCo Shape Memory Alloys, *Physics of Metals and Metallography*, C 121, 1411-1417.
- [13] Balci, E., Dagdelen, F., Qader, I.N., & Kok, M. (2021). Effects of substituting Nb with V on thermal analysis and biocompatibility assessment of quaternary NiTiNbV SMA, *The European Physical Journal Plus*, C 136, 145.

- [14] Buytoz, S., Dagdelen, F., Qader, I.N., Kok, M., & Tanyildizi, B. (2019). Microstructure Analysis and Thermal Characteristics of NiTiHf Shape Memory Alloy with Different Composition, *Metals and Materials International*, C.
- [15] Dagdelen, F., Aldalawi, M.A.K., Kok, M., & Qader, I.N. (2019). Influence of Ni addition and heat treatment on phase transformation temperatures and microstructures of a ternary CuAlCr alloy, *The European Physical Journal Plus*, C 134, 66.
- [16] Kök, M., Al-Jaf, A.O.A., Çirak, Z.D., Qader, I.N., & Özen, E. (2020). Effects of heat treatment temperatures on phase transformation, thermodynamical parameters, crystal microstructure, and electrical resistivity of NiTiV shape memory alloy, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, C 139, 3405-3413.
- [17] Ercan, E., Dagdelen, F., & Qader, I.N. (2020). Effect of tantalum contents on transformation temperatures, thermal behaviors and microstructure of CuAlTa HTSMAs, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, C 139, 29-36.
- [18] Dagdelen, F., Kok, M., & Qader, I.N. (2019). Effects of Ta Content on Thermodynamic Properties and Transformation Temperatures of Shape Memory NiTi Alloy, *Metals and Materials International*, C 25, 1420-1427.
- [19] Kök, M., Zardawi, H.S.A., Qader, I.N., & Sait Kanca, M. (2019). The effects of cobalt elements addition on Ti2Ni phases, thermodynamics parameters, crystal structure and transformation temperature of NiTi shape memory alloys, *The European Physical Journal Plus*, C 134, 197.
- [20] Acar, E., Kok, M., & Qader, I.N. (2020). Exploring surface oxidation behavior of NiTi-V alloys, *The European Physical Journal Plus*, C 135, 58.
- [21] Qader, I.N., Kök, M., & Dagdelen, F. (2019). Effect of heat treatment on thermodynamics parameters, crystal and microstructure of (Cu-Al-Ni-Hf) shape memory alloy, *Physica B: Condensed Matter*, C 553, 1-5.
- [22] Zafar, M.S., Ullah, R., Qamar, Z., Fareed, M.A., Amin, F., Khurshid, Z., & Sefat, F., 2 - *Properties of dental biomaterials*, in *Advanced Dental Biomaterials*, Z. Khurshid, S. Najeeb, M.S. Zafar, and F. Sefat, Editors. 2019, Woodhead Publishing, p. 7-35.
- [23] Jin, S., Zhang, Y., Wang, Q., Zhang, D., & Zhang, S. (2013). Influence of TiN coating on the biocompatibility of medical NiTi alloy, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, C 101, 343-349.
- [24] Zhang, L., Duan, Y., Gao, Z., Ma, J., Liu, R., Liu, S., Tu, Z., Liu, Y., Bai, C., Cui, L., Yang, F., Liu, J., Kong, J., & Li, Y. (2017). Graphene enhanced anti-corrosion and biocompatibility of NiTi alloy, *NanoImpact*, C 7, 7-14.
- [25] Tao, H., Chu, C.-l., Yin, L.-h., Pu, Y.-p., Dong, Y.-s., Chao, G., Sheng, X.-b., Chung, J.-C., & Chu, P.-K. (2007). In vitro biocompatibility of titanium-nickel alloy with titanium oxide film by H₂O₂ oxidation, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, C 17, 553-557.
- [26] Lagoudas, D.C., (2008). *Shape memory alloys: modeling and engineering applications*, Springer,
- [27] Jani, J.M., Leary, M., Subic, A., & Gibson, M.A. (2014). A review of shape memory alloy research, applications and opportunities, *Materials & Design (1980-2015)*, C 56, 1078-1113.
- [28] Hu, J.W. & Noh, M.-H. (2015). Seismic response and evaluation of SDOF self-centering friction damping braces subjected to several earthquake ground motions, *Advances in Materials Science and Engineering*, C 2015.
- [29] Hayes, R.B. (1997). The carcinogenicity of metals in humans, *Cancer Causes & Control*, C 8, 371-385.
- [30] Hayashi, Y. (1992). Overview of genotoxic carcinogens and non-genotoxic carcinogens, *Experimental and Toxicologic Pathology*, C 44, 465-471.
- [31] Das, S., Kundu, M., Jena, B.C., & Mandal, M., *Chapter 25 - Causes of cancer: physical, chemical, biological carcinogens, and viruses*, in *Biomaterials for 3D Tumor Modeling*, S.C. Kundu and R.L. Reis, Editors. 2020, Elsevier, p. 607-641.
- [32] El Abedin, S.Z., Welz-Biermann, U., & Endres, F. (2005). A study on the electrodeposition of tantalum on NiTi alloy in an ionic liquid and corrosion behaviour of the coated alloy, *Electrochemistry communications*, C 7, 941-946.
- [33] YAN, X.-j., YANG, D.-z., & LIU, X.-p. (2006). Electrochemical behavior of YAG laser-welded NiTi shape memory alloy, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, C 16, 572-576.
- [34] Villermaux, F., Tabrizian, M., L'H, Y., Meunier, M., & Piron, D. (1997). Excimer laser treatment of NiTi shape memory alloy biomaterials, *Applied surface science*, C 109, 62-66.
- [35] Tan, L., Dodd, R., & Crone, W. (2003). Corrosion and wear-corrosion behavior of NiTi modified by plasma source ion implantation, *Biomaterials*, C 24, 3931-3939.
- [36] Sun, F., Sask, K., Brash, J., & Zhitomirsky, I. (2008). Surface modifications of Nitinol for biomedical applications, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, C 67, 132-139.
- [37] O'Brien, B., Carroll, W., & Kelly, M. (2002). Passivation of nitinol wire for vascular implants—a demonstration of the benefits, *Biomaterials*, C 23, 1739-1748.
- [38] Kurelec, B. (1993). The genotoxic disease syndrome, *Marine Environmental Research*, C 35, 341-348.
- [39] Martin-Camean, A., Jos, A., Mellado-Garcia, P., Iglesias-Linares, A., Solano, E., & Camean, A.M. (2015). In vitro and in vivo evidence of the cytotoxic and genotoxic effects of metal ions released by orthodontic appliances: A review, *Environmental toxicology and pharmacology*, C 40, 86-113.
- [40] Assad, M., Lemieux, N., Rivard, C., & Yahia, L.H. (1999). Comparative in vitro biocompatibility of nickel-titanium, pure nickel, pure titanium, and stainless steel: genotoxicity and atomic absorption evaluation, *Bio-medical materials and engineering*, C 9, 1-12.
- [41] Andersen, M.H., Schrama, D., thor Straten, P., & Becker, J.C. (2006). Cytotoxic T cells, *Journal of Investigative Dermatology*, C 126, 32-41.
- [42] Riss, T.L., Moravec, R.A., & Niles, A.L., *Cytotoxicity Testing: Measuring Viable Cells, Dead Cells, and Detecting Mechanism of Cell Death*, in *Mammalian Cell Viability: Methods and Protocols*, M.J. Stoddart, Editor 2011, Humana Press: Totowa, NJ. p. 103-114.
- [43] Tabish, T., Butt, T., Ali, M., Ali, M., Shaikh, R., Atiq, S., & Draghi, L. (2014). In vivo cytotoxic evaluation of Ti-Ni-Fe shape memory alloys, *Materials Technology*, C 29, 139-143.
- [44] Ariza, M.E. & Williams, M.V. (1996). Mutagenesis of AS52 cells by low concentrations of lead (II) and mercury (II), *Environmental and molecular mutagenesis*, C 27, 30-33.
- [45] Singer, B. & Grunberger, D., (2012). *Molecular biology of mutagens and carcinogens*, Springer Science & Business Media,
- [46] Adler, I.D. (2000). Spermatogenesis and mutagenicity of environmental hazards: extrapolation of genetic risk from mouse to man, *Andrologia*, C 32, 233-237.
- [47] Joshi, N., Ravindran, A., & Mahajan, V. (2011). Investigations on chemical mutagen sensitivity in onion (*Allium cepa* L.), *International Journal of Botany*, C 7, 243-248.
- [48] Christie, N.T. & Tummolo, D.M. (1989). The effect of Ni (II) on DNA replication, *Biological trace element research*, C 21, 3-12.
- [49] Campbell, A., Michel, F.-B., Bremard-Oury, C., Crampette, L., & Bousquet, J. (1996). Overview of allergic mechanisms, *Drugs*, C 52, 15-19.
- [50] Wiltshire, W.A., Ferreira, M.R., & Ligthelm, A.J. (1996). Allergies to dental materials, *Quintessence International-English Edition*, C 27, 513-520.

- [51] Baer, H. (1983). Allergic contact dermatitis from plants, *Handbook of Natural Toxins: Plant and Fungal Toxins*, C 1, 421-442.
- [52] Burrows, D. (1986). Hypersensitivity to mercury, nickel and chromium in relation to dental materials, *International dental journal*, C 36, 30-34.
- [53] Jones, T.K., Hansen, C.A., Singer, M.T., & Kessler, H.P. (1986). Dental implications of nickel hypersensitivity, *The Journal of prosthetic dentistry*, C 56, 507-509.
- [54] Al-Waheidi, E. (1995). Allergic reaction to nickel orthodontic wires: a case report, *Quintessence International*, C 26.
- [55] Rahilly, G. & Price, N. (2003). Nickel allergy and orthodontics, *Journal of orthodontics*, C 30, 171-174.
- [56] Kim, H. & Johnson, J.W. (1999). Corrosion of stainless steel, nickel-titanium, coated nickel-titanium, and titanium orthodontic wires, *The Angle Orthodontist*, C 69, 39-44.
- [57] Novikova, G. (2011). Introduction to corrosion of bioimplants, *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, C 47, 372-380.
- [58] Manivasagam, G., Dhinasekaran, D., & Rajamanickam, A. (2010). Biomedical implants: corrosion and its prevention-a review, *Recent patents on corrosion science*, C.
- [59] Jean, R.-D. & Duh, J.-B. (1995). The thermal cycling effect on Ti-Ni-Cu shape memory alloy, *Scripta metallurgica et materialia*, C 32.
- [60] Ruiz, J., Rosales, I., Gonzalez-Rodriguez, J., & Uruchurtu, J. (2010). Effect of B on the corrosion resistance of a Ni-Ti alloy in simulated human body solution, *International Journal of Electrochemical Science*, C 5, 593-604.
- [61] Iijima, M., Endo, K., Ohno, H., Yonekura, Y., & Mizoguchi, I. (2001). Corrosion behavior and surface structure of orthodontic Ni-Ti alloy wires, *Dental materials journal*, C 20, 103-113.
- [62] Yan, S., Song, G.-L., Li, Z., Wang, H., Zheng, D., Cao, F., Horynova, M., Dargusch, M.S., & Zhou, L. (2018). A state-of-the-art review on passivation and biofouling of Ti and its alloys in marine environments, *Journal of Materials Science & Technology*, C 34, 421-435.
- [63] Dutta, R.S., Madangopal, K., Gadiyar, H.S., & Banerjee, S. (1993). Biocompatibility of Ni-Ti shape memory alloy, *British Corrosion Journal*, C 28, 217-221.
- [64] Sato, N. & Okamoto, G., Electrochemical passivation of metals, in *Electrochemical Materials Science 1981*, Springer. p. 193-245.
- [65] Simka, W., Kaczmarek, M., Baron-Wiecheć, A., Nawrat, G., Marciniak, J., & Żak, J. (2010). Electropolishing and passivation of NiTi shape memory alloy, *Electrochimica Acta*, C 55, 2437-2441.
- [66] Barison, S., Cattarin, S., Daolio, S., Musiani, M., & Tuissi, A. (2004). Characterisation of surface oxidation of nickel-titanium alloy by ion-beam and electrochemical techniques, *Electrochimica Acta*, C 50, 11-18.
- [67] Chu, C.L., Wang, R.M., Hu, T., Yin, L.H., Pu, Y.P., Lin, P.H., Wu, S.L., Chung, C.Y., Yeung, K.W.K., & Chu, P.K. (2008). Surface structure and biomedical properties of chemically polished and electropolished NiTi shape memory alloys, *Materials Science and Engineering: C*, C 28, 1430-1434.



INVESTIGATE OF MICROHARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF Ti-Ni-Nb-X (Ta AND V) SHAPE MEMORY ALLOYS

Esra Balci^{*1} , Fethi Dağdelen¹ 

¹Firat University, Faculty of Science, Department of Physics, Elazig, Turkey

Abstract

Conference paper

In this study, based on designed Ti-50Ni, Ti-27Ni-23Nb, and Ti-27Ni-19Nb-4X (Ta and V) SMAs were prepared using arc melting. The microhardness and microstructure of the prepared alloys were examined. The optical microscope (OM) and Scanning Electron Microscopy (SEM) images can be noted that Nb, Ta, and V addition in substitution to nickel causes a change in the microstructure morphology of TiNi Shape Memory Alloy at room temperature. The microhardness results shown that when V and Ta elements were added to SMAs, the microhardness of the alloys was significantly increased. Microhardness measurements were determined by taking the alloys from random positions. The microhardness value of equal atomic Ti-Ni SMA was found to 243 HV_{0.3}. This value was determined to 354 HV_{0.3} in the Ti-27Ni-23Nb ternary SMA. By the addition of Ta into the Ti-Ni-Nb alloy, the microhardness value was enhanced to approximately 380 HV_{0.3}, additionally, moreover, by adding Vanadium element to the ternary alloy, the microhardness was increased to about 500 HV_{0.3}.

Keywords: TiNiNbV; TiNiNbTa; shape memory alloy; microhardness; optical microscope.

Ti-Ni-Nb-X (Ta ve V) ŞEKİL HATIRLAMALI ALAŞIMLARIN MİKROYAPISI VE MİKROSERTLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Özet

Konferans bildirisi

Bu çalışmada hazırlanan Ti-50Ni, Ti-27Ni-23Nb, ve Ti-27Ni-19Nb-4X (Ta ve V) şekil hatırlamalı alaşımlar ark ergitme metodu kullanılarak oluşturuldu. Hazırlanan alaşımların mikrosertlik ve mikroyapıları incelendi. Optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri, TiNi bazlı şekil hatırlamalı alaşımlara ilave olarak katılanmış Ta, V ve Nb elementleri ile oda sıcaklığında alınan analizleri ile mikro yapı morfolojilerinde değişiklikler gözlemlendi. Mikrosertlik sonuçları, şekil hatırlamalı alaşımlara V ve Ta elementleri katıldığında bu sonuçların değerini artırdığı tespit edilmiştir. Mikrosertlik ölçümleri alaşımlardan rastgele konumlardan alınarak belirlendi. Atomikçe eşit olan Ti-Ni ikili şekil hatırlamalı alaşımlarda bulunan mikrosertlik ölçüm sonucu 243 HV_{0.3} olarak bulundu. Bu değer Ti-27Ni-23Nb üçlü şekil hatırlamalı alaşımlar için 354 HV_{0.3} bulundu. Ti-Ni-Nb alaşımına Ta ilavesi ile mikrosertlik değeri yaklaşık 380 HV_{0.3} ye yükselmiştir. Ayrıca, üçlü şekil hatırlamalı alaşıma V elementi katılması sonucunda mikrosertlik ölçüm değeri 500 HV_{0.3} olmuştur.

Anahtar Kelimeler: TiNiNbV; TiNiNbTa; Şekil hatırlamalı alaşım; mikrosertlik; optik mikroskop

1 Introduction

“Shape memory” defines the ability to memorize its shape and returning to the original shape of the plastically deformed sample by applying thermomechanical or heat [1-3]. Shape memory alloys (SMAs) have been classified as a type of smart material with different families that are based on a binary alloy. In TiNi alloys, the importance of shape memory alloys has come to light with the shape memory effect [4, 5]. NiTi-based alloy systems have been studied most extensively and are used in the greatest number of commercial applications. The equiatomic NiTi

alloy has superior properties, such as superelasticity [6], high corrosion resistance [7], high fatigue strength, and biocompatibility [8, 9]. These alloys have attracted considerable attention in recent years since they can exhibit wide transformation hysteresis and excellent ductility [10-14]. The shape memory effect is a result of the martensitic transformation that occurs in plastically deforming alloy [15]. On the other hand, TiNi alloy has a crystallographic structure that depends on two different temperatures [16]. Such as high-temperature austenite (cubic crystal structure-B2) and lower temperature martensite (monoclinic crystal structure B19/). Because of this reason,

* Corresponding author.

E-mail address: eesra0122@gmail.com (E. Balci)

Received 1 July 2021; Received in revised form 31 August 2021; Accepted 22 September 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.960655>

the microhardness of the other phases may be different in shape memory alloys. It is well known that the microhardness of the austenite phase has higher than the martensite phase in TiNi-based alloys [17]. Moreover, taking into account variations in different temperatures, stress-induced austenite phase to martensite phase transformation may occur during the microhardness test [17]. Many researchers studied how thermo-mechanical treatments can affect the microstructural and crystalline structures of alloys, to manipulate certain mechanical or thermal properties [18]. Moreover, thermomechanical treatment, the effect of aging, and the addition of new elements to form such as ternary or quaternary of the Ti-Ni-based alloy are of great interest [19-21]. Therefore, to improve NiTi alloy, the Ni concentration can be reduced by replacing it with a third and fourth element, such as Ta, Nb, V, Sn. Mareci et al. reported that the substituting of Ni with Nb in NiTiNb alloy increased the resistance of NiTi shape memory alloy to localized corrosion [22]. In another study, Balci et al. found that the dendritic microstructure of the shape memory alloys prepared in different proportions were different in terms of composition, e.g., although Ti element has a higher ratio, from the EDX analysis and SEM images showed that the dendritic structure observed of in the Ni₂₇Ti₅₀Nb₂₁V₂ (at.%) alloy almost consist of Nb [23]. Although the thermal and microstructural properties of Ni-Ti-based alloys have been studied in large numbers in literature, there are almost no studies on the microhardness properties of NiTiNb-4Ta and NiTiNb-V4 SMAs.

This study aims to compare the microhardness and OM and SEM images of TiNi, TiNiNb, and TiNiNb-X (X =V or Ta). The alloys were produced by an arc-melting method and in the same environmental conditions. Microhardness; OM and SEM images of these alloys were examined.

2 Experimental Procedure

Ti, Ni, Nb, Ta, and V powder, with high purity (99.9%), elements were used for preparing five different blended by a mechanical mixer. Three different ratios of these powders were chosen to prepare Ni₂₇Ti₅₀ (named F1), Ni₂₇Ti₅₀Nb₂₃(named F2), Ni₂₇Ti₅₀Nb₁₉Ta₄(named F3), and Ni₂₇Ti₅₀Nb₂₁V₄ (named F4). These compositions with powder materials were pressed under 5x10³ kg-force to become disk pellets. They were taken by arc-melting device and then argon was added to the chamber to avoid oxidation. Samples for microscopic observation were mechanically polished and chemically etched in a solution of (HF+NOH₃+H₂O: 1:2:5) for approximately 5 sec. The microstructures were observed by optic Microstructure Clemex Software-Nikon Eclipse MA200 and by Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDX) device. The microhardness was measured for 10 seconds under 300 g-force load using Durascan Emcotest 20 model microhardness tester. The average of five measurements taken was evaluated for the microhardness test.

3 Results and Discussion

Firstly, the percentage (at %) contents and coding of the shape memory alloys prepared for this study are shown in Table 1. More than one method can be found in the literature for Microhardness test analysis of materials. There are three principal standard test methods for expressing the relationship between hardness. These methods; Brinell, Rockwell, and Vickers [17]. In this study, the microhardness test of the shape memory alloys was made using Vickers hardness measurement method and it was obtained from five different regions by Duramin Microhardness tester (Struers, Denmark) with a load of 30 g for 10 s. Microhardness measurements were determined by taking the alloys from random positions. The average microhardness results of the alloys are given in Table 2.

Table 1. The atomic and weight composition of alloys prepared by arc-melting method.

Samples	Concentration (at.%)					Concentration (wt.%)				
	Ti	Ni	Nb	Ta	V	Ti	Ni	Nb	Ta	V
F1	50	50	-	-	-	55.1	44.9	0	0	0
F2	50	27	23	-	-	25.9	39.1	34.9	0	0
F3	50	27	19	4	-	37.1	24.4	27.3	11.2	0
F4	50	27	19	-	4	40.2	26.7	29.7	0	3.4

Table 2. The atomic and weight composition of alloys prepared by arc-melting method.

Sample	Microhardness (HV _{0.3})	Standard Deviation
F1	243	3
F2	354	1
F3	394	3
F4	508	21

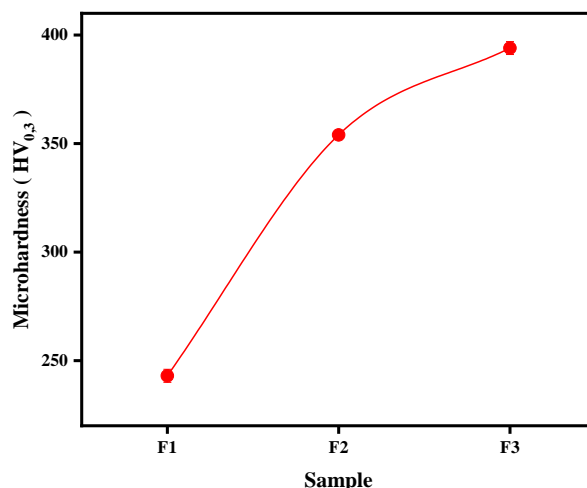


Figure 1. Microhardness measurement of NiTi based and addition different ration Nb (19%at.) and Ta (4%at.) elements.

When Table 2 examined, microhardness measurement results have increased as a result of different elements added to NiTi SMAs.

Figure 1 shows the microhardness measurement of NiTi-based and addition different ration Nb (% 19) and Ta (%4) elements. According to these results, adding by Nb element and the added Ta element at the rate of 4 percent

increased the microhardness. The average microhardness measurement results were found to be 243 HV_{0.3} in Ni50Ti50, 354 HV_{0.3} in Ni27Ti50Nb23 ternary SMA. In another study, it was determined that the Sn element added to NiTi-based shape memory alloys in different proportions changed between 180-455 HV as a result of microhardness [24]. Also, in a study by C.Tatar et al., NiTiCu found to the microhardness measurement results of

the shape memory alloy between approximately 200-500 HV_{0.3} [25]. Figure 2 illustrates the microhardness results of Ni-50Ti, Ni-50Ti-23Nb, and Ni-50Ti-19Nb-4V shape memory alloys. The microhardness measurement result of the V element with 4 percent contribution was found to be 508 HV_{0.3} on average. When element V was added to NiTiNb alloy, it was determined that its microhardness was the highest.

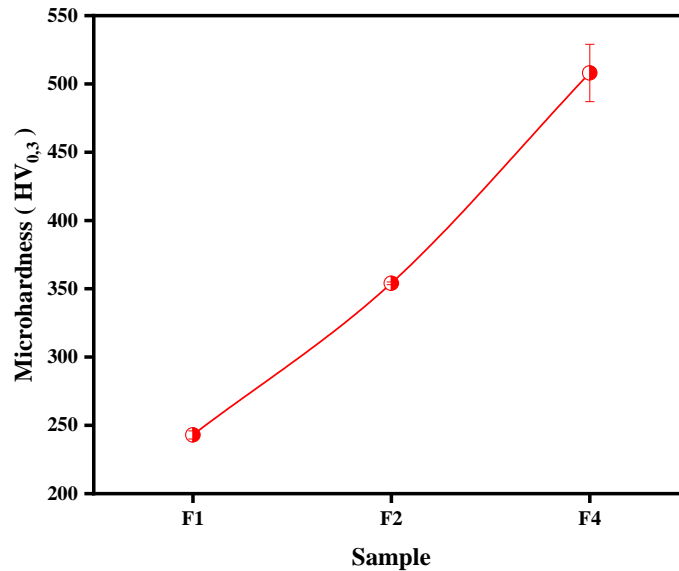


Figure 2. Microhardness measurement of NiTi based and addition different ration Nb (19%.at.) and Ta (4%.at.) elements.

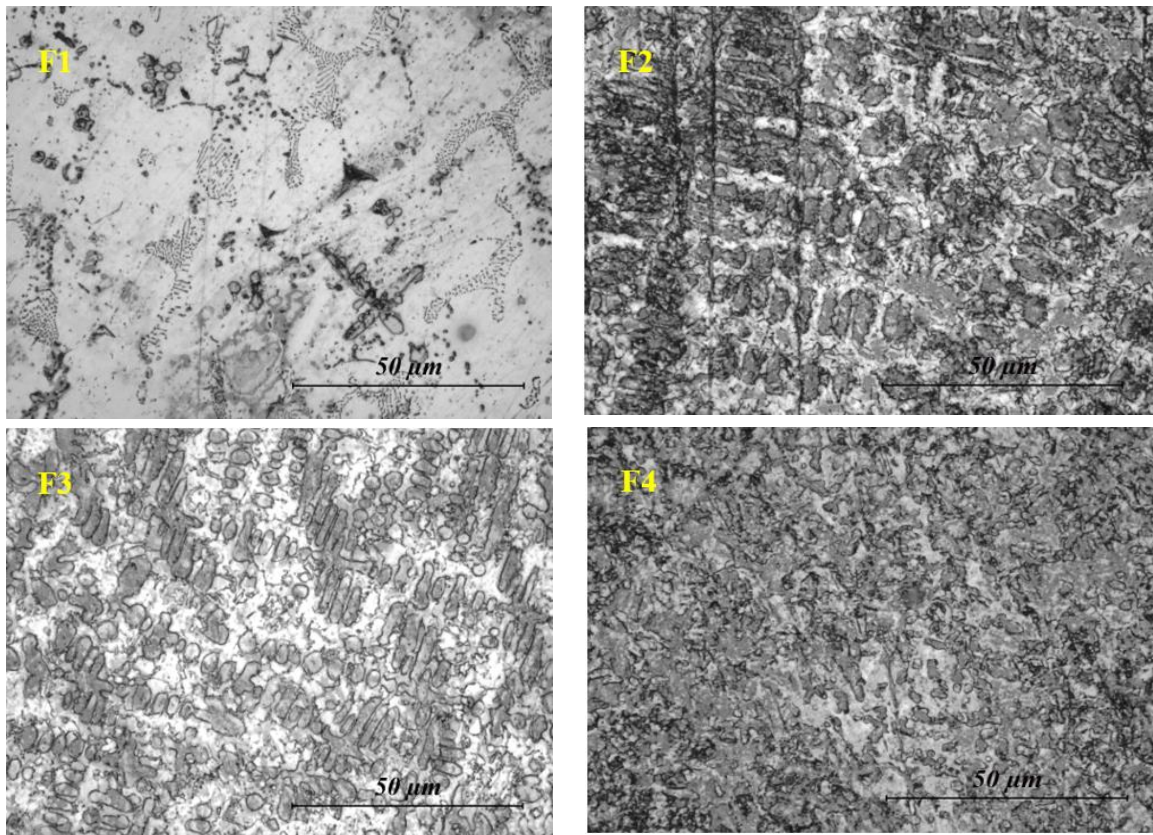


Figure 3. Optical microscope images of shape memory alloys.

Optical microstructure of NiTi shape reminder alloys is given in Figure 3 and its SEM view is given in Figure 4. The optical microstructure of the shape memory alloy with Ni and Ti elements shows that the NiTi main structure is an irregular microstructure (sample F1). The NiTiNb SMA

(sample F2) structure produced by adding Nb to the structure performed a more regular dendritic solidification than the sample without Nb addition. It is clear that solidification occurs with the effect of the fourth element such as Ta and V on the structure with a much finer and

smooth formation compared to the dendritic formation mechanism, as in the F3 and F4 samples. Furthermore, as can be seen in Figure 3 and Figure 4, primary dendritic arms are quite long in F2 and F3 samples. According to the EDS result, the primary dendrite arm is solidified with elements of at.63.19Nb%, at.32.63Ti, and the remainder Ni. The primary dendrite arm in the Ta added microstructure consisted of the elements at.56.89Nb, at.33.21% Ti at. It can be seen in the optical and SEM microstructure in Figure 3 and Figure 4 that it achieves a

finer and homogeneous dendritic solidification with the effect of the Ta element. However, the structure of NiTiNbV SMA was quite different from other samples. Matrix structure 57.88%Ti, 31.21% Ni, 5.55%Nb and 5.36% V (at.) secondary phase 44.22%Ti, 37.99%Ni, 13.28%Nb (at.). It exhibited solidification from the 4,50V elements. It can be seen in Figure 2 that the secondary phases in the F4 sample, which exhibit a fairly homogeneous structure, also positively affect the mechanical properties of the shape memory material.

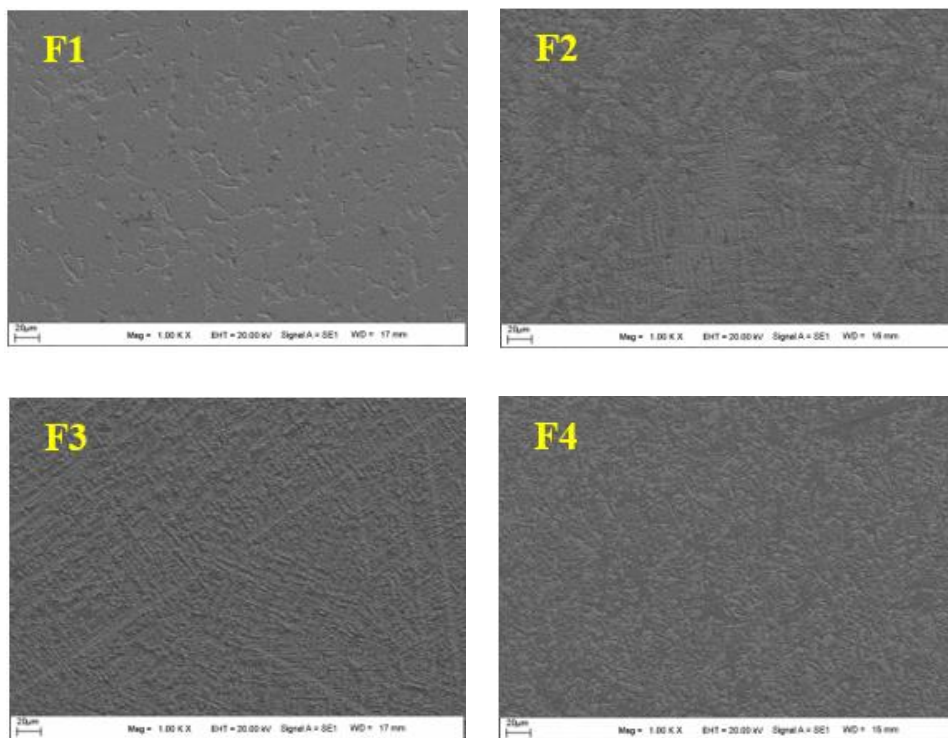


Figure 4. SEM images of shape memory alloy.

4 Conclusion

According to the obtained in NiTi-based shape memory alloys prepared, the main outcomes are as follows:

- Adding Nb, Ta, V elements to NiTi shape memory alloys increases the micro-hardness of alloy.
- When the microhardness measurement results of NiTiNb-4Ta and NiTiNb-4V shape memory alloys are compared, the NiTiNb-4V SMA has a high microhardness.
- The surface morphology analysis shows that the NiTiNb, NiTiNbTa, and NiTiNbV SMAs consist of irregular dendritic forms. The dendritic solidification of the alloys changes the mechanical properties of the alloy and increases its microhardness.
- The dendrite arms of NiTiNb based alloys consist of Nb-rich structure phase.

Declaration

This study titled "Investigate of Microhardness and Microstructure of Ti-Ni-Nb-X (Ta and V) Shape Memory Alloys" was presented at PCFM 2021.

Ethics committee approval is not required for this study.

References

- [1] Stöckel, D. (1995). The shape memory effect-phenomenon, alloys and applications. *California*, 94539, 1-13.
- [2] Sathiya, P., & Ramesh, T. (2017). Experimental investigation and characterization of laser welded NiTiInol shape memory alloys. *Journal of Manufacturing Processes*, 25, 253-261.
- [3] Jani, J. M., Leary, M., Subic, A., & Gibson, M. A. (2014). A review of shape memory alloy research, applications and opportunities. *Materials & Design* (1980-2015), 56, 1078-1113.
- [4] Buehler, W. J., Gilfrich, J. V., & Wiley, R. C. (1963). Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. *Journal of applied physics*, 34(5), 1475-1477.
- [5] Kauffman, G. B., & Mayo, I. (1997). The story of nitinol: the serendipitous discovery of the memory metal and its applications. *The chemical educator*, 2(2), 1-21.
- [6] Zhao, D., Guo, Y., Jiang, K., & Zhang, H. (2017). Preparation and selective laser sintering of bamboo flour/copolyester composite and post-processing. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 30(8), 1045-1055.

- [7] Richman, R. H., Rao, A. S., & Hodgson, D. E. (1992). Cavitation erosion of two NiTi alloys. *Wear*, 157(2), 401-407.
- [8] Kaya, I., Tobe, H., Karaca, H. E., Acar, E., & Chumlyakov, Y. (2016). Shape memory behavior of [111]-oriented NiTi single crystals after stress-assisted aging. *Acta Metallurgica Sinica (English letters)*, 29(3), 282-286.
- [9] Wu, S. K., Lin, H. C., & Yeh, C. H. (2000). A comparison of the cavitation erosion resistance of TiNi alloys, SUS304 stainless steel and Ni-based self-fluxing alloy. *Wear*, 244(1-2), 85-93.
- [10] Sui, J. H., Gao, Z. Y., Li, Y. F., Zhang, Z. G., & Cai, W. (2009). A study on NiTiNbCo shape memory alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 508(1-2), 33-36.
- [11] Piao, M., Miyazaki, S., & Otsuka, K. (1992). Characteristics of deformation and transformation in Ti44Ni47Nb9 shape memory alloy. *Materials Transactions, JIM*, 33(4), 346-353.
- [12] Zhang, C. S., Zhao, L. C., Duerig, T. W., & Wayman, C. M. (1990). Effects of deformation on the transformation hysteresis and shape memory effect in a Ni47Ti44Nb9 alloy. *Scripta Metallurgica et Materialia*, 24(9), 1807-1812.
- [13] Zhang, C. S., Wang, Y. Q., Chai, W., & Zhao, L. C. (1991). The study of constitutional phases in a Ni47Ti44Nb9 shape memory alloy. *Materials Chemistry and Physics*, 28(1), 43-50.
- [14] He, X. M., Rong, L. J., Yan, D. S., & Li, Y. Y. (2005). Temperature memory effect of Ni47Ti44Nb9 wide hysteresis shape memory alloy. *Scripta materialia*, 53(12), 1411-1415.
- [15] Otsuka, K., & Wayman, C. M. (Eds.). (1999). *Shape memory materials*. Cambridge university press.
- [16] Bradley, T. G., Brantley, W. A., & Culbertson, B. M. (1996). Differential scanning calorimetry (DSC) analyses of superelastic and nonsuperelastic nickel-titanium orthodontic wires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 109(6), 589-597.
- [17] Elahinia, M. H. (2016). *Shape memory alloy actuators: design, fabrication, and experimental evaluation*. John Wiley & Sons.
- [18] Dagdelen, F., Kok, M., & Qader, I. N. (2019). Effects of Ta content on thermodynamic properties and transformation temperatures of shape memory NiTi alloy. *Metals and Materials International*, 25(6), 1420-1427.
- [19] K k, M., & Ateş, G. (2017). The effect of addition of various elements on properties of NiTi-based shape memory alloys for biomedical application. *The European Physical Journal Plus*, 132(4), 1-6.
- [20] Chluba, C., Ge, W., de Miranda, R. L., Strobel, J., Kienle, L., Quandt, E., & Wuttig, M. (2015). Ultralow-fatigue shape memory alloy films. *Science*, 348(6238), 1004-1007.
- [21] Aboutalebi, M. R., Karimzadeh, M., Salehi, M. T., Abbasi, S. M., & Morakabati, M. (2015). Influences of aging and thermomechanical treatments on the martensitic transformation and superelasticity of highly Ni-rich Ti-51.5 at.% Ni shape memory alloy. *Thermochimica Acta*, 616, 14-19.
- [22] Mareci, D., Chelariu, R., Cailean, A., & Sutiman, D. (2012). Electrochemical characterization of Ni47. 7Ti37. 8Nb14. 5 shape memory alloy in artificial saliva. *Materials and Corrosion*, 63(9), 807-812.
- [23] Balci, E., Dagdelen, F., Qader, I. N., & Kok, M. (2021). Effects of substituting Nb with V on thermal analysis and biocompatibility assessment of quaternary NiTiNbV SMA. *The European Physical Journal Plus*, 136(2), 1-13.
- [24] Qader, I. N., Kok, M., & Cirak, Z. D. (2021). The effects of substituting Sn for Ni on the thermal and some other characteristics of NiTiSn shape memory alloys. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 145(2), 279-288.
- [25] Tatar, C., Acar, R., & Qader, I. N. (2020). Investigation of thermodynamic and microstructural characteristics of NiTiCu shape memory alloys produced by arc-melting method. *The European Physical Journal Plus*, 135(3), 1-11



THE ROLE OF INSPECTORS IN CREATING A SAFETY CULTURE IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Hasan Tuna^{*1}, Sirer Albayrak²

¹Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Doğan MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, 29600 Gümüşhane, Türkiye

²Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 04200 Ağrı, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

Occupational accidents are one of the most important problems faced by employees in their working lives. Many legislation and institutional arrangements have been made in order to prevent accidents that may occur during the working life of humanity and to create a healthy environment for employees. Despite this, many accidents still occur in the workplace. Recently, the concept of safety culture has been emphasized in the prevention of occupational accidents. In this study, it is aimed to determine how the safety culture levels of the workers in the construction sector are affected by the demographic characteristics and the field supervisors in the construction. The study sample consists of a total of 130 people in 5 different companies operating in the construction sector in Ankara, Istanbul, Ağrı and Sivas, determined by simple sampling method. As a data collection tool, 8 different scales adapted into Turkish by Dursun (2011) were used. Parametric tests were used because the data showed a normal distribution. According to the findings of the research, it has been determined that the safety perception of the employees in the workplaces where the field supervisor works is significantly high in the dimensions of safety culture other than fatalism. In addition, significant relationships were determined between demographic characteristics such as marital status, work experience, educational status and safety culture dimensions. It is thought that Increasing training activities, improving management's attitudes and behaviors, eliminating fatalism, taking measures to increase awareness and competence, ensuring the active participation of employees in safety, establishing effective communication, developing a reporting culture and employing field supervisors in a certain number of workplaces will contribute to reducing occupational accidents.

Keywords: Safety culture, occupational accidents, construction, supervisor.

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ÇALIŞANLARIN GÜVENLİK KÜLTÜRÜNÜN OLUŞTURULMASINDA SAHA GÖZETMENLERİNİN ROLÜ

Özet

Orjinal bilimsel makale

İş kazaları çalışanların çalışma hayatlarında karşılaştıkları en önemli sorunlardan biridir. İnsanlığın çalışma hayatı boyunca olabilecek kazaları engelleme ve çalışanlara sağlıklı bir ortam oluşturmak amacıyla birçok mevzuat ve kurumsal düzenlemeler yapılmıştır. Buna rağmen, işyerlerinde hâlâ birçok kaza meydana gelmektedir. Son zamanlarda iş kazalarının önlenmesi konusunda güvenlik kültürü kavramının üzerinde önemle durulmaktadır. Bu çalışmada, inşaat sektöründe çalışanların güvenlik kültürü düzeylerinin demografik özelliklerinden ve inşaatta görevli saha gözetmenlerinden ne şekilde etkilendiğini tespit etmek amaçlanmıştır. Çalışmanın örneklemini, basit örnekleme yöntemiyle saptanan, inşaat sektöründe faaliyette bulunan Ankara, İstanbul, Ağrı ve Sivas illerindeki 5 farklı firmada çalışan toplam 130 kişi oluşturmaktadır. Veri toplama aracı olarak Dursun (2011) tarafından Türkçe'ye uyarlanan 8 farklı ölçek kullanılmıştır. Veriler normal dağılım gösterdiği için parametrik testler kullanılmıştır. Araştırmanın bulgularına göre kadercilik dışındaki güvenlik kültürü boyutlarında saha gözetmeninin görev yaptığı işyerlerindeki çalışanların güvenlik algılarının anlamlı şekilde yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca medeni durum, iş tecrübesi, eğitim düzeyi gibi demografik özelliklerle güvenlik kültürü boyutları arasında anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Eğitim faaliyetlerinin artırılması, yönetimin tutum ve davranışlarının geliştirilmesi, kadercilik anlayışının ortadan kaldırılması, farkındalığı ve yetkinliği artırıcı tedbirlerin alınması, çalışanların güvenliğe aktif katılımının sağlanması, etkili iletişimin kurulması, raporlama kültürünün geliştirilmesi ve belli sayıda çalışanı bulunan işyerlerinde saha gözetmenlerinin istihdam edilerek iş kazalarının azaltılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güvenlik kültürü, iş kazaları, inşaat, saha gözetmeni.

* Corresponding author.

E-mail address: hasan.tuna@gumushane.edu.tr (H. Tuna)

Received 20 August 2021; Received in revised form 15 September 2021; Accepted 6 October 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.985083>

1 Giriş

İnşaat sektörü finansal büyüklüğü ve sağladığı işgücü imkânlarıyla Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir [1]. Türkiye’de faaliyet gösteren firmaların 2019 yılı itibarıyla %8.24’ünü oluşturan inşaat firmalarında çalışan sayısı 1294788’dir [2]. İnşaat sektöründeki ciddi tehlikeler, bu faaliyet alanının kendine özgü özelliklerinden dolayı çalışanların hayatını tehdit etmektedir [3]. Çok tehlikeli işler sınıfında yer alan inşaat sektöründe [4] iş kazaları sonucu meydana gelen yaralanma, iş gücü kayıpları ve ölümler varlığını devam ettirmektedir.

Sosyal Güvenlik Kurumunun (SGK) 2019 yılı iş kazası istatistiklerine göre, “Bina İnşaatı”, “Bina Dışı Yapıların İnşaatı” ve “Özel İnşaat Faaliyetleri” bir arada değerlendirildiğinde inşaat sektöründe 47701 kaza meydana gelmiştir. 2019 yılı içerisindeki tüm iş kazalarının %11.3’ü inşaat sektöründe yaşanırken, aynı yılda 368 inşaat çalışanı iş kazasına bağlı sebeplerden dolayı hayatını kaybetmiş, 1586 inşaat çalışanı ise iş kazası sonucu sürekli iş göremez hâle gelmiştir. Türkiye’de 2019 yılında meydana gelen tüm iş göremezliklerin %36.73’ü inşaat sektöründe yaşanırken iş kazasına bağlı tüm ölümlerin %32.1’i inşaat çalışanlarından oluşmaktadır [2]. Ayrıca Türkiye’de sigortasız çalışmanın yaygın olduğu ve SGK istatistiklerinin sadece sigortalıları kapsadığı göz önünde bulundurulduğunda, gerçek sayının resmi kayıtların üzerinde olduğu açıktır [5]. İş kazalarını önlenmeye yönelik, geçmiş yıllardan günümüze kadar birçok yasal ve kurumsal anlamda düzenlemeler yapılmasına rağmen iş kazası istatistikleri, yapılan çalışmaların çok fazla başarıya ulaşamadığını göstermektedir. Buradan hareketle iş kazalarını sadece teknik bir mesele olarak görmeyip aynı zamanda insan faktörünün de dikkate alınması gerekmektedir [6].

İş kazalarını önleyici veya azaltıcı faaliyetler açısından alınan ilk tedbirler, çoğunlukla teknik konuların çözülmesi ve fiziksel tehlikelerin ortadan kaldırılması konularını kapsamaktadır. Ancak sorunu çözmede bu teknik önlemlerin yeterli olmadığı anlaşıncaya, araştırmacılar insan faktörünü incelemeye başlamışlardır. Bu incelemelere göre, iş kazalarının yaklaşık %90’ına kişilerin güvensiz davranışları sebep olmaktadır [7]. Bu durumun iş kazalarının önlenmesi konusunda güvenlik kültürü kavramının da önemini ortaya koyduğunu göstermektedir.

Güvenlik kültürü kavramı ilk kez Çernobil’de (Ukrayna) 1986 yılında meydana gelen nükleer bir kaza için hazırlanan raporlarda bahsedilmiştir. İlerleyen zamanlarda iş kazalarının önlenmesi konusunda üzerinde önemle durulan bir kavram olmuştur [8]. Carroll (1998) güvenlik kültürünü, “güvenlik hakkında bireysel ve örgütsel tutumlar ile örgütsel kararları etkileyen, paylaşılan değerler, inançlar, varsayımlar ve normlardır” şeklinde tanımlarken [9] Cooper (2000) ise “bütün örgüt üyelerini yönlendiren günlük temelde güvenliği arttırmaya yönelik ilgi ve eylemleriyle ilgili görünür çabaların seviyesidir” şeklinde ifade etmiştir [10]. İşyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinde çalışanların iş kazası ile meslek hastalığını önlemede iş güvenliği boyutunu kültürel olarak işveren ve çalışan ile beraber yerleşik hale getirmenin temel adımı güvenlik kültürüdür. Çalışan, işveren ve işletme bu kültürün birer öznesidir. Birbirleri ile etkileşimli

ve sistematik bir uyum ile bağlantı kurulursa her bir özne yapması gerekeni sağlıklı ve güvenli olarak yürütebilir [11].

Güvenlik kültürü ile ilgili hem teorik hem de uygulama düzeyinde birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar güvenlik kültürünün sağlıklı ve güvenli bir çalışma çevresi oluşturulmasında önemli bir faktör olduğunu göstermiştir [8, 12-18]. Güvenlik kültürü kavramı, kaza oluşumlarını ve buna bağlı olarak iş yaralanmalarını azaltma üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle gerekliliği uzmanlar tarafından kabul edilmektedir [17].

İnşaat sektörü, güvenlik ve sağlık açısından elverişsiz koşullar altında açık havada gerçekleştirilmesi ve meydana gelen kazaların çoğunun tekrarlayan ve ciddi olması bu sektörün benzersiz olduğunu göstermektedir [19]. Kazalara neden olan faktörler arasında insan davranışı, farklı tehlikeleri bir arada barındıran şantiye alanları, işin zorlukları, güvenlik kültürünün düşük olması, saha gözetmeninin olmayışı, makine ve ekipmanın güvenli olmayan kullanımı ve çeşitli çalışma prosedürlerine uyulmaması sayılabilir. İnşaat sektörü makul ve verimli güvenlik denetimi bulmaya çalışsa da büyük ölçüde önleyici olarak kullanılan sistemler kapsamlı değildir ve gerçekten ihtiyaç duyulan önleyici tedbirlerden yoksundur. Bu nedenle, işverenlerin güvenlik davranışına ve nihayetinde güvenlik uyumluluğuna yol açan daha bütünsel taktik ve yaklaşımları benimsemeleri gerekmektedir. Başka bir deyişle, bu yaklaşımlar sadece fiziksel çalışma ortamını iyileştirmeye değil, aynı zamanda çalışanın iş ile ilgili inanç, tutum ve davranışlarını da istendik yönde şekillendirmeye odaklanmalıdır [20]. Güvenlik kültürü olgunluğu, yaralanma ve ölüm oranlarının istatistiksel olarak yüksek olduğu inşaat gibi sektörlerde güvenli olmayan davranışların önlenmesi için kritik öneme sahiptir. Son yıllarda, güvenlik kültürü kavramının rolü ve güvenlik uygulamaları üzerindeki etkisi, inşaat sektörü uzmanları ve bu alanda çalışan bilim adamlarının dikkatini çekmiştir [17].

Güvenlik alanında inşaat güvenliği her zaman kilit bir konu olmuştur ve inşaat sektörü, tüm sektör ortalamasından sürekli olarak çok daha yüksek olan kaza ve buna bağlı olarak yaralanma ve ölüm oranlarıyla en tehlikeli endüstriyel sektörlerden biri olarak kötü bir ün kazanmıştır [21]. İnşaat sektöründe saha güvenliğini arttırmak zor ve çok boyutlu bir iştir. Saha güvenliği üzerindeki etkiler birden fazla kaynaktan gelişir. Çoğu zaman, şantiye güvenliği sorumluluğu yönetim tarafından şantiye şefi/ustabaşına devredilir [22]. İnşaatlarda güvenlik ve sağlık programlarının düzgün bir şekilde uygulanması için saha gözetmenlerinin önemine uzun zamandır dikkat çekilmektedir [23]. 2012 Londra Olimpiyatları için yürütülen inşaat projeleri sırasında yapılan araştırmalarda, saha gözetmenlerinin etkinliğinin etkili saha güvenliği uygulamalarını geliştirdiği tespit edilmiştir [24]. Lingard ve ark. (2012) üst düzey yöneticilere ve güvenlik yöneticilerine kıyasla saha gözetmenlerinin güvenlik üzerinde önemli bir etkiye sahip olma olasılığının daha yüksek olduğunu saptamışlardır [25]. Saha gözetmenleri, bir inşaat organizasyonunun hiyerarşik seviyeleri arasında çalışanlarla en sık iletişime geçer ve bundan dolayı çalışanların güvenlik performansı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir [26]. Buradan hareketle, bu çalışmada inşaat sektöründe çalışanların güvenlik

kültürü düzeylerinin demografik özelliklerinden ve inşaatla görevli saha gözetmenlerinden ne şekilde etkilendiğinin tespiti amaçlanmıştır.

2 Materyal ve Yöntem

2.1 Araştırmanın Şekli

Dursun (2011) tarafından Türkçe'ye uyarlanan sekiz farklı ölçekten oluşan güvenlik kültürü anket formu kullanılmıştır. Nicel veriler betimsel araştırma kapsamındaki genel tarama modeli ile toplanmıştır.

2.2 Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini; Ankara, İstanbul, Ağrı ve Sivas illerinde bulunan 5 farklı inşaat firmalarındaki çalışanlar, örneklemini ise basit örnekleme yöntemiyle saptanan 130 çalışan oluşturmaktadır. Çalışmamızda saha gözetmeninin çalışanların güvenlik kültürü üzerine etkisini belirlemek için Ankara ve İstanbul illerinde saha gözetmeni bulunan orta ölçekli inşaat firmalarındaki çalışanlar ile saha gözetmeni bulunmayan Ağrı ve Sivas illerindeki orta ölçekli firmalardaki çalışanlar çalışma grubunu oluşturmuştur. İnşaat firmaları orta ölçekli ve saha gözetmeni istihdam edilip edilmeme faktörleri göz önüne alınarak seçilmiştir.

2.3 Araştırma Verilerinin Toplanması ve Analizi

Çalışanların güvenlik kültürünü tespit etmek için farklı alt boyutları olan farklı ölçekler literatürde kullanılmaktadır. Çalışmamızda hem geçerliliği ve güvenilirliği yüksek hem de yapı sektörüne uygun olmasından dolayı Dursun (2011) tarafından uygulanan ölçekler kullanılmıştır.

Yönetim Bağlılığı: İnşaat sektöründe yöneticilerin çalışanların güvenliğine bağlılığını değerlendirmek için 8 madde ve 2 alt boyuttan (4 madde yöneticilerin tutumları ve 4 madde yöneticilerin davranışları) oluşan Muniz ve ark. (2007) tarafından geliştirilen ölçek kullanılmıştır [27].

Güvenlik Önceliği: İnşaat sektöründe çalışanların iş güvenliğinin taşıdığı önem düzeyini nasıl algıladıklarını değerlendirmek için 4 maddeden oluşan Cox ve Cheyne (2000) tarafından geliştirilen ölçek kullanılmıştır [28].

Güvenlik İletişimi: İnşaat sektöründe çalışanların yönetim ile arasındaki iletişimi güvenlik açısından değerlendirmek için 5 maddeden oluşan Neal ve ark. (2000) tarafından geliştirilen ölçek kullanılmıştır [29].

Güvenlik Eğitimi: İnşaat sektöründe verilen güvenlik eğitimi ile ilgili çalışanların algılarını değerlendirmek için

4 maddeden oluşan Neal ve ark. (2000) tarafından geliştirilen ölçek kullanılmıştır [29].

Güvenlik Farkındalığı ve Yetkinlik: İnşaat sektöründe çalışanların güvenlik farkındalığı ile güvenlik sorunlarıyla başa çıkabilme yetkinliğini değerlendirmek için 5 maddeden oluşan Lin ve ark. (2008) tarafından geliştirilen ölçek kullanılmıştır [30].

Çalışanların Katılımı: İnşaat sektöründe çalışanların güvenlik çalışmalarına katılımını değerlendirmek için 4 maddeden oluşan Muniz ve ark. (2007) tarafından geliştirilen ölçek kullanılmıştır [27].

Kadercilik: İnşaat sektöründe çalışanların iş kazalarıyla ilgili kaderci inanışlarını değerlendirmek için Rundmo ve Hale (1999) tarafından geliştirilen ve Havold ve Nasset (2009) çalışmasından alınan 6 maddeden oluşan ölçek kullanılmıştır [31].

Raporlama Kültürü: İnşaat sektöründe çalışanların raporlama algılarını değerlendirmek için Havold ve Nasset (2009) tarafından geliştirilen 5 maddeden oluşan ölçek kullanılmıştır [31].

Ankara ve İstanbul illerindeki veriler inşaat firmalarında görevli iş güvenliği uzmanları vasıtasıyla uygulanan anket formuyla toplanmıştır. Ağrı ve Sivas illerinde ise araştırmacı tarafından yine anket formu doldurulması yöntemiyle toplanmıştır. Elde edilen 142 anket formundan 12'si eksik veri içerdiği için kapsam dışında bırakılmış, 130 anket formu analiz edilmiştir.

Araştırmada toplanan verilerin analiz edilmesi için IBM SPSS 22 paket programı kullanılmıştır. Çarpıklık ve basıklık katsayılarının ± 1 , ± 1.5 ve ± 2 sınırları içinde 0'a yakın olması normal dağılımın varlığına kanıt olarak değerlendirilmektedir [32-34]. Güvenlik kültürü boyutlarının çarpıklık ve basıklık katsayılarının ± 1 aralığında olması ölçeklerin normal dağıldığını göstermektedir. Araştırma verileri değerlendirilirken iki grup ortalamasının karşılaştırılmasında bağımsız örneklem t testi, ikiden fazla grup ortalamasının karşılaştırılmasında ise varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Grup ortalamaları arasında farklılık bulunduğu bu farklılığın hangi grup veya gruplardan kaynaklandığını belirlemek için Tukey testi yapılmıştır.

Araştırmada güvenilirliği ölçmek amacıyla Cronbach Alfa katsayısına bakılmıştır. Cronbach Alfa katsayısı .70 ve üzeri olması durumunda ölçeklerin güvenilirliği genel olarak yeterli kabul edilmektedir [35]. Tablo 1 incelendiğinde güvenlik kültürü ölçeklerinin Cronbach Alfa katsayısı .70'den büyük olması kullanılan ölçeklerin güvenilir olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Ölçeklerin güvenilirlik katsayıları

Boyut	Madde Sayısı	C.Alph	C.Alph*
Yöneticilerin Tutumları	4	.92	.84
Yöneticilerin Davranışları	4	.87	.90
Güvenlik Önceliği	4	.87	.76
Güvenlik İletişimi	5	.89	.86
Güvenlik Eğitimi	4	.84	.89
Güvenlik Farkındalığı	5	.88	.81
Çalışanların Katılımı	4	.86	.80
Kadercilik	6	.87	.82
Raporlama Kültürü	5	.88	.80

* Ölçeklerin Türkçe'ye uyarlandığındaki güvenilirlik değerleridir.

2.4 Araştırmannın Hipotezleri

İnşaat sektöründe çalışanların güvenlik kültürü düzeyleri sekiz hipotez üzerinden incelenmiştir. Kurulan hipotezler şu şekildedir:

H₁:Saha gözetmeni olan işyerlerindeki çalışanlar ile olmayan işyerlerindeki çalışanların güvenlik kültürü düzeyleri istatistiksel olarak farklıdır.

H₂: Çalışanların medeni durumlarına göre güvenlik kültürü düzeyleri istatistiksel olarak farklıdır.

H₃: Çalışanların eğitim düzeylerine göre güvenlik kültürü düzeyleri istatistiksel olarak farklıdır.

H₄: Çalışanların iş tecrübelerine göre güvenlik kültürü düzeyleri istatistiksel olarak farklıdır.

H₅: Herhangi bir işyerinde iş kazasına uğramış olan çalışanlar ile uğramamış olanların güvenlik kültürü düzeyleri istatistiksel olarak farklıdır.

H₆: Çalışmakta oldukları işyerinde iş kazasına uğramış olan çalışanlar ile uğramamış olanların güvenlik kültürü düzeyleri istatistiksel olarak farklıdır.

H₇: Çalışmakta oldukları işyerinde ramak kala kazaya uğramış olan çalışanlar ile uğramamış olanların güvenlik kültürü düzeyleri istatistiksel olarak farklıdır.

H₈: Çalışanların yaşlarına göre güvenlik kültürü düzeyleri istatistiksel olarak farklıdır.

3 Bulgular ve Tartışma

İnşaat sektöründe çalışanların güvenlik kültürü düzeylerinin, çalışanların demografik (medeni durum, yaş, iş tecrübesi, eğitim düzeyi, iş kazası/ramak kala kazaya maruz kalma vb.) özellikleri ve işyerinde görevli saha gözetmenleri ile ilişkisinin olup olmadığı incelenmiştir. Bu kapsamda, elde edilen bulgular ileri sürülen hipotezler doğrultusunda benzer çalışmalarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

İnşaat sektöründe çalışanların güvenlik kültürü düzeylerinin çalıştığı işyerinde saha gözetmeninin bulunup bulunmamasına göre farklılaşıp farklılaşmadığını belirlemek için yapılan analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Saha gözetmeninin bulunup bulunmamasının güvenlik kültürü ile ilişkisi

Boyut	Saha Gözetmeni	N	\bar{x}	SS	t	p
Yöneticilerin Tutumları	Yok	65	2.69	.88	-4.102	.000**
	Var	65	3.40	1.08		
Yöneticilerin Davranışları	Yok	65	2.88	.76	-2.875	.005*
	Var	65	3.33	1.01		
Güvenlik Önceliği	Yok	65	2.78	.95	-4.05	.000**
	Var	65	3.43	.88		
Güvenlik İletişimi	Yok	65	2.70	.83	-3.748	.000**
	Var	65	3.26	.85		
Güvenlik Eğitimi	Yok	65	2.68	.86	-4.308	.000**
	Var	65	3.33	.87		
Güvenlik Farkındalığı	Yok	65	3.31	.97	-2.308	.023*
	Var	65	3.67	.82		
Çalışanların Katılımı	Yok	65	2.67	.80	-2.274	.025*
	Var	65	3.02	.95		
Kadercilik	Yok	65	2.33	.91	-1.07	.287
	Var	65	2.50	.93		
Raporlama Kültürü	Yok	65	2.90	.97	-2.959	.004*
	Var	65	3.38	.86		

*p< .05; ** p< .001

Tablo 2 incelendiğinde yöneticilerin tutumları (t=-4.102, p<.001), yöneticilerin davranışları (t=-2.875, p<.05), güvenlik önceliği (t=-4.05, p<.001), güvenlik iletişimi (t=-3.748, p<.001), güvenlik eğitimi (t=-4.308, p<.001), güvenlik farkındalığı (t=-2.308, p<.05), çalışanların katılımı (t=-2.274, p<.05) ve raporlama kültürü (t=-2.959, p<.05) boyutları açısından çalışanların güvenlik kültürü düzeyleri, işyerinde saha gözetmeninin olup olmasına göre anlamlı bir şekilde farklılaşmaktadır. Saha gözetmeninin görev yaptığı işyerlerindeki çalışanların güvenlik algısının saha gözetmeni olmayan işyerlerindeki çalışanlara göre

anlamlı şekilde yüksek olduğu görülmüştür. Kadercilik boyutu açısından ise işyerinde saha gözetmeni olup olmaması ile çalışanların güvenlik kültürü düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı saptanmıştır

Çalışmanın H₁ hipotezi kabul edilmiştir. Çalışanların güvenlik kültürü düzeylerinin, işyerinde saha gözetmeni bulunup bulunmama değişkeni ile ilişkisine baktığımızda, kadercilik boyutu dışındaki diğer boyutlarda istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir (p<.05).

İnşaat sektöründe çalışanların güvenlik kültürü düzeylerinde medeni durumlarına göre anlamlı farklılık bulunan boyutlar Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Çalışanların medeni durumu ile güvenlik kültürü ilişkisi

Boyut	Medeni Durum	N	\bar{x}	SS	t	p
Güvenlik Farkındalığı	Evli	66	3.70	.72	2.729	.007*
	Bekâr	64	3.27	1.03		
Çalışanların Katılımı	Evli	66	3.05	.83	2.727	.007*
	Bekâr	64	2.64	.91		
Raporlama Kültürü	Evli	66	3.32	.77	2.277	.025*
	Bekâr	64	2.95	1.06		

*p< .05

Güvenlik farkındalığı ($t=2.729$, $p<.05$), raporlama kültürü ($t=2.277$, $p<.05$) ve çalışanların katılımı ($t=2.727$, $p<.05$) boyutları açısından evli ve bekâr çalışanlarda istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu boyutlarda evli çalışanların güvenlik kültürü düzeyi bekâr çalışanlardan anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Diğer boyutlar açısından ise medeni durum değişkenine göre anlamlı bir farklılık saptanmamıştır (Tablo 3).

Çalışmanın H_2 hipotezi güvenlik kültürü boyutlarından raporlama kültürü, güvenlik farkındalığı ve çalışanların katılımı boyutları için kabul edilmiştir ($p<.05$). Evli ve bekâr çalışanlarda güvenlik kültürünün

bu boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı fark mevcuttur. Yılmaz ve Yılmaz (2017) tarafından yapılan çalışmada da kadercilik ve güvenlik iletişimi boyutlarında medeni duruma göre anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir [36]. Demirbilek (2005), Dursun (2011) ve Akdeniz (2018) tarafından yapılan çalışmalarda ise güvenlik kültürünün hiçbir boyutunda medeni duruma göre anlamlı bir farklılık saptanmamıştır [8, 18, 37].

İnşaat sektöründe çalışanların eğitim düzeylerine göre güvenlik kültürü boyutlarında anlamlı bir farklılığın bulunup bulunmadığına ilişkin ANOVA test sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Çalışanların eğitim düzeyi ile güvenlik kültürü ilişkisi

Boyut	Eğitim Düzeyi	N	\bar{x}	SS	sd	F	p	Anlamlı Fark***
Yöneticilerin Tutumları	Okuryazar Değil	10	2.70	1.14	129	6.897	.000**	Üniversite-Okuryazar değil Üniversite-İlkokul Üniversite-Ortaokul Üniversite-Lise
	İlkokul	20	2.43	.94				
	Ortaokul	22	2.90	1.20				
	Lise	35	2.87	.95				
Yöneticilerin Davranışları	Üniversite	43	3.64	.80	129	2.584	.040*	Üniversite-İlkokul
	Okuryazar Değil	10	2.83	1.08				
	İlkokul	20	2.64	.81				
	Ortaokul	22	3.26	1.16				
Güvenlik Önceliği	Lise	35	3.07	.74	129	3.622	.008*	Üniversite-İlkokul
	Üniversite	43	3.35	.85				
	Okuryazar Değil	10	2.58	1.24				
	İlkokul	20	2.59	.96				
Güvenlik İletişimi	Ortaokul	22	3.18	1.13	129	4.023	.004*	Üniversite-İlkokul
	Lise	35	3.14	.84				
	Üniversite	43	3.42	.79				
	Okuryazar Değil	10	2.70	.98				
Güvenlik Eğitimi	İlkokul	20	2.43	.93	129	3.374	.012*	Üniversite-İlkokul
	Ortaokul	22	2.94	.97				
	Lise	35	3.01	.70				
	Üniversite	43	3.30	.80				
Güvenlik Farkındalığı	Okuryazar Değil	10	2.93	1.09	129	3.645	.008*	Üniversite-İlkokul
	İlkokul	20	2.49	.93				
	Ortaokul	22	2.95	1.05				
	Lise	35	2.94	.81				
Çalışanların Katılımı	Üniversite	43	3.35	.79	129	2.184	.075	
	Okuryazar Değil	10	3.80	.65				
	İlkokul	20	2.86	.98				
	Ortaokul	22	3.48	1.05				
Kadercilik	Lise	35	3.48	.88	129	1.257	.290	
	Üniversite	43	3.72	.77				
	Okuryazar Değil	10	3.10	.74				
	İlkokul	20	2.46	.77				
Raporlama Kültürü	Ortaokul	22	2.77	.99	129	4.507	.002*	Üniversite-İlkokul
	Lise	35	2.74	.74				
	Üniversite	43	3.09	.98				
	Okur-yazar değil	10	3.36	.79				
Raporlama Kültürü	İlkokul	20	2.44	.95	129	4.507	.002*	Üniversite-İlkokul
	Ortaokul	22	3.11	1.05				
	Lise	35	3.11	.84				
	Üniversite	43	3.45	.83				

* $p<.05$ ** $p<.001$; ***Tukey

Tablo 4 incelendiğinde güvenlik kültürünün yöneticilerin tutumları ($F=6.897$, $p<.001$), yöneticilerin davranışları ($F=2.584$, $p<.05$), güvenlik önceliği ($F=3.622$, $p<.05$), güvenlik iletişimi ($F=4.023$, $p<.05$), güvenlik eğitimi ($F=3.374$, $p<.05$), güvenlik farkındalığı ($F=3.645$, $p<.05$) ve raporlama kültürü ($F=4.507$, $p<.05$) boyutları ile çalışanların eğitim düzeyleri arasında

istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Farkı belirlemek üzere uygulanan Tukey testi sonucunda, üniversite mezunu çalışanların güvenlik kültürü düzeyi, ilkokul mezunu çalışanların güvenlik kültürü düzeyinden anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışanların katılımı ve kadercilik boyutlarında ise eğitim

değişkenine göre anlamlı bir farklılık olmadığı saptanmıştır.

Çalışmanın H_3 hipotezi kabul edilmiştir. Çalışanların eğitim düzeyi ile güvenlik kültürü düzeyleri arasında istatistiksel anlamda fark öngören bu hipotez güvenlik önceliği, güvenlik eğitimi, güvenlik iletişimi, raporlama kültürü, güvenlik farkındalığı, yöneticilerin tutumları ve yöneticilerin davranışları boyutları açısından kabul edilmiştir ($p<.05$). Üniversite mezunu çalışanların güvenlik kültürü düzeyi, ilkokul mezunu çalışanların güvenlik kültürü düzeyinden anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Buradan hareketle çalışanların eğitim düzeyi arttıkça daha olumlu bir güvenlik kültürü düzeyine ulaştıkları söylenebilir. Diğer taraftan çalışanların katılımı ve kadercilik boyutlarında eğitim ile anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ($p>.05$). Dursun (2011) tarafından yapılan çalışmada güvenlik farkındalığı ve çalışanların katılımı boyutları haricindeki tüm güvenlik

kültürü boyutlarında anlamlı fark saptanmıştır [8]. Yapılan araştırmadan elde edilen bulguların tersine Akdeniz (2018), çalışanların katılımı ve kadercilik boyutlarında eğitim ile anlamlı bir ilişki tespit etmiştir [18]. Yılmaz ve Yılmaz (2017) ise eğitim ile sadece kadercilik ve raporlama kültürü boyutları arasında anlamlı bir fark olduğunu belirlemiştir [36]. Demirbilek (2005), Gyekye ve Salminen (2009), Sonderstrap-Andersen ve ark. (2011), Tüzüner ve Özasan (2011), Kalaycıoğlu (2019) tarafından yapılan çalışmalarda [37-41] güvenlik kültürünün en az bir alt boyutunda eğitim ile anlamlı bir ilişki bulunurken Hahn ve Murphy (2008) ve Garcia ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmalarda [42, 43] ise güvenlik kültürü boyutları ile eğitim arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır.

İnşaat sektöründe çalışanların güvenlik kültürü düzeylerinde iş tecrübelerine göre anlamlı farklılık bulunan boyutlar Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Çalışanların iş tecrübeleri ile güvenlik kültürü ilişkisi

Boyut	İş Tecrübesi	N	\bar{x}	SS	sd	F	p	Anlamlı Fark**
Kadercilik	0-5 yıl	32	2.70	1.03	129	4.135	.018*	0-5 yıl-10 yıl üzeri
	6-10 yıl	24	2.60	.95				
	10 yıl üzeri	74	2.22	.81				

* $p<.05$; **Tukey

Kadercilik ($F=4.135$, $p<.05$) boyutunda çalışanların güvenlik kültürü düzeyi iş tecrübelerine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılaştığı saptanmıştır. Bu boyutta 0-5 yıl tecrübeye sahip çalışanların kadercilik algıları 10 yıl üzeri çalışanlardan anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 5). Diğer boyutlar açısından ise iş tecrübesi değişkenine göre anlamlı bir farklılık olmadığı saptanmıştır.

Çalışmanın H_4 hipotezi güvenlik kültürü boyutlarından yalnızca kadercilik boyutu için kabul edilmiştir ($p<.05$). 0-5 yıl tecrübeye sahip çalışanların kadercilik algıları 10 yıl üzeri çalışanlardan anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Cooper ve Philips (2004), Demirbilek (2005), Lin ve ark.

(2008), Vinodkumar ve Bhasi (2008), Altınel (2009), Dursun (2011), Yılmaz ve Yılmaz (2017), Akdeniz (2018) tarafından yapılan çalışmalarda [8, 18, 30, 36, 37, 44-46] güvenlik kültürünün en az bir alt boyutunda iş tecrübesi ile anlamlı bir fark tespit edilirken, Wu ve ark. (2007) ve Hayes ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmalarda [47, 48] ise, iş tecrübesine göre anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

İnşaat sektöründe çalışanların çalışma hayatında iş kazasına uğrama durumlarına göre güvenlik kültürü boyutlarında anlamlı bir farklılığın bulunup bulunmadığına ilişkin t testi sonuçları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Çalışma hayatında iş kazasına uğrayıp uğramama ile güvenlik kültürü ilişkisi

Boyut	İş Kazasına Uğrama Durumu	N	\bar{x}	SS	t	p
Yöneticilerin Tutumları	Evet	46	2.65	1.00	-3.358	.001*
	Hayır	84	3.27	1.02		
Yöneticilerin Davranışları	Evet	46	2.84	.80	-2.562	.012*
	Hayır	84	3.26	.95		
Güvenlik Önceliği	Evet	46	2.82	.99	-2.573	.011*
	Hayır	84	3.27	.92		
Güvenlik İletişimi	Evet	46	2.80	.87	-1.698	.092
	Hayır	84	3.08	.87		
Güvenlik Eğitimi	Evet	46	2.78	1.00	-2.086	.039*
	Hayır	84	3.13	.86		
Güvenlik Farkındalığı	Evet	46	3.40	1.04	-.865	.389
	Hayır	84	3.54	.84		
Çalışanların Katılımı	Evet	46	2.61	.95	-2.248	.026*
	Hayır	84	2.98	.84		
Kadercilik	Evet	46	2.22	.89	-1.784	.077
	Hayır	84	2.52	.92		
Raporlama Kültürü	Evet	46	2.92	1.02	-2.007	.047*
	Hayır	84	3.26	.88		

* $p<.05$

Tablo 6 incelendiğinde çalışma hayatında iş kazasına uğramayan çalışanların güvenlik kültürü düzeyi,

yöneticilerin tutumları ($t=-3.358$, $p<.05$), yöneticilerin davranışları ($t=-2.562$, $p<.05$), güvenlik önceliği ($t=-$

2.573, $p < .05$), güvenlik eğitimi ($t = -2.086$, $p < .05$), çalışanların katılımı ($t = -2.248$, $p < .05$) ve raporlama kültürü ($t = -2.007$, $p < .05$) boyutları açısından iş kazasına uğrayan çalışanlardan istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Güvenlik iletişimi, güvenlik farkındalığı ve kadercilik boyutları açısından ise çalışma hayatında iş kazasına uğrayıp uğramamaları ile güvenlik kültürü düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın H_5 hipotezi güvenlik iletişimi, güvenlik farkındalığı ve kadercilik boyutları dışındaki diğer güvenlik kültürü boyutları için kabul edilmiştir ($p < .05$). Çalışma hayatında iş kazasına uğramayan çalışanların güvenlik kültürünün bu boyutlarındaki algı düzeyi iş

kazasına uğrayan çalışanlardan anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Demirbilek (2005) ve Dursun (2011) tarafından yapılan çalışmalarda da çalışma hayatında iş kazasına uğrayıp uğramamaları ile güvenlik kültürünün bazı boyutlarında anlamlı farklılık tespit etmişlerdir [8, 37]. Akdeniz (2018) ise çalışanların çalışma hayatında iş kazasına uğrayıp uğramamaları ile güvenlik kültürü düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığını tespit etmiştir [18].

İnşaat sektöründe çalışanların güvenlik kültürü düzeylerinde işyerinde iş kazasına ve ramak kala kazaya uğrama durumlarına göre anlamlı farklılık bulunan boyutlar Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. İşyerinde iş kazasına ve ramak kala kazaya uğrayıp uğramama ile güvenlik kültürü ilişkisi

Boyut	İş Kazası Uğrama Durumu	N	\bar{x}	SS	t	p
Yöneticilerin Tutumları	Evet	23	2.52	1.05	-2.720	.007*
	Hayır	107	3.16	1.02		
Raporlama Kültürü	Evet	23	2.75	.99	-2.230	.027*
	Hayır	107	3.22	.91		
Boyut	Ramak Kala Kazaya Uğrama Durumu	N	\bar{x}	SS	t	p
Yöneticilerin Davranışları	Evet	58	2.88	.84	-2.435	.016*
	Hayır	70	3.26	.91		

* $p < .05$

İşyerlerinde iş kazasına uğramayan çalışanların güvenlik kültürü düzeyi, yöneticilerin tutumları ($t = -2.720$, $p < .05$) ve raporlama kültürü ($t = -2.230$, $p < .05$) boyutları açısından iş kazasına uğrayan çalışanlardan istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 7). Diğer boyutlar açısından ise çalışanların işyerinde iş kazasına uğrayıp uğramamaları ile güvenlik kültürü düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın H_6 hipotezi yöneticilerin tutumları ve raporlama kültürü boyutları için kabul edilmiştir ($p < .05$). İşyerlerinde iş kazasına uğramayan çalışanların güvenlik kültürünün bu boyutlarındaki algı düzeyi iş kazasına uğrayan çalışanlardan anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Dursun (2011) tarafından yapılan çalışmada da güvenlik kültürünün bazı boyutlarında anlamlı farklılık tespit edilmiştir [8]. Akdeniz (2018) ise işyerinde iş kazasına uğrayıp uğramamaları ile güvenlik kültürü düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir [18].

İşyerinde ramak kala kazaya maruz kalmayan çalışanların güvenlik kültürü düzeyi, yöneticilerin davranışları ($t = -2.435$, $p < .05$) boyutu açısından ramak kala kazaya maruz kalan çalışanlardan istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 7). Diğer boyutlar açısından ise çalışanların işyerinde ramak kala kazaya uğrayıp uğramamaları ile güvenlik kültürü düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın H_7 hipotezi güvenlik kültürü boyutlarından yalnızca yöneticilerin davranışları boyutu için kabul edilmiştir ($p < .05$). Yöneticilerin davranışları konusunda işyerinde ramak kala kazaya maruz kalmayan çalışanların, maruz kalan çalışanlardan anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Akdeniz (2018) tarafından yapılan çalışmada ise çalışanların işyerinde ramak kala kazaya uğrayıp uğramamaları ile güvenlik

kültürü düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir [18].

Çalışmanın H_8 hipotezi kabul edilmemiştir. Başka bir ifadeyle çalışanların yaşlarıyla güvenlik kültürü boyutları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir ($p > .05$). Benzer şekilde Özkan ve Arpat (2017), Kalaycıoğlu (2019) da güvenlik kültürü boyutlarında yaş değişkenine göre anlamlı bir farklılık bulunmamıştır [41, 49]. Akdeniz (2018) tarafından yapılan çalışmada ise güvenlik kültürü boyutlarından yalnızca çalışanların katılımı boyutunda anlamlı bir ilişki saptanmıştır [18].

4 Sonuç

Dünyada inşaat sektöründe sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamının oluşturulmasında güvenlik kültürü büyük önem arz etmektedir. Türkiye’deki inşaat sektöründe de sağlıklı ve güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasına katkı sağlamak amacıyla planlanan bu çalışmada, inşaat çalışanlarının güvenlik kültürünün demografik değişkenler ve işyerinde çalışan saha gözetmenleri ile olan ilişkisi incelenmiştir.

Saha gözetmeninin görev yaptığı işyerlerindeki çalışanların güvenlik algısı saha gözetmeni olmayan işyerlerindeki çalışanlara göre anlamlı şekilde yüksek olduğu görülmüştür. Çalışanların medeni durumlarına göre yapılan analizde raporlama kültürü, güvenlik farkındalığı ve çalışanların katılımı boyutlarında evli olan çalışanların güvenlik kültürü düzeyi, bekâr olan çalışanların güvenlik kültürü düzeyinden anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışanların eğitim düzeyi ile güvenlik kültürü ilişkisi incelendiğinde kadercilik boyutu haricindeki tüm güvenlik kültürü boyutları açısından anlamlı fark saptanmıştır. Eğitim düzeyi arttıkça çalışanların daha olumlu bir güvenlik kültürü algısına ulaştıkları tespit edilmiştir. Çalışanların iş tecrübeleri açısından bakıldığında, 0-5 yıl tecrübeye sahip

çalışanların kadercilik algılarının 10 yıl üzeri çalışanlardan anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Güvenlik kültürünün bazı boyutlarında da işyerinde iş kazasına veya ramak kala kazaya maruz kalmayan çalışanların, maruz kalan çalışanlardan anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Araştırmada güvenlik kültürü boyutları ile yaş arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır.

İnşaat sektöründeki iş kazalarının nedenlerinden biri yeterli seviyede güvenlik kültürünün yerleşmemesidir. Eğitim düzeyinin iş kazalarının güvenlik kültürü ile arasındaki ilişkide önemli bir faktör olması dikkate alındığında eğitim düzeyi yüksek çalışanların istihdam edilmesi gerekmektedir. Eğitim faaliyetlerinin artırılması, yönetimin tutum ve davranışlarının geliştirilmesi, kadercilik anlayışının ortadan kaldırılması, farkındalığı ve yetkinliği artırıcı tedbirlerin alınması, çalışanların güvenliğe aktif katılımının sağlanması, etkili iletişimin kurulması ve güçlü bir raporlama sistemi oluşturularak raporlama kültürünün geliştirilmesi iş kazalarının azaltılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca belli sayıdaki işyerlerinde saha gözetmenlerinin (iş güvenliği uzmanları ya da iş sağlığı ve güvenliği teknikerleri) istihdam edilmesi de iş kazalarının azaltılmasına katkı sağlayabilir.

Açıklamalar

01/07/2021 tarih ve 2021/5 karar sayılı Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'ndan araştırmanın yapılabilmesi için etik kurul onayı alınmıştır.

Kaynaklar

- [1] Akgül, M., & Doğan, Y. (2020). İnşaat sektöründeki iş sağlığı ve güvenliği farkındalık analizi: İç Anadolu ve Marmara bölgesi örnekleme. *Engineering Sciences*, 15(4), 159-73.
- [2] Sosyal Güvenlik Kurumu. (2019). Sosyal güvenlik kurumu 2013 istatistik yıllıkları, Retrieved August 8, 2021, from <http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/tr/kurumsal/istatistikler>.
- [3] Rosa, L. V., Haddad, A.N., & Carvalho, P.V.R. (2015). Assessing risk in sustainable construction using the functional resonance analysis method (FRAM). *Cognition, Technology & Work*, 17 (4), 559-573.
- [4] Tehlike Sınıfları Tebliği. (2012). İş sağlığı ve güvenliğine ilişkin işyeri tehlike sınıfları tebliği, Retrieved August 8, 2021, from <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16909&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5>.
- [5] Güranlı, E., & Müngen, U. (2011). İnşaat şantiyelerine özgü bir iş güvenliği risk analizi yöntemi. Retrieved August 8, 2021, from <http://www.isveguvenlik.com/risk-analizi/insaat-santiyelerine-ozgubiris-guvenligi-risk-analizi-yontemi.html>.
- [6] Aytaç, S. (2011). İş kazalarını önlemede güvenlik kültürünün önemi. *Türk Metal Dergisi*, 36-38.
- [7] Tomas, J. M., Melia, J. L., & Oliver, A. (1999). A cross-validation of a structural equation model of accidents: Organizational and psychological variables as predictors of work safety. *Work & Stress*, 13(1), 49-58.
- [8] Dursun, S. (2011). *Güvenlik kültürünün güvenlik performansı üzerine etkisine yönelik bir uygulama*. (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University).
- [9] Carroll, J. S. (1998). Safety culture as an ongoing process: Culture surveys as opportunities for inquiry and change. *Work and Stress*, 12, 272-284.
- [10] Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. *Safety Science*, 36, 111-136.
- [11] Yıldız, A. T. (2019). *Çimento fabrikalarında iş kazaları ve meslek hastalıklarının iş yeri güvenlik kültürü ile ilişkisi: MEDCEM madencilik çimento fabrikası örneği*. (Master's dissertation, Tarsus University).
- [12] Lee, T. (1998). Assessment of safety culture at a nuclear reprocessing plant. *Work and Stress*, 12, 217-237.
- [13] Fung, I. W. H., Tam, C. M., Tung, C. F. K., & Man, A. S. K. (2005). Safety cultural divergences among management, supervisory and worker groups in Hong Kong construction industry. *International Journal of Project Management*, 23, 504-512.
- [14] Martin, N. T. (2007). *Safety culture assessment in campus recreational sports: Item development, validity, evidence development, and reliability analysis*. Retrieved August 8, 2021, from <https://www.proquest.com/docview/304840280?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>.
- [15] Kao, C. S., Lai, W. H., Chuang, T. F., & Lee, J. C. (2008). Safety culture factors, group differences, and risk perception in five petrochemical plants. *Process Safety Progress*, 27(2), 145-152.
- [16] Smith, A. P., & Wadsworth, E. J. K. (2009). Safety Culture, Advice and Performance. Retrieved August 8, 2021, from http://www.behavioural-safety.com/articles/cardiff_safety_culture_report.pdf.
- [17] Zohar, D. (2010). Thirty years of safety climate research: Reflections and future directions. *Accident Analysis & Prevention*, 42(5), 1517-1522.
- [18] Akdeniz, B. (2018). *Örgüt kültürü ile güvenlik kültürü ilişkisinin iş sağlığı ve güvenliği açısından incelenmesi: Bir maden işletmesinde uygulama*. (Doctoral dissertation, Dumlupınar University).
- [19] Amiri, M., Ardeshir, A., & Zarandi, M. H. (2017). Fuzzy probabilistic expert system for occupational hazard assessment in construction. *Safety Science*, 93, 16-28.
- [20] Goh, K. C., Goh, H.H., Omar, M. F., Toh, T. C., & Zin, A. A. M. (2016). Accidents preventive practice for high-rise construction. *MATEC Web of Conferences* (pp. 1-6).
- [21] Shohet, I. M., Luzi, M., & Tarshish, M. (2018). Optimal Allocation of Resources in Construction Safety: Analytical-Empirical Model. *Safety Science*, 104, 231-238.
- [22] Swuste, P., Frijters, A., & Guldenmund, F. (2012). Is it possible to influence safety in the building sector?: A literature review extending from 1980 until the present. *Safety Science*, 50(5), 1333-1343.
- [23] Huang, Y., Chen, P., Krauss, A., & Rogers, D. (2004). Quality of the execution of corporate safety policies and employee safety outcomes: Assessing the moderating role of supervisor safety support and the mediating role of employee safety control. *Journal of Business Psychol*, 18(4), 483-506.
- [24] Finneran, A., Hartley, R., Gibb, A., Cheyne, A., & Bust, P. (2012). Learning to adapt health and safety initiatives from mega projects: An Olympic case study. *Policy Practice Health Safety*, 10(2), 81-102.
- [25] Lingard, H., Cooke, T., & Blismas, N. (2012). Do perceptions of supervisors' safety responses mediate the relationship between perceptions of the organizational safety climate and incident rates in the construction supply chain?. *Construction Management Economics*, 138(2), 234-241.
- [26] Fang, D., Wu, C., & Wu, H. (2015). Impact of the supervisor on worker safety behavior in construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 31, 1-12.

- [27] Muniz, B. F., Peon, J. M. M., & Ordas, C. J. V. (2007). Safety culture: Analysis of the causal relationships between its key dimensions. *Journal of Safety Research*, 38, 627-641.
- [28] Cox, S. J., & Cheyne, A. J. T. (2000). Assessing safety culture in offshore environments. *Safety Science*, 34, 111-119.
- [29] Neal, A., Griffin, M. A., & Hart, P. M. (2000). The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. *Safety Science*, 34, 99-109.
- [30] Lin, S. H., Tang, W. J., Miao, J. Y., Wang, Z. M., & Wang, P. X. (2008). Safety climate measurement at workplace in china: A validity and reliability assessment. *Safety Science*, 46, 1037-1046.
- [31] Havold, J. I., & Nasset, E. (2009). From safety culture to safety orientation: Validation and simplification of a safety orientation scale using a sample of seafarers working for Norwegian ship owners. *Safety Science*, 47, 305-326.
- [32] Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2013). Multivariate data analysis. *Pearson Education Limited*.
- [33] Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). Using multivariate statistics (Sixth edition). *Pearson Education, London*.
- [34] George, D., & Mallery, M. (2010). SPSS for windows step by step: A simple guide and reference, 17.0 update (10a ed.) *Boston: Pearson*.
- [35] Büyüköztürk, Ş. (2010). Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı (On ikinci baskı). *Pegem Akademi, Ankara*.
- [36] Yılmaz, S., & Yılmaz, M. (2017). Türk inşaat sektöründe çalışanların güvenlik kültürü düzeyinin ve güvenlik performansı ile ilişkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(1), 137-149.
- [37] Demirbilek, T. (2005). İş güvenliği kültürü, *Legal Yayıncılık, İzmir*.
- [38] Gyekye, S. A., & Salminen, S. (2009). Educational status and organizational safety climate: Does educational attainment influence workers' perceptions of workplace safety?. *Safety Science*, 47(1), 20-28.
- [39] Sonderstrap-Andersen Hans, H. K., Carlsen, K., Kines, P., Bjorner, J. B., & Roepstorff, C. (2011). Exploring the relationship between leadership style and safety climate in a large scale Danish cross-sectional study. *Safety Science Monitor*, 1(15), 1-9.
- [40] Tüzüner, V. L., & Özarslan, B. Ö. (2011). Hastanelerde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının değerlendirilmesine yönelik bir araştırma. *Istanbul University Journal of the School of Business Administration*, 40(2), 138-154.
- [41] Kalaycıoğlu, D. (2019). *Orman ürünleri sanayisinde güvenlik kültürü ve güvenlik performansının incelenmesine yönelik bir araştırma*. (Master's dissertation, Karadeniz Technical University).
- [42] Hahn, S. E., & Murphy, L. R. (2008). A short scale for measuring safety climate. *Safety Science*, 46, 1047-1066.
- [43] Garcia, A. M., Boix, P., & Canosa, C. (2004). Why do workers behave unsafely at work? determinants of safe work practices in industrial workers. *Occupational Environmental Medicine*, 61, 239-246.
- [44] Cooper, M. D., & Phillips, R. A. (2004). Exploratory analysis of the safety climate and safety behavior relationship. *Journal of Safety Research*, 35, 497-512.
- [45] Vinodkumar, M. N., & Bhasi, M. (2008). Safety climate factors and its relationship with accidents and personal attributes in the chemical industry. *Safety Science*, 47, 659-667.
- [46] Altınel, Ö. (2009). The relations between both employees' and managers' perceptions of safety climate, as well as work related employee attitudes. (Master's dissertation, Yeditepe University.)
- [47] Wu, T. C., Liu, C. W., & Lu, M. C. (2007). Safety climate in university and college laboratories: Impact of organizational and individual factors. *Journal of Safety Research*, 38, 91-102.
- [48] Hayes, B. E., Perander, J., Smecko, T., & Trask, J. (1998). Measuring perceptions of workplace safety: Development and validation of the work safety scale. *Journal of Safety Research*, 29(3), 145-161.
- [49] Özkan, Y., & Arpat, B. (2017, October). Temel Demografik Faktörlerin İş Güvenliği Kültürü Üzerine Etkisi, Denizli İli-Metal Sektörü Örneği. In ICPESS (*International Congress on Politic, Economic and Social Studies*) (No. 2).



THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETES WITH POROUS AGGREGATES

Ayşe Biçer*¹ 

¹Malatya Turgut Özal University, Department of Bioengineering, Malatya, Turkey

Abstract

Original scientific paper

The results of an experimental study on the thermal and mechanical properties of concretes using porous aggregates instead of conventional aggregates are presented in this study. Oriented at this purpose, eleven concrete samples containing organic sediment stones, volcanic stones and artificial porous aggregates were prepared as porous aggregates. The concrete samples were subjected to certain tests at the end of 28 days of drying period and their thermal and mechanical properties were determined accordingly. With this study, the following values were obtained: i) The lowest heat transfer coefficient for concrete with expanded polystyrene aggregates from the group of artificial porous aggregates: 0.175 W/mK, ii) The highest compressive strength value is basalt-type stone (Karaca dag) from the group of volcanic stones: 117 MPa.

Keywords: Porous aggregates, concrete, building stones, artificial porous aggregates

GÖZENEKLİ AGREGALI BETONLARIN ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, geleneksel agrega yerine gözenekli agrega kullanılan betonların ısı ve mekanik özellikleri üzerine yapılan deneysel bir çalışmanın sonuçları sunulmuştur. Bu amaçla gözenekli agrega olarak organik sediment taşlar, volkanik taşlar ve yapay gözenekli agregalar ihtiva eden on bir adet beton numuneler hazırlanmıştır. Beton numuneler, 28 günlük kuruma süreci sonunda bazı testlere tabi tutularak ısı ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışma ile i) en düşük ısı iletim katsayısı, yapay gözenekli agregalar grubundan genleşmiş polistiren agregalı beton 0.175 W/mK olarak, ii) en yüksek basma gerilmesi değeri volkanik taşlar grubundan basalt-type stone (Karaca dag) 117 MPa olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gözenekli agregalar, beton, yapı taşları, yapay gözenekli agregalar

1 Introduction

The unit volume weight of conventional concrete used in reinforced concrete constructions is not ideal due to the fact that it increases the self-weight of the building. Based on this reason, the lightweight concrete production efforts have recently been increased in order to solve such problems as reducing the unit weight of concrete and providing its reliability against earthquake and fire, as well as heat and sound insulation [1]. Today, as one of the most important construction material in residential construction, lightweight concrete is produced through a number of methods, but most of these methods cannot ensure to achieve the intended economic conditions. This type of concrete can be produced using porous and low density aggregates. Instead of normal concrete aggregate, it can be quite desirable to produce lightweight concrete by means

of utilizing the natural lightweight aggregate that is present in the regions. Since the production of natural light adhesives does not require any technology or fabrication, the costs are low, while on the other hand the concrete to be produced with these materials is cheaper [2].

Porous aggregates can be divided into two groups as natural and artificial aggregates. Examples of natural aggregates include the following; organic sediment stones, volcanic stones (andesite tuff, ignimbrite, pumice ect). For artificial ones, the following units can be shown as examples: expanded polystyrene (EPS), expanded clay (EC), expanded perlite (EP). Studies on the subject can be summarized in two groups. The first group, certain studies on the evaluation of porous stone organic sediment stones and volcanic stones as building materials were carried out. The example studies carried out in this context can be shown as follows:

* Corresponding author.

E-mail address: ayse.bicer@ozal.edu.tr (A. Bicer)

Received 29 March 2021; Received in revised form 20 June 2021; Accepted 26 July 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.905526>

Bicer [3 and 4] experimentally determined the thermal and mechanical properties of local porous stones. Also, Gevrek and Kazanci, [5], ignimbrite formation, Kazanci and Gurbuz, [6], the geological formation of the natural stone of Turkey; Pivko, the historical formation of stones in the world [7]. In addition, Akilli, [8], carried out studies on the factors that cause the destruction of stone artifacts. Gurdal, [9], carried out researches on the deterioration and protection of natural stones used in monuments and buildings. The studies conducted by Akin et al., [10], within the scope of "the sensitivity of Ahlat Stone under atmospheric effects" can be shown as an example in this context. Bicer and Celik [11], Akpınar and Kocuyigit [12], also studied the thermal and mechanical properties of pumice aggregate low density concrete on an experimental basis.

In the second group, certain studies on the evaluation of artificial porous aggregates as building materials were carried out. To give an example on these studies, Kaya and Kar [13] tried to reduce the thermal conductivity coefficients by creating artificial pores in the cemented parts of the concrete structure by adding resin to EPS aggregate concretes. Xue et al [14], Gnip et al [15], Demirboga and Kan [16] can be cited as examples of studies on the reuse of waste EPS for thermal recycling in a modified form and its physical properties. Devecioğlu and Bicer [17], Bouvard et al [18] and Chen and Liu [19] studied on thermal and mechanical properties of concrete with expanded clay aggregate Bartolini et al [20] mixed the expanded clays and epoxy resin which was used as a binder. Rossignolo et al [21] studied production of sturdy prefabricated constructional components by means of using the expanded clay aggregates, Vasina et al [22] mixed expanded clays of various diameters with cement, fuel ash and plasticizer additive, while also carrying out a research on the acoustics performance of the samples. Onuralp et al [23] Topcu and Isikdag [24] carried out studies on the properties of expanded perlite aggregate concretes.

In this study, organic sediment stones (Şanlıurfa, Midyat, Mardin, and Nemrut stones), volcanic stones (Basalt-type stone, (Karacadag), andesite tuff (Malazgirt stone, Ahlat stone and pumice)) and the thermal and mechanical properties of eleven different low density concrete produced by using EPS, EC, EP from artificial porous aggregates have been subjected to analysis. The results of this study will assist in the selection of aggregates for iso-concrete type production in buildings.

2 Materials and Methods

2.1 Materials

Three groups of aggregates were used as porous aggregates, organic sediment stones, volcanic stones and artificial porous aggregates in the study.

2.1.1 Organic Sediment Stone

The common characteristics of such stones can be summarized as follows: having whitish or yellowish colors, having large reserves in their regions, being easy to process and shape due to the moisture in the body when

they are removed from the furnace, getting hardened at a level of 3-4 mohs due to the removal of moisture in the internal structure within a few days. Şanlıurfa stone, Midyat stone, Mardin stone and Nemrut stone can be shown as the examples for this type of rock.

Şanlıurfa stone has been used for construction of masonries in particular within the region for many years. Having large amounts of reserves, these stones after being taken out of the query, it can be easily formed and processed compared to other stone structures (Fig. 1-a).

Midyat stone: A great deal of stones are present in the rich seams near Keferhuvvar village of Estel region in Midyat town of Mardin. The seams are 10 km far from Midyat and 6 km from Estel. Travelling between region in Midyat and Estel is very easy. But the road between Estel and the seam is not surfaced. The stones are being used in the region extensively as building material. Their withdrawing are easy and water contentshigh [3].

Mardin stone is obtained from Kabala region of Mardin province. The seam is 2 km far from city center and near the road. It can be shaped easily without damage. It has a yellowish and whitish color and with a hardness level of 3-4 mohs [3].

Nemrut stone, is located in Kahta Country of Adıyaman. Categorized under organic sedimentary stone, it has a yellowish and whitish color. With a hardness level of 3-4 mohs, it can be processed in terms of its physical properties. Unless it loses the moisture within after being removed from the quarry and it is exposed to chemical impact of the outer environment for a long this, this stone can be conveniently shaped and processed [4].

2.1.2 Volcanic Stones

The common feature of these stones is that they are colored. In basalt type, black pores are larger and very hard (6-7 mohs). Karacadag Mountain can be given as an example for this group (obtained in the Karaca Mountain from the southeast of Turkey) (Fig. 1-b).

Another group is the andesite tuffs. The common features of these stones are that they are in red, black and gray colors, they are easy to work with, while having the same the degree of shaliness is 1-2 mohs, and their structure is in layers. This group can be given as examples of Ahlat and Malazgirt stones (These stones were obtained in the foothills of Mount Nemrut and Suphan in the east of Turkey) (Fig. 1-b) [2].

Pumice is a glassy volcanic rock with a high porosity. Construction industries consume the highest on the pumice production. Insulation of heat and sound, fire resistance and ease of cutting, shaping and nailing can be stated as the advantages of this [11, 12] (Fig 1-c)

2.1.3 Artificial Porous Aggregates

Expanded polystyrene (EPS): It is a 98 per cent air-consisting material, and the rest is polystyrene [13-16]. The block EPS obtained from the EPS manufacturing facility is used for the production of samples at the same factory's disintegration unit according to particle diameters of 2-4 mm (Fig 1-d).

The expanded clays (EC) are artificial materials, and in no expanded form can they be found in nature. Not every

clay that can be found in nature expands. Early sintering clay, sand clay and clay schist are the raw materials used for producing growing clays [17-23]. Expanded clays are immediately processed in rotary furnaces heated to over 1000 °C at high temperatures. Following the process, their volumes increase and a sintered hard crust develops on the outside surface and a porous layer develops within (Fig 1-e).

Expanded perlite (EP) is a porous, low-density, pearly-luster acidic, volcanic rock, generally obtained by means of expanding raw perlite, while also being instantaneously heated up to temperatures between 750-1100 °C. Once the raw perlite particle is expanded, it increases approximately 10-30 times in volume and the thermal conductivity coefficient becomes 0.04-0.055 W/mK. The perlite is used as aggregate in plaster for thermal insulation in the construction industry, as an insulation blanket in packs or in the form of plates. (Fig 1-f) [24]. The aggregates components are given in Table 1.

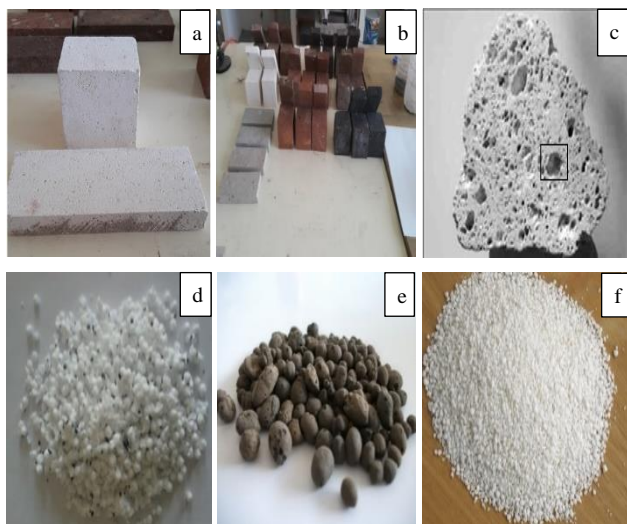


Fig. 1. View of porous materials; a) and b) stones, c) pumice, d) EPS, e) EC f) EP

2.1.4 Concretes Containing Porous Aggregates

The aggregate size of the concretes produced by means of mixing the examined aggregates with cement binder was used as 2-4 mm, where the mixing ratios 60% aggregate and 40% cement, while the use of water/cement=0.5 was kept constant. The density, thermal conductivity and compressive strength values of the prepared concrete samples were determined accordingly after 28 days of drying period.

2.2 Testing Methods

In order to measure the thermal conductivities of the specimens, a Shotherm-QTM unit (Showa Denko), operating based on the DIN 51046 hot wire methodology. Its range and sensitivity were 0.02-6.00 W/mK with $\pm 5\%$ precision respectively [25]. The measurements on three locations of each sample block were repeated three times to reflect the average of nine values. The temperature was between 22°C and 25°C during measurement (Fig.2).



Fig. 2. Shotherm-QTM unit

Compressive strength tests were carried out on the samples in accordance with TS 699 standard [26, 27]. Compressive strength tests for the samples were carried out with Ele International branded device, bearing the following features: 3000 kN loading capacity; digital control panel; adjustable loading rate; applying uniaxial force (Fig.3).



Fig. 3. Compressive strength tests unit

Eq.1 was applied to the aggregates, and the calculated porosity values are given in Table 2 as a whole.

$$\Phi = 1 - \frac{\rho_{\text{porous aggregate}}}{\rho_{\text{porous aggregate matrix}}} \quad (1)$$

The aim of water absorption ratio (WAR) is to investigate the maximum amount of water absorption of samples. This property is important in determining the suitability of this material against freezing hazards. The critical amount of moisture is 30 percent of the total dry volume, below which the material doesn't deform on freezing [13]. The experiments were performed according to the BS 812. Part 2 standard [28]. Specimen's dry (W_d), and wet weights (W_k) are necessary to calculate water absorption ratios. Water absorption rates (WAR) were calculated by using Eq. 2 and are shown in Table 3.

$$\text{WAR} = \{[W_d - W_k]/W_k\}.100 \quad (2)$$

The thermal and mechanical properties determined following the tests and calculations made on porous aggregates and concrete samples produced with these aggregates can be seen in Table 2 and Table 3.

3 Results and Discussions

3.1 Organic Sediment Stones

Among the aggregates of this group, Mardin stone has the lowest value as density (1.35 g/cm³) and thermal conductivity coefficient, which is 0.58 W/mK). However,

the values of Midyat and Nemrut stones are close to Mardin stone. Within this group, Şanlıurfa stone density (2.19 g/cm^3) and thermal conductivity (1.28 W/mK) have the highest values. The porosity (19.02% and 18.52%) and compressive strength values (10.2 MPa and 24 MPa) of Nemrut and Şanlıurfa stones are higher than those of Midyat and Mardin stones (Table 2), (Fig. 4). Şanlıurfa stone was determined to have the highest compressive strength value, while Mardin stone has the smallest one.

The water absorption rates were found to be below 30% in all the stones subjected to analysis. Therefore, there is no risk of decomposition and dispersion at temperatures below 0°C .

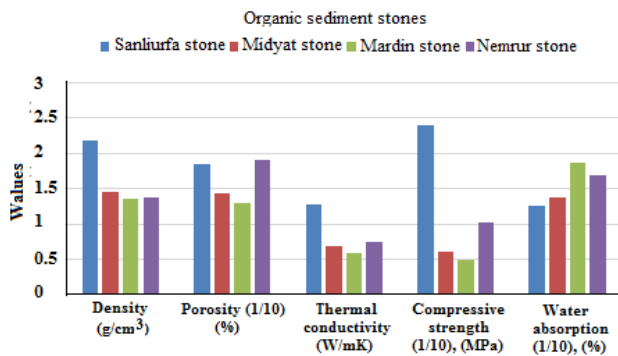


Fig. 4. Some physical properties of organic sediment stones

3.2 Volcanic Stones

From this group of aggregates, Pumice, Malazgirt and Ahlat stones' density values (0.82 g/cm^3 , 0.88 g/cm^3 and 1.18 g/cm^3 , respectively) and thermal conductivity values (0.255 W/mK , 0.288 W/mK and 0.312 W/mK) are considerably lower than the organic sediment stones (Table 2), (Fig. 5). In this group, the highest density and thermal conductivity coefficient (2.89 g/cm^3 and 1.51 W/mK) belong to Karacadag stone. In the compressive strength values, Karacadag stone has the highest value (105 MPa), while pumice has the lowest (5.23 MPa). The porosity of this aggregate group is higher than organic sediment stones. Volcanic stones water absorption rates are below 30% of the critical value.

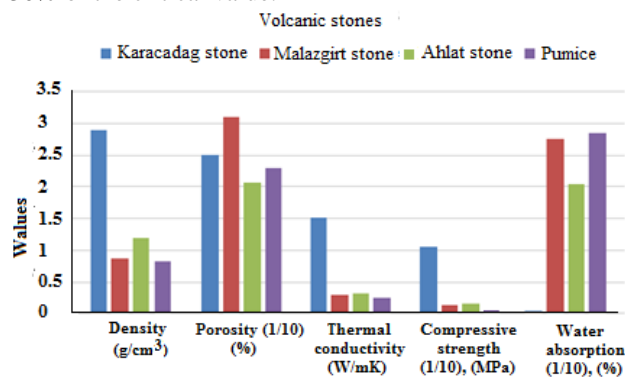


Fig. 5. Some physical properties of volcanic stones

Midyat stone, Mardin stone, Nemrut stone, Malazgirt stone and Ahlat stone can be used as concrete aggregate, as well as a partition element in the form of brick or briquette. Şanlıurfa stone seems to be able to be used as both brick and concrete aggregate as well as load-bearing concrete aggregate along with Karacadag stone.

3.3 Artificial Porous Aggregates

From this group of aggregates, EPS, EC and EP density values (0.013 g/cm^3 , 0.511 g/cm^3 and 0.236 g/cm^3 , respectively) and thermal conductivity values (0.038 W/mK , 0.133 W/mK and 0.050 W/mK) are considerably lower than organic sediment stones volcanic stone (Table 2), (Fig. 5). In this group, the lowest density and thermal conductivity coefficient belong to EPS, while the highest value belongs to EC. This aggregate group has higher porosity than other aggregates.

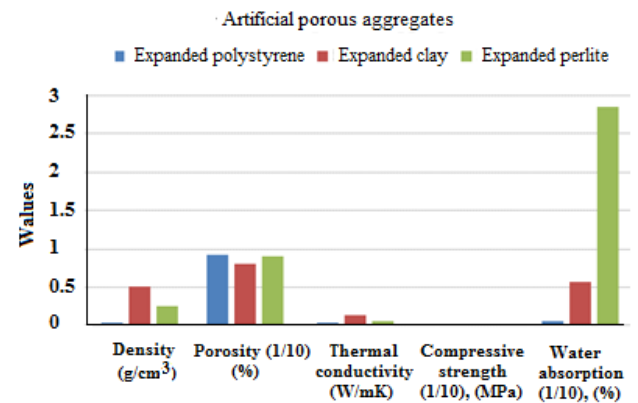


Fig. 6. Some physical properties of artificial porous aggregates

3.4 Concretes Containing Porous Aggregates

The following findings were obtained following the tests carried out on concrete samples produced using the examined aggregates.

3.4.1 Density

Among the concretes produced with 11 different aggregates, the highest density values were determined to belong to Şanlıurfa stone (2.514 g/cm^3) from the organic sediment stones group, Karacadag stone (2.934 g/cm^3) from the volcanic stones group and EC (1.506 g/cm^3) from the artificial porous aggregate group. On the other hand, the one with the lowest values was Mardin Stone (1.208 g/cm^3), pumice (1.411 g/cm^3), EPS (1.117 g/cm^3), respectively. (Table 3). The reason for this matter is based on the density of the aggregates.

3.4.2 Thermal Conductivity

Among the concretes subjected to analysis, Nemrut stone (0.81 W/mK) and Mardin stone (0.87 W/mK) from the organic sediment stones group, pumice (0.336 W/mK) from the volcanic stone group and EPC from the artificial porous aggregates group (0.175 W/mK) are determined to be aggregate concretes. The artificial porous aggregates group has the lowest thermal conductivity values among the analyzed aggregate groups as can be seen in Table 3 and Figure 7, Figure 8, Figure 9. If Table 3 can be examined, it can be seen that concretes with organic sediment and volcanic stones, EC and EP have the properties to be used for isolation and carrier concrete. Concretes with EPS aggregates can be used as insulation concrete.

3.4.3 Compressive Strength

Karacadag stone (117 MPa) is a aggregate concrete from the volcanic stones group, with the highest compressive strength value among concretes. Moreover, the compressive strength values of Ahlat stone aggregated concrete (20.42 MPa) from the same group and Sanliurfa stone aggregate concrete (29.72 MPa) from the organic sediment stones group are higher than other concretes.

If Table 4, which is prepared for lightweight concrete classification by Mindess, can be examined, it can be seen that light weight concretes with organic, volcanic stones or artificial porous aggregate can be classified as medium strength concrete. But the light weight concretes with Şanlıurfa or Karacadag aggregate can be classified as carrier light concretes

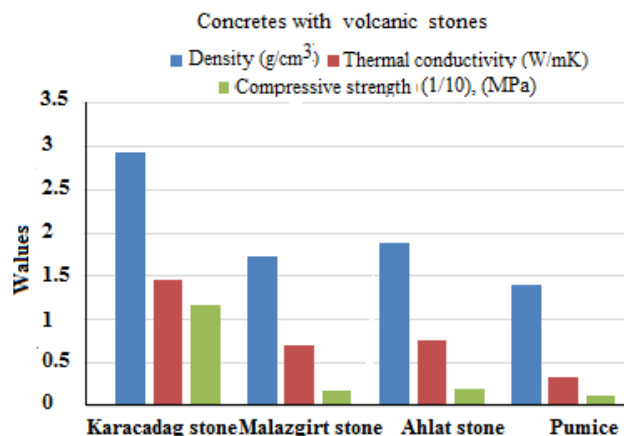


Fig.8. Some properties of volcanic stones aggregate concrete

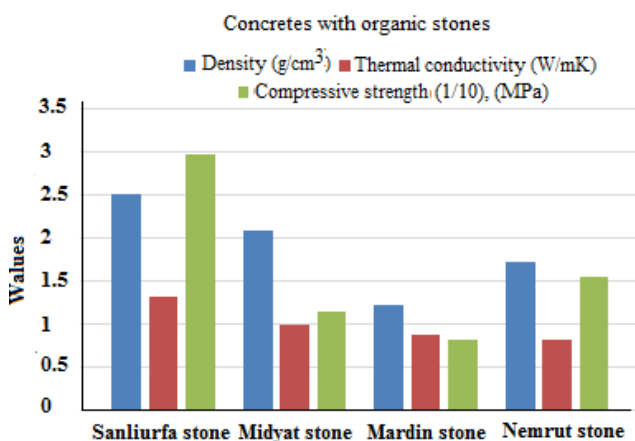


Fig.7. Some properties of organic sediment stones aggregate concrete

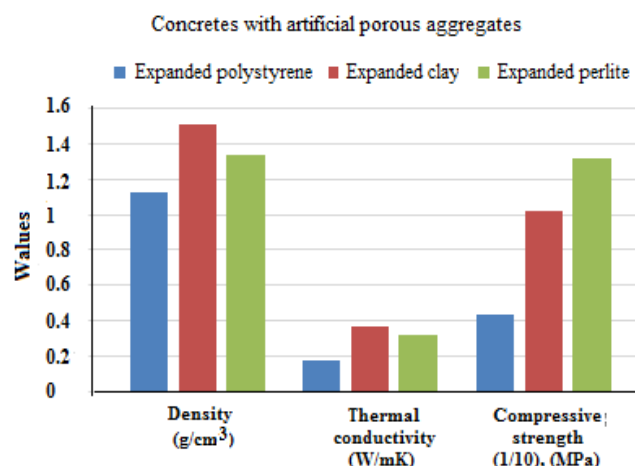


Fig.9. Properties of concretes with artificial porous aggregates

Table 1. The chemical composition of the aggregates, (%)

Component Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Loss of ignition	Undefined
Şanlıurfa stone	1.00	0.15	0.10	53.48	1.02	43.63	1.52
Midyat stone	0.30	-	-	34.10	18.65	46.63	0.32
Mardin stone	0.18	-	-	30.00	22.58	47.09	0.15
Nemrut stone	46.80	14.45	16.20	12.23	4.88	-	1.44
Karacadag stone	47.24	15.30	4.70	13.04	3.74	13.58	2.40
Malazgirt stone	63.73	14.97	4.45	3.66	-	3.40	9.79
Ahlat stone	63.80	16.50	4.50	3.23	-	2.53	8.97
Pumice	53.83	14.81	4.61	4.64	2.75	3.49	8.18
Expanded polystyrene	23.51	6.15	4.00	58.51	2.27	3.04	1.42
Expanded clay	18.08	6.15	3.25	3.46	4.10	7.97	9.85
Expanded perlite	74.18	17.61	1.20	0.51	0.5	2.58	3.55

Table 2. Some properties of aggregates which were determined by experiments

Materials	Density (g/cm³)	Porosity (%)	Thermal conductivity (W/mK)	Compressive strength (MPa)	Water absorption (%)
Organic sediment stones					
Sanliurfa stone	2.190	18.52	1.28	24	12.50
Midyat stone	1.460	14.41	0.69	6.13	13.70
Mardin stone	1.350	13.03	0.58	4.91	18.64
Nemrut stone	1.385	19.02	0.75	10.2	17
Volcanic stones					
Basalt-type stone (Karaca dag)	2.890	25	1.410	105	0.31
Andesite tuff (Malazgirt stone)	0.880	31.01	0.288	12.5	27.6
Andesite tuff (Ahlat stone)	1.181	20.58	0.312	16.4	20.5
Pumice	0.820	22.94	0.255	5.23	28.4
Artificial porous aggregates					
Expanded polystyrene (2-4) mm	0.013	92.96	0.038	-	0.45
Expanded clay (2-4) mm	0.511	81.10	0.133	-	5.70
Expanded perlite (2-4) mm	0.236	90.38	0.050	-	28.5

Table 3. Some properties of concretes which were containing porous aggregate and place of use according to Ref. 29

Materials	Density (g/cm ³)	Thermal conductivity (W/mK)	Compressive strength (MPa)	Carrier	Carrier + insulation	Insulation
				Thermal conductivity coefficient		
				—————>		<0.75 <0.30
Organic sediment stones						
Sanliurfa stone	2.514	1.31	29.72	+		
Midyat stone	2.076	0.98	11.31	+		
Mardin stone	1.208	0.87	8.18	+		
Nemrut stone	1.708	0.81	15.36	+		
Volcanic stones						
Basalt-type stone (Karaca dag)	2.934	1.450	117	+		
Andesite tuff (Malazgirt stone)	1.728	0.706	16.85	+		
Andesite tuff (Ahlat stone)	1.908	0.758	20.42	+		
Pumice	1.411	0.336	11.23		+	
Artificial porous aggregates						
Expanded polystyrene (2-4) mm	1.117	0.175	4.34			+
Expanded clay (2-4) mm	1.506	0.366	10.17		+	
Expanded perlite (2-4) mm	1.241	0.317	13.18		+	

Table 4. Strength classification of lightweight concrete in line with the aggregate used according to Mindess [30]

	Insulation concretes			Medium strength concretes		Carrier light concretes		
	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Unit weight (kg/m ³)	0.7 - 2.0 (MPa)			7 - 14 (MPa)		17 - 41 (MPa)		
Strength range	Vermiculite			Pumice		Sintered fly ash		
Aggregate type	Perlite			Volcanic slag		Expanded clay		
Other light concretes	Gas-foam concrete			Expanded slag		Expanded slag		
Present	Sandless concrete (light)			Sandless concrete (normal)		Sandless concrete (normal)		
	Malazgirt st			Ahlat stone		Ahlat stone		
	Midyat stone			Sanliurfa stone		Sanliurfa stone		
	Perlite			Mardin stone		Nemrut stone		
	EPS			Pumice		Karacadag stone		
	EC			Pumice		Karacadag stone		

4 Conclusion

The use of aggregate concrete to be utilized within the production of low density concrete should be designated according to its purpose of use. The following results were obtained in the study conducted on the examined porous aggregates and concretes produced with these aggregates.

- The thermal conductivity values of the concretes produced with the aggregates of Midyat stone, Mardin stone, Nemrut stone, Malazgirt stone and Ahlat stone were determined to be as 0.98 W/mK, 0.87 W/mK, 0.81 W/mK, 0.706 W/mK and 0.758 W/mK, respectively. These aggregates can be used in low density concrete production, as well as in the form of bricks or briquettes.
- Where Sanliurfa stone is used as concrete aggregate, it can be used as concrete aggregate due to the thermal conductivity and compressive strength of the concrete (1.31 W/mK and 29.72 MPa). Also, Karacadag stone can be used both as a brick and as a load-bearing

concrete aggregate with its values: "1.45 W/mK and 117 MPa".

- It is a great advantage that the aggregates in organic sediment stones and volcanic stones groups have rich reserves, while the costs of the same are low. This advantage needs to be utilized accordingly.
- Since concretes produced with EPS, EC and EP artificial aggregates are the group with the lowest thermal conductivity values (0.175 W/mK, 0.366 W/mK and 0.317 W/mK, respectively) and pumice from the volcanic stone groups have following values (0.336 W/mK and 11.23 MPa), it will assist saving energy and reduce the building load where they are used as aggregate in the production of concrete shear walls, floors and ceiling slab concrete

In conclusion, it is recommended to choose aggregate in the production of low density concrete for buildings according to the use of purpose of the concrete within the scope of the study.

Declaration

Ethics committee approval is not required for this study.

References

- [1] Bicer, A. (2020). Make Use of Volcanic Slag as Aggregate in the Production of Concrete. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 2(2), 337-347.
- [2] Bicer, A. (2019). Ahlat ve Malazgirt yapı taşlarının bazı fiziksel özellikleri, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 31(2), 301-307.
- [3] Bicer, A. (2019). Some physical properties of the building Stones from southeastern Anatolia region. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(1), 9-15.
- [4] Bicer, A. (2019). Some physical properties of the building stones from Elazığ-Nevşehir region. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 96-102.
- [5] Gevrek, A. İ., & Kazancı, N. (1991). İğnimbrit: oluşumu ve özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 38, 39-42.
- [6] Kazancı, N., & Gürbüz, A. (2014). Jeolojik miras nitelikli Türkiye doğal taşları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 57(1), 19-44.
- [7] Pivko, D. (2003). Natural stones in earth's history. *Acta Geologica*, 58, 73-86..
- [8] Akıllı, H. (1987). Taş eserlerin tahribatına neden olan etkenler. *Rölöve ve Restorasyon Dergisi*, (6), 129-134.
- [9] Gürdal, E. (1982). Anıtlarda ve yapılarda kullanılmış doğal taşların bozulmaları ve korunmaları. *Rölöve ve Restorasyon Dergisi*, 1(1), 27-30.
- [10] Akın, M., Özvan, A., Dinçer, İ., Oyan, V., & Tapan, M. (2014). Ahlat Taşı'nın atmosferik etkiler altındaki duyarlılığı, III. Uluslararası Ahlat-Avrasya Bilim, Kültür ve Sanat Sempozyumu Bildiriler Kitabı (Editörler Doğru M. ve Aksoy E.), 60-69
- [11] Bicer, A., & Celik, N. (2020). Influence of pine resin on thermo-mechanical properties of pumice-cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 112, 103668.
- [12] Akpınar, E. K., & Koçyigit, F. (2016). Thermal and mechanical properties of lightweight concretes produced with pumice and tragacanth. *Journal of adhesion science and Technology*, 30(5), 534-553.
- [13] Ayse, K., & Filiz, K. A. R. (2016). Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin. *Construction and building materials*, 105, 572-578..
- [14] Xu, Y., Jiang, L., Xu, J., & Li, Y. (2012). Mechanical properties of expanded polystyrene lightweight aggregate concrete and brick. *Construction and Building Materials*, 27(1), 32-38..
- [15] Gnip, I., Vėjelis, S., & Vaitkus, S. (2012). Thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) at 10 C and its conversion to temperatures within interval from 0 to 50 C. *Energy and Buildings*, 52, 107-111.
- [16] Demirboga, R., & Kan, A. (2012). Thermal conductivity and shrinkage properties of modified waste polystyrene aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, 35, 730-734.
- [17] Devocioğlu, A. G., & Biçer, Y. (2016). The effects of tragacanth addition on the thermal and mechanical properties of lightweight concretes mixed with expanded clay. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(1), 45-50.
- [18] Bouvard, D., Chaix, J. M., Dendievel, R., Fazekas, A., Létang, J. M., Peix, G., & Quenard, D. (2007). Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete. *Cement and concrete research*, 37(12), 1666-1673.
- [19] Chen B., & Liu J., (2004). Properties of lightweight expanded clay concrete reinforced with steel fiber, *Cement and Concrete Research*, 34, 1259 —1263.
- [20] Bartolini, R., Filippozzi, S., Princi, E., Schenone, C., & Vicini, S. (2010). Acoustic and mechanical properties of expanded clay granulates consolidated by epoxy resin. *Applied Clay Science*, 48(3), 460-465.
- [21] Rossignolo, J. A., Agnesini, M. V., & Morais, J. A. (2003). Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 25(1), 77-82..
- [22] Vasina, M., Hughes D.C., Horoshenkov K.V., & Lapcik J., (2006). The acoustical properties of consolidated expanded clay granulates, *Applied Acoustics*, 67, 787-796.
- [23] Uluer, O., Karaağaç, İ., Aktaş, M., Durmuş, G., Agbulut, U., Khanlari, A., & ÇELİK, D. (2018). An investigation of usability of expanded perlite in heat insulation technologies.
- [24] Topçu, İ. B., & Işıkdag, B. (2008). Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete. *Journal of materials processing technology*, 204(1-3), 34-38.
- [25] Denko, S. (1981). Shotherm operation manuel No, 125-2 KK Instrument Products Department 13-9 Shiba Daimon.
- [26] American Society for Testing and Materials Standards. (1983). *Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars* (ASTM C 109-80).
- [27] Turkish Standards Institution. (2016). *The test and experiment methods of natural building stones* (TS 699/T1).
- [28] British Standards Institution. (1990). *Testing aggregates-part 109: methods for determination of moisture content* (BS 812-109).
- [29] Taşdemir, C. (2003). Hafif betonların ısı yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, (427), 57-61.
- [30] Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D. (2003). *Concrete*. 2nd Edition, Prentice Hall, New Jersey. U.S.A



GREEN SYNTHESIS OF NICKEL NANOPARTICLES USING *PEUMUS BOLDUS* KOCH. EXTRACT AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY

Recep Taş^{*1} , Ebru Koroglu¹ , Hasan Ufuk Celebioglu¹ 

¹Department of Biotechnology, Faculty of Science, Bartın University, 74100 Bartın, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Today, nano-systems, especially multi-functional inorganic nanoparticles, attract a lot of attention in the biomedical field. Nickel nanoparticles, known as inorganic nanoparticles in nanotechnology and known as metallic nanoparticles with an important place, show antibacterial properties. The fact that nickel nanoparticles find use in areas requiring human contact leads to nanoparticle synthesis with biological systems. Thus, more environmentally friendly structures emerge. In this study, nickel nanoparticles were synthesized for the first time by biosynthesis using *Peumus boldus* extract. Structural, chemical, and morphological properties were examined by UV-vis spectrophotometer (UV-vis), fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffractometer (XRD), and scanning electron microscopy (SEM) methods. Extract obtained from *Peumus boldus* was used as reducing agent in the synthesis of nickel nanoparticles. In addition, the antibacterial activities of the obtained nickel nanoparticles were investigated against *E. coli* and *S. aureus*.

Keywords: Nickel nanoparticle, *peumus boldus*, antibacterial activity

PEUMUS BOLDUS KOCH ÖZÜTÜ KULLANILARAK NİKEL NANOPARTİKÜLLERİN YEŞİL SENTEZİ VE ANTİBAKTERİYEL AKTİVİTESİ

Özet

Orjinal bilimsel makale

Günümüzde nano sistemler, özellikle çok fonksiyonlu inorganik nanopartiküller, biyomedikal alanında büyük ilgi görmektedir. Nanoteknolojide inorganik ve metalik nanopartiküller olarak bilinen ve önemli bir yeri olan nikel nanopartiküller antibakteriyel özellik göstermektedir. Nikel nanoparçacıklarının insan teması gerektiren alanlarda kullanım bulması biyolojik sistemlerle nanoparçacık sentezine yol açmaktadır. Böylece daha çevreci yapılar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, nikel nanoparçacıkları, *Peumus boldus* özütü kullanılarak biyosentez yoluyla ilk kez sentezlenmiştir. Yapısal, kimyasal ve morfolojik özellikler UV-vis spektrofotometresi (UV-vis), fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X-ışını difraktometresi (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemleri ile incelenmiştir. Nikel nanoparçacıkların sentezinde indirgeyici ajan olarak *Peumus boldus*'tan elde edilen ekstrakt kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen nikel nanoparçacıkların *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı antibakteriyel aktiviteleri araştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Nikel nanopartikül, *peumus boldus*, antibakteriyel aktivite

1 Introduction

Nanotechnology covers the fields of study dealing with the synthesis, characterization, and applications of substances generally between 1-100 nm sizes. In this size range, all properties (chemical, physical, and biological) of individual atoms / molecules vary. New applications of these nanoparticles used in nanotechnology can be developed depending on the particle diameter, homogeneous distribution, and morphology, and thanks to these properties, it is growing rapidly. NPs are widely used as antibacterial agents in the healthcare industry, food storage, textile coatings, and numerous

environmental applications. As antibacterial agents, NPs have been used in a wide range of applications, from disinfecting medical devices and white goods to water treatment. In addition to these, NPs are used in fabrics in the textile industry. [1, 2].

Among the nanoparticles used for all the purposes mentioned above, metallic nanoparticles show promise. Because metal ions contain important antibacterial properties due to their large surface area. Thus, they attract the attention of researchers due to the increased microbial resistance against antibiotics and the development of these resistant strains [3, 4]. Nano metals have attracted great interest in branches such as physics, technology,

* Corresponding author.

E-mail address: rtas@bartin.edu.tr (R.Taş)

Received 29 April 2021; Received in revised form 30 June 2021; Accepted 14 October 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.929625>

chemistry, and bioengineering. Production and characterization of nickel nanoparticles are very important in terms of nanotechnology.

Among all metal nanoparticles, nickel nanoparticles attract unlimited attention in the field of nanotechnology due to their unique properties such as chemical stability, good conductivity, catalytic, and most importantly antibacterial, antiviral, antifungal [5, 6].

Generally, nickel nanoparticles are synthesized using various techniques to obtain different shapes and sizes for use in various applications. Various chemical and physical preparation methods are used to produce nanoparticles, including radiation, chemical precipitation, photochemical methods, electrochemical, and Langmuir-Blodgett techniques [7, 8]. The use of chemical and physical method in the synthesis of nanoparticles is very expensive and cumbersome and leads to the presence of some toxic chemicals that are absorbed on the surface and may have adverse effects on applications, so there is an increasing need to develop environmentally benign nanoparticles [9, 10]. Biosynthetic methods using microorganisms or plant extracts have emerged as a simple and viable alternative to chemical synthetic procedures and physical methods [11, 12].

Green synthesis of nanoparticles using plant extracts, due to their easy accessibility, is emerging as an important research topic in the field of bionanotechnology today [13]. The synthesis of nanoparticles by means of plants is simpler and easier compared to typical physical and chemical methods as it can be studied without any special operating conditions. Synthesized products of the process, including waste products, are derived from natural plant extracts and thus this technique is highly environmentally friendly [14]. With the bio-based nanoparticle synthesis protocol, higher reproducibility of the process and higher stability of the synthesized nanoparticles can be achieved. Therefore, the bio-based production of nanoparticles is suitable for large-scale production that is more effective cost investment, environmentally friendly and safe for human therapeutic use [15].

The main purpose of this study is to produce and characterize nickel nanoparticles with green synthesis method. For this purpose, the synthesis of nickel nanoparticles with the reducing properties of molecules such as flavonoids and terpenoids found in the extract of *Peumus boldus* was carried out. The synthesized nickel nanoparticles were characterized by UV-Vis, FTIR, and powder XRD techniques. At the same time, the antimicrobial activity of nickel nanoparticles synthesized by the green synthesis method was investigated. The results showed that with *Peumus boldus* extract, nickel nanoparticles can be produced by green synthesis.

2 Material and Method

The *Peumus boldus* plant was brought from Chile. Aqueous extracts were prepared by putting 10 g of the homogenized dried leaves and 100 mL of distilled water in a Soxhlet extractor for 4–5 h.

Biosynthesis was carried out by mixing *Peumus boldus* extracts with aqueous solution of $\text{NiNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich), and the solution was homogenized by stirring at room temperature. For the synthesis of NiNP,

0.1 M 100 ml nickel (II) nitrate $\text{NiNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solution was prepared. Nickel (II) nitrate (10 ml) solution was slowly added to the resulting *Peumus boldus* extract (100 ml) at a rate of 10:1 (Fig.1).

The optical properties of NiNPs were characterized by taking UV-Vis region spectra (THERMO, Model Multiscaner spectrophotometer) between 200-800 nm. FTIR (Shimadzu Irtaffinity-1) was used for functional group analysis. Particle morphologies and sizes were measured by SEM (TESCAN, MAIA3 XM). The crystal structures and particle sizes of NiNPs were calculated using XRD analysis. XRD analysis was performed using a powder X-ray diffractometer (Rigaku, Smartlab).

Antibacterial activity of NiNPs was assessed using Broth Micro-dilution Assay [16]. For this, Gram-positive bacterium *Staphylococcus aureus* and Gram-negative bacterium *Escherichia coli* cultures were grown on LB Broth (24 h, 37°C). Following this, new cultures were prepared and grown until 0.5 McFarland Unit. 20 μL of bacterial cultures were added to 180 μL of Nutrient Broth containing various concentrations of NiNPs in microtiter plate wells. Negative controls were prepared using the medium without bacteria. OD_{600} of microtiter plates were read before and after incubation at 37°C for 24 hours.

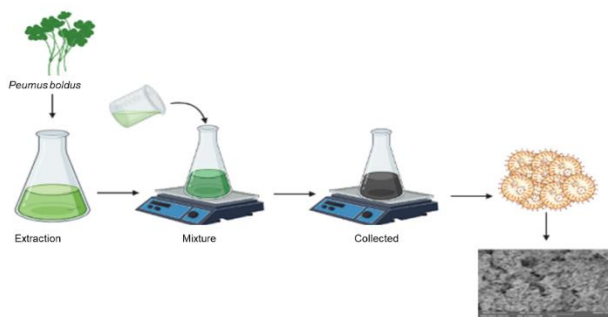


Figure 1. Schematic representation of NiNP synthesis.

3 Results and Discussion

UV-Visible spectra of nickel nanoparticle synthesized from *Peumus boldus* by green synthesis shown in Figure 2. NiNP gives a strong absorbance peak at 656 nm. When the UV-Visible spectrum is examined, it shows that NiNPs are homogeneous. The maximum band in the UV-visible spectrum is due to the oscillation of the nickel conduction band electron. In the UV-Visible spectrum of the nickel nanoparticle solution dispersed in water, the maximum absorbance was observed at 656 nm wavelength.

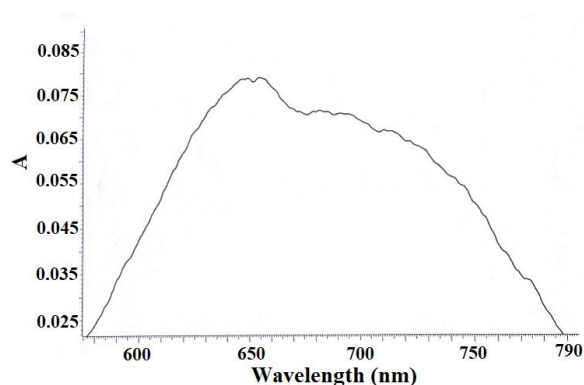


Figure 2. UV-visible spectrum of NiNPs synthesised at *Peumus boldus* extract

The FTIR spectrum of biologically synthesized nickel nanoparticles is shown in Figure 3. When the FTIR spectrum of nickel nanoparticles was examined, it showed a transmission peak at 3370, 2967, 2889, 1587, 1376, and 1047 cm^{-1} . The peak at 1047 is thought to be due to saturated alkanes, while the peak at 1376 is due to alcohol and phenol. The peak at 1587 indicates amide, the peak at 3500 indicates the hydrogen bonded alcohol and phenol.

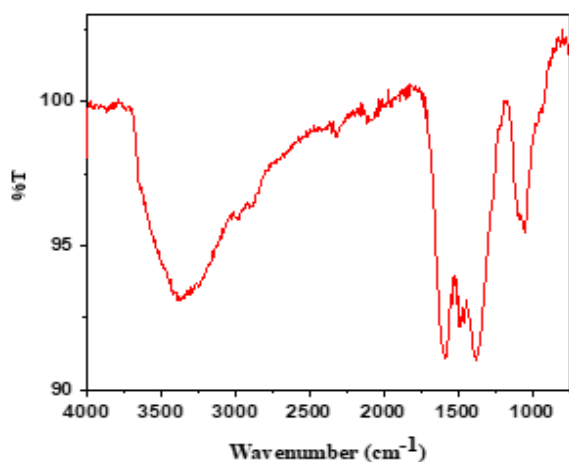


Figure 3. FTIR spectra of synthesized Ni nanoparticles by *Peumus boldus* extract

In order to study the morphology and size of the biosynthesized NiNPs, SEM images were recorded at different magnifications (Fig. 4). The formation of NiNPs as well as their morphological dimensions through the SEM study demonstrated that the average size was around 15-20 nm with the shape of spherical nature. The SEM image further confirms the production of a high density of NiNPs synthesized through the *Peumus boldus* extract.

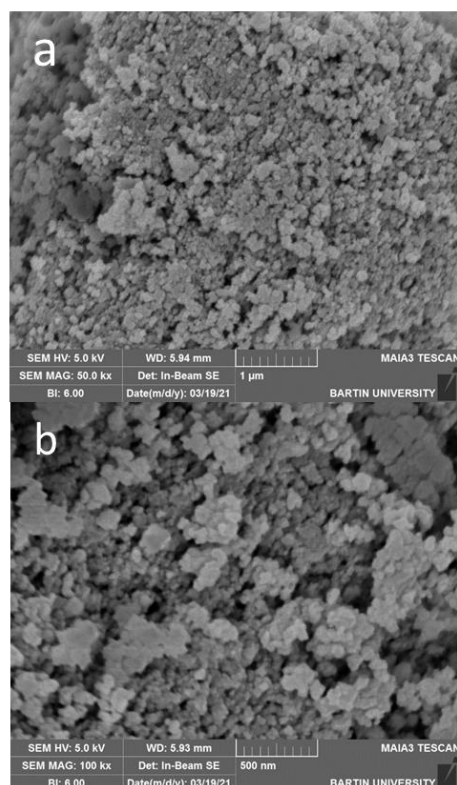


Figure 4. SEM of NiNPs biosynthesized using the *Peumus boldus* aqueous extract

The crystalline structures of the NiNPs were characterized by XRD. The major diffraction peaks appear at 2θ , 36.85, 42.90, and 62.49, which can be indexed as (111), (200), and (220) planes. The crystalline structure of NiO NPs is in accordance with JCPDS card No. 04-0835. No impurities were observed which suggests the high purity of monophasic Ni nanoparticles

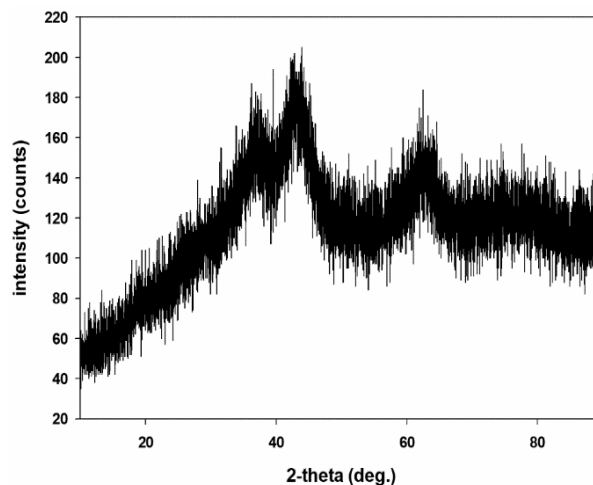


Figure 5. X-ray diffractogram of *Peumus boldus* extract-reduced NiNPs.

NiNPs were used to assess their antibacterial properties against very common bacteria, *E. coli* and *S. aureus*. The results showed that these nanoparticles are very effective against Gram-negative bacterium *E. coli* (Figure 6A), especially at the highest concentration (800 $\mu\text{g}/\text{mL}$) the bacterial viability was found as around 1.7% as compared to control group (0 $\mu\text{g}/\text{mL}$). On the other hand, these nanoparticles are also effective against Gram-positive bacterium *S. aureus* but this effect is lesser (Figure 6B).

Previous studies also showed that Nickel nanoparticles have antibacterial activities on these bacteria [17]. These nanoparticles can alter the bacterial cell membrane permeability, thus transport through membranes are improper, leading to cell death [18]. Furthermore, they can penetrate into the cell and release Ni ions, which damage the biomolecules that contain phosphorous and sulfur, such as DNA [19].

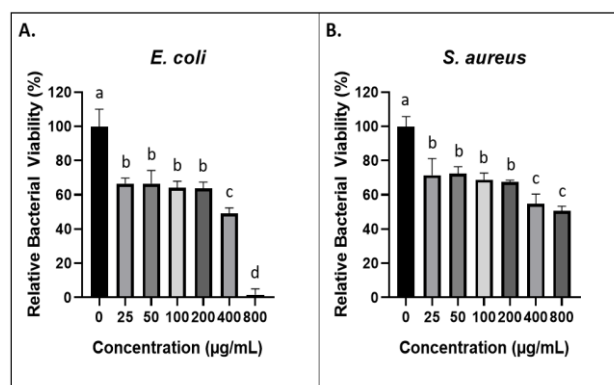


Figure 6. Antibacterial activities of NiNPs against (A) *E. coli* and (B) *S. Aureus*. Different lower cases indicate that the mean values are statistically different according to One-way ANOVA ($p < 0.05$)

4 Conclusion

Nanotechnology is an important area of research that is a pioneer of different technologies and fundamental innovations, and it is expected to inspire many other important innovations in the future. Today, one of the most important outputs of these innovations is the production of nickel nanoparticles with the green synthesis method. The NiNPs were successfully fabricated via green route using *Peumus boldus* extract, which were confirmed by UV-vis, XRD, FTIR, and SEM techniques. SEM images of the synthesized silver nanoparticles show that the particles have a spherical structure and an average diameter of 15-20 nm. FTIR results, which help to understand the relationship of functional groups between metal nanoparticles and biomolecules, at 3370 cm⁻¹ peak value confirm the presence of -NH and -OH groups in the *Peumus boldus* extract rich in flavonoids and terpenoids. With this result, it was confirmed that NiNO₃ was reduced due to the presence of -OH group. In UV-Vis spectrum analysis, the presence of a strong and wide absorption band with a peak located at 656 nm and the observation of its change from transparent to brown hues during synthesis are proof of the success of nickel nanoparticle synthesis.

In the present study, antibacterial properties of NiNPs were studied and the results showed that these nanoparticles have significant effects on both *E. coli* and *S. aureus*, but the effect on *E. coli* was found higher than the effect on *S. aureus*.

Due to the effective biological, pharmacological, and antioxidant properties of silver nanoparticles obtained by the green synthesis method from *Peumus boldus*, a more comprehensive in vitro and in vivo study is needed together with phytochemical studies in order to expand its daily use.

Acknowledgements

This study was partly supported by Bartın University.

Declaration

Ethics committee approval is not required for this study.

References

- [1] Korbekandi, H., & Irvani, S. (2012). *Silver nanoparticles*. IntechOpen.
- [2] Kaviya, S., Santhanalakshmi, J., & Viswanathan, B. (2011). Green synthesis of silver nanoparticles using Polyalthia longifolia leaf extract along with D-sorbitol: study of antibacterial activity. *Journal of nanotechnology*, 2011.
- [3] Khalil, K. A., Fouad, H., Elsarnagawy, T., & Almajhdi, F. N. (2013). Preparation and characterization of electrospun PLGA/silver composite nanofibers for biomedical applications. *Int J Electrochem Sci*, 8(3), 3483-3493.
- [4] Din, M. I., Rani, A., Hussain, Z., Khalid, R., Aihetasham, A., & Mukhtar, M. (2021). Biofabrication of size-controlled ZnO nanoparticles using various capping agents and their cytotoxic and antitermite activity. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 101(6), 821-837.
- [5] A Ahmad, A., Mukherjee, P., Senapati, S., Mandal, D., Khan, M. I., Kumar, R., & Sastry, M. (2003). Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 28(4), 313-318.
- [6] Klaus-Joerger, T., Joerger, R., Olsson, E., & Granqvist, C. G. (2001). Bacteria as workers in the living factory: metal-accumulating bacteria and their potential for materials science. *TRENDS in Biotechnology*, 19(1), 15-20.
- [7] Ahmad, M. A., Salmiati, S., Marpongahtun, M., Salim, M. R., Lolo, J. A., & Syafiuddin, A. (2020). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Muntingia calabura Leaf Extract and Evaluation of Antibacterial Activities. *Biointerface Res. Appl. Chem*, 10, 6253-6261.
- [8] Rameshthangam, P., & Chitra, J. P. (2018). Synergistic anticancer effect of green synthesized nickel nanoparticles and quercetin extracted from *Ocimum sanctum* leaf extract. *Journal of materials science & technology*, 34(3), 508-522.
- [9] Asmathunisha, N., & Kathiresan, K. (2013). A review on biosynthesis of nanoparticles by marine organisms. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 103, 283-287.
- [10] Fardood, S. T., Ramazani, A., & Moradi, S. (2017). A novel green synthesis of nickel oxide nanoparticles using Arabic gum. *Chemistry Journal of Moldova*, 12(1), 115-118.
- [11] Kasthuri, J., Veerapandian, S., & Rajendiran, N. (2009). Biological synthesis of silver and gold nanoparticles using apiin as reducing agent. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 68(1), 55-60.
- [12] Ezhilarasi, A. A., Vijaya, J. J., Kaviyarasu, K., Kennedy, L. J., Ramalingam, R. J., & Al-Lohedan, H. A. (2018). Green synthesis of NiO nanoparticles using *Aegle marmelos* leaf extract for the evaluation of in-vitro cytotoxicity, antibacterial and photocatalytic properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 180, 39-50.
- [13] Huang, J., Li, Q., Sun, D., Lu, Y., Su, Y., Yang, X., ... & Chen, C. (2007). Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried *Cinnamomum camphora* leaf. *Nanotechnology*, 18(10), 105104.
- [14] Bali, R., & Harris, A. T. (2010). Biogenic synthesis of Au nanoparticles using vascular plants. *Industrial & engineering chemistry research*, 49(24), 12762-12772.
- [15] Pasupuleti, V. R., Prasad, T. N. V. K. V., Shiekh, R. A., Balam, S. K., Narasimhulu, G., Reddy, C. S., ... & Gan, S. H. (2013). Biogenic silver nanoparticles using *Rhinacanthus nasutus* leaf extract: synthesis, spectral analysis, and antimicrobial studies. *International journal of nanomedicine*, 8, 3355.
- [16] A.L. Brandt, A. Castillo, K.B. Harris, J.T. Keeton, M.D. Hardin, T.M. Taylor, Inhibition of *Listeria monocytogenes* by Food Antimicrobials Applied Singly and in Combination, *J Food Sci* 75(9) (2010) M557-M563.
- [17] Brandt, A. L., Castillo, A., Harris, K. B., Keeton, J. T., Hardin, M. D., & Taylor, T. M. (2010). Inhibition of *Listeria monocytogenes* by food antimicrobials applied singly and in combination. *Journal of Food Science*, 75(9), M557-M563.
- [18] Pang, H., Lu, Q., Chen, C., Liu, X., & Gao, F. (2011). Facile synthesis of Ni₃(BO)₃ nanoribbons and their antimicrobial, electrochemical and electrical properties. *Journal of Materials Chemistry*, 21(36), 13889-13894.
- [19] Chaudhary, R. G., Tanna, J. A., Gandhare, N. V., Rai, A. R., & Juneja, H. D. (2015). Synthesis of nickel nanoparticles: Microscopic investigation, an efficient catalyst and effective antibacterial activity. *Adv. Mater. Lett*, 6(11), 990-998.



SYNTHESIS OF BaTiO₃ VIA MICROWAVE METHOD AND APPLICATION OF PANI/BaTiO₃ NANOCOMPOSITE AS COUNTER ELECTRODE IN HIGH PERFORMANCE DYE SENSITIZED SOLAR CELL

Recep Taş^{*1} , Mahir Gülen² 

¹Department of Biotechnology, Faculty of Science, Bartın University, 74100 Bartın, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Bartın University, 74100 Bartın, Turkey

Abstract

Original scientific of paper

The development of the Dye sensitized Solar Cell (DSSC) architecture has opened the door to exciting new possibilities and photovoltaic (PV) systems to produce electricity at potentially lower costs. Therefore, DSSCs attract the attention of both researchers working in the energy field and the PV industry. Due to their low material cost, easy and inexpensive production processes and reasonable conversion efficiency, DSSCs are considered as an alternative to other conventional solar cells. In this work, BaTiO₃ nanoparticles were produced quickly and at low cost using the microwave method. Using the obtained BaTiO₃, Poly aniline (PANI)/BaTiO₃ nanocomposites were successfully sensitized and their usability as counter electrodes in DSSC was investigated. The coated PANI and nanocomposite films were characterized by Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffractometry (XRD), scanning electron microscopy (SEM), Cyclic Voltammetry (CV), and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) measurements. It was used as a counter electrode (CE) in DSSC architecture to characterize the photovoltaic potentials of the obtained nanocomposite films. In photovoltaic analysis, the conversion efficiency of DSSC using nanocomposite CE increased by 39% compared to cells employing pure PANI CE. As a result, it has been determined that synthesized nanocomposites can be used as CE in DSSCs instead of Pt, which is expensive and has limited stock in terms of both cost and durability and photovoltaic performance.

Keywords: Polyaniline, BaTiO₃, microwave method, nanocomposite, dye sensitized solar cell.

1 Introduction

Polymer and polymer-containing materials, which have an important place in our daily life, are widely used in industry and technology. The usefulness of some polymers with different structures and properties is related to the electrical properties of such materials, allowing them to be used in electrical insulators, dielectric capacitors or microwave devices. In addition, some polymers have superior optical properties, and these are the inner layers of aircraft windows, safety glass, etc. It is very important for areas [1].

On the other hand, depending on the increasing demands and the development of ceramic materials, the importance of dielectric characteristics (essentially insulating) is increasing day by day. At the same time, attempts to reduce the size of electronic devices such as expectations and communication tools are also inevitable. Along with these and similar reasons, studies have been intensifying in recent years on ceramic materials with high dielectric constant, such as BaTiO₃ [2].

The starting materials used in the production of advanced engineering ceramics are required to be submicron-sized, pure reactive and solidifiable at lower temperatures. At the same time, the importance of ceramics is increasing due to the rapid development of

electromagnetic devices with small sizes, which leading to high dielectric constant of a particle and low losses in microwave frequencies. Among the dielectric materials, BaTiO₃ is one of the most researched materials in terms of its high dielectric constant, low dielectric loss and high dielectric coefficient, resulting in high electric field [3, 4].

Among the conductive polymers, Polyaniline (PANI) is one of the most studied polymers due to its many superior properties. PANI is an unique conducting polymer whose properties not only depend on the oxidation state but also its protonation doping level and also on the nature of dopants [5]. These properties make the PANI a promising candidate for the fundamental study of potential device applications such as solar cells, light-emitting diodes, transparent electrodes, gas and humidity sensing, and many more in nanotechnology applications [6-8].

Many strategies have been developed to synthesize metal oxide structures, such as direct elemental reaction in a high temperature quartz tube [9], ball mill solid-state metathesis reaction [10], chemical vapor deposition [11], thermal decomposition [12], hydrothermal [13], solvothermal [14], sonochemical [15] and electrochemical [16]. However, many of these synthesis strategies have a lot of disadvantages that they require long time at high temperature or high-pressure conditions, complex

* Corresponding author.

E-mail address: rtas@bartin.edu.tr (R.Taş)

Received 30 April 2021; Received in revised form 01 July 2021; Accepted 01 July 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.929966>

processes and advanced equipment or the technical skills required to prepare precursor materials. Whereas one of the ultimate goals in any scientific study is to find the simplest way to prepare the materials. From this point of view, the microwave method attracts attention due to its very fast synthesis of nanoscale metal oxide materials, high efficiency and environmental friendliness [17, 18]. Compared to traditional external heating methods, since microwave heating can provide rapid volumetric and homogeneous heating without heat conduction conditions, synthesis reactions can take place in a very short time [19]. The studies carried out show that microwave assisted synthesis is very simple, efficient and does not require extra annealing process, and especially its very short duration can reduce the cost of material synthesis and save time.

In this study, we report the synthesis of BaTiO₃ by microwave method and *in situ* synthesis of PANI/BaTiO₃ nanocomposites by chemical oxidation technique, and also employing PANI/BaTiO₃ nanocomposite films as counter electrode (CE) in DSSC architecture for the first time. The electrochemical features such as cyclic voltammetry (CV), Tafel polarization and electrochemical impedance spectroscopy (EIS), surface morphology and structural properties of pure PANI and PANI/BaTiO₃ nanocomposites films were investigated. In addition, the photovoltaic (PV) performance of DSSC employing the nanocomposite films as CE was investigated. Various PV parameters of the prepared DSSCs such as open-circuit voltage (V_{oc}), short circuit current density (J_{sc}), filling factor (FF), and overall efficiency were determined.

2 Materials and Methods

2.1 Chemicals

In the polymerization processes, aniline (Aldrich, 97%) was used as a monomer by distillation by distillation. Other chemicals used in the study were used without any processing, since they are of analytical purity. Distilled water (H₂O) and acetonitrile (Aldrich, 99.8%) were used as solvents, and ammonium persulfate (NH₄S₂O₈) (Sigma-Aldrich, 98%) was used as the raiser. Hydrochloric acid (HCl) (Sigma-Aldrich, 37%) was used as acid, and TiCl₄ (99.95%, Aldrich), Ba(NO₃)₂ (99%, Aldrich) were used in nanoparticle synthesis. To prepare photoanodes, Titanium (IV) oxide nanopowders (718467, Sigma Aldrich), di-tetrabutylammoniumcis-bis(isothiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato)ruthenium(II) (N-719) dye (703214, Sigma Aldrich) were used. For synthesis of redox electrolyte; used iodine, 1-butyl-3-methylimidazolium iodide, 4-tert-butylpyridine, lithium iodide hydrate and 3-methoxypropionitrile were used.

2.2 Synthesis of BaTiO₃ Nanoparticles

BaTiO₃ (BT) nanoparticles were synthesized using TiCl₄ (99.95%, Aldrich), Ba(NO₃)₂ (99%, Aldrich) in a 1:2 mixture of HCl:water. First, two solutions were prepared. In the first, 1 mL of TiCl₄ was slowly added to 25 mL of deionized water at 0 °C with stirring until it turned into a homogeneous solution. Second, similarly

0.88 g of Ba(NO₃)₂ was dissolved in 25 mL of deionized water. Then, these two solutions prepared were transferred to 25 mL of HCl:water mixture prepared at a ratio of 1:2 and mixed on magnetic stirrer for 30 minutes at 500 rpm stirring speed. The reaction mixture was placed in a 100 mL teflon autoclave, reaching 90% of its volume and providing maximum pressure efficiency. The pressure microwave autoclave was sealed and reacted for 10 min using 2.45 GHz of microwave radiation at a maximum power of 800 W. At this stage, the ambient temperature was measured as 140 °C. After the reaction, the autoclave was naturally cooled to room temperature. Thus, the solid product was washed several times with deionized water and alcohol, and then dried under vacuum at 80 °C for 24 hours.

2.3 Synthesis of PANI/BaTiO₃ Nanocomposites

PANI/BaTiO₃ composites were synthesised *in situ* by adding BaTiO₃ to the medium at certain proportions during the oxidative polymerization of polyaniline. BaTiO₃ nano powders were dispersed in deionized water and mixed using magnetic stirrer at room temperature for 3 hours. In another beaker, a 1:1 ratio of aniline:HCl was mixed in acetonitrile at room temperature. Four of this PANI solution was prepared and BaTiO₃ was added in different proportions to three of these prepared PANI solutions. It was added from NH₄S₂O₈ solution to start polymerization. One pure PANI was synthesized. The solid product was washed several times with deionized water and acetonitrile and dried under vacuum at 60 °C for 12 hours. Obtained substances are named as in Table 1.

Table 1. The amount of PANI and BaTiO₃ by weight in the named samples.

Sample	% PANI	% BaTiO ₃
SP	100	-
BP1	99,5	0,5
BP2	99	1
BP3	98	2

According to the FTIR results obtained in this study, the reaction scheme of the PANI/BaTiO₃ interaction can be considered as in Figure 1.

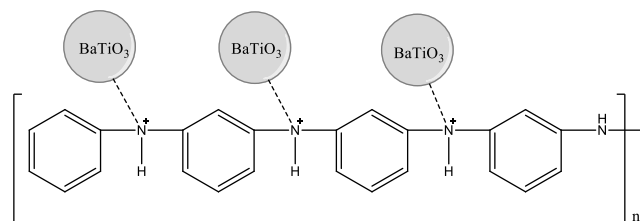


Figure 1. Predicted reaction scheme of BaTiO₃ / PANI interaction.

2.4 Preparation of SP, BP1, BP2 and BP3 based CEs

The polymers SP, BP1, BP2, and BP3 were dissolved in formic acid at a certain concentration and then mixed with a magnetic stirrer for 2 hours. Before deposition, the fluorine-doped tin oxide (FTO) substrates (Asahi Glass;

sheet resistance: 15 Ω/cm^2) were cleaned as reported in our previous study [20]. After cleaning, a spin coating was carried out to deposit polymer solutions on FTO substrates for 30 seconds at 2000 rpm. This process was repeated 15 times on each substrate to make the surface homogeneous. Lastly, SP, BP1, BP2, and BP3 catalyst-coated electrodes were annealed at 80 $^\circ\text{C}$ for 45 minutes.

2.5 Fabrication of DSSCs using SP, BP1, BP2 and BP3 based CE

In the current study, titanium (IV) oxide based photoanodes were sensitized with 0.3 mM of di-tetrabutylammoniumcis-bis(isothiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato)ruthenium(II) (N-719) dye overnight. The preparation of photoanodes was detailed in our previous reports [20]. Moreover, to prepare the $\text{I}^{-3}/\text{I}^{-}$ redox electrolyte, 0.01 M iodine, 0.6 M 1-butyl-3-methylimidazolium iodide, 0.1 M 4-tert-butylpyridine and 0.1 M lithium iodide hydrate were solved in 3-methoxypropionitrile, separately. Next, the solutions were poured in a bottle and mixed by magnetic stirrer for 5 h. Assembly of DSSCs was carried out by positioning the photoanode face up on a horizontal surface, and placing CE on top of the photoanode. The redox electrolyte was dropped at the edges of a electrode, and the electrolyte was drawn into the space between the photoanode and CE.

2.6 Characterizations

ATR-FTIR spectroscopy was used for the chemical characterization of the products obtained. The surface morphology of the samples was examined using the SEM (TESCAN, MAIA3 XM). X-ray diffraction spectra (XRD) of nanocomposites were examined with Rigaku D/MAX-2200 device with $\text{CuK}\alpha$ wavelength radiation beam at room temperature $10^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$. Cyclic voltammetry (CV) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurements were done by a potentiostat/galvanostat instrument (ZIVE SP1). CV tests were conducted with three electrodes system; the nanocomposite CEs, platinum sheet and Ag/AgCl in 3 M NaCl were used as working electrode, counter electrode and reference electrode, respectively. CV of CEs was carried out in electrolytic medium containing 0.1 M LiClO_4 , 0.1 M $\text{I}^{-3}/\text{I}^{-}$ redox electrolyte and acetonitrile at scan rate of 50 mV s^{-1} and in range of -0.6-1.0 V. For EIS experiments, the symmetric cells were assembled with two identical CEs filled with the redox electrolyte of $\text{I}^{-3}/\text{I}^{-}$. The active area of the symmetric cells was 0.25 cm^2 . In EIS analysis, the samples were scanned from 10 Hz to 100 kHz. The current density-potential (J-V) curves of prepared DSSCs were recorded using Fytronix PV characterization system under the AM 1.5 G illumination of 100 mW cm^{-2} .

3 Results and Discussion

FTIR spectra of polyaniline polymers doped with different proportions of BaTiO₃ are given in Figure 2. In the FT-IR spectrum of unoperated polyaniline, 1621 cm^{-1} and 1597 cm^{-1} NH_2 strain, 1492 cm^{-1} C-H bending, 1270

cm^{-1} C-N strain, 1171 cm^{-1} C-H bending and 744 cm^{-1} C-H strain characteristic peaks were observed. In the FT-IR spectrum of BaTiO₃ obtained by microwave method, characteristic peaks of BaTiO₃ resulting from 560 and 450 cm^{-1} Ti-O vibrations were observed. When the FT-IR spectra of composite samples are examined, the N-H stress peak seen in around 3300 cm^{-1} in polyaniline disappears in PANI/BaTiO₃ composite. This situation shows that the dominant interaction is between the H atoms in the N-H bond and the OH molecules in the solution environment, and it is bound to BaTiO₃ molecules through O atoms (Fig. 1).

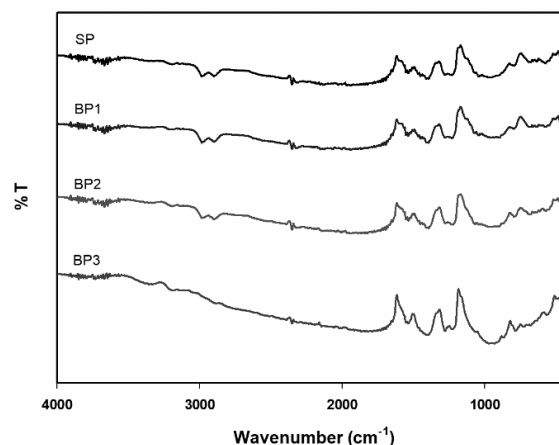


Figure 2. FTIR spectra of SP, BP1, BP2, and BP3 nanocomposites, respectively.

XRD results of PANI composites prepared with BaTiO₃ obtained by microwave method are given in Figure 3. The $2\theta = 25.36^\circ$ peak in the non-doped polymer is the main peak of polyaniline [21]. In addition, other peaks of pure polyaniline are seen at $2\theta = 21.08^\circ$, 35.06° , and 64.92° . When the XRDs of composites are examined, the peaks of BaTiO₃ are clearly seen. As can be seen from Figure 3, natural orientation of crystal structure did not change, while the intensity of diffraction patterns of BaTiO₃ decreased slightly. This situation reveals that although PANI surrounds BaTiO₃ in composite formation, the crystal structure of BaTiO₃ does not change and it preserves its tetragonal perovskite structure.

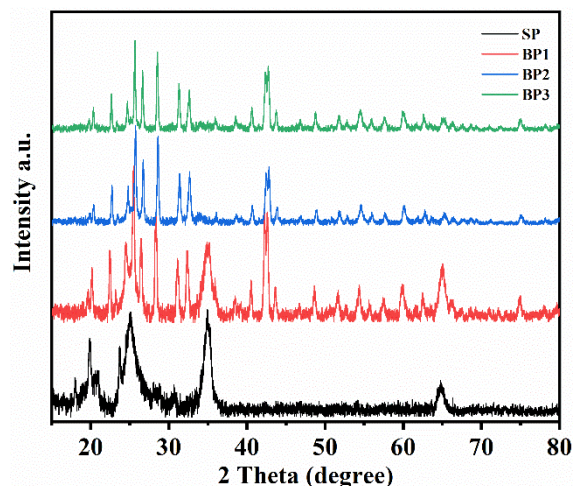


Figure 3. X-ray diffractogram patterns of SP, BP1, BP2, and BP3 nanocomposites, respectively.

In Figure 4, SEM images of the surface morphology of the composites where unadulterated polyaniline (Fig. 4a) and BaTiO₃ obtained by microwave method are doped at different proportions (Fig.4b-4d) are shown. In accordance with the XRD results, it is seen that the distribution of the BaTiO₃ in the polymer matrix changes due to the increase in the amount of BaTiO₃. This change is generally in the form of regional clusters and is not homogeneous. The presence of BaTiO₃ in PANI matrix led to increment in surface area, resulting in higher J_{sc} and FF value of the suggested DSSC. Moreover, increasing BaTiO₃ doping is clearly seen in the polymer matrix from SEM micrographs. The large amount of BaTiO₃ in PANI matrix led to agglomeration, resulting in decrement of surface area. Therefore, the optimum amount of dopant can be set as 1%.

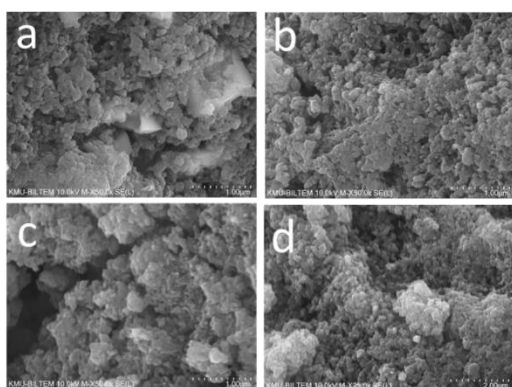


Figure 4. SEM of the a) SP, b) BP1, c) BP2 and d) BP3 nanocomposites.

Cyclic voltammetry (CV) measurements are generally an electrochemical measurement taken to examine the interaction of the counter electrode with the redox electrolyte used in DSSCs and the electrochemical kinetics of the counter electrode. The current density versus voltage graphs of the counter electrodes of the obtained PANI/BaTiO₃ composites are shown in Figure 5. CV plots of PANI-based counter electrodes typically show 2 distinct peaks, a pair of reduction-oxidation. A higher J_{red} value and a lower E_{pp} value indicate high electrocatalytic activity of the proposed counter electrode [22]. The value of the reduction peak current density (J_{red}) of the BP2 CE is slightly higher than that of the other CEs (Table 2). Compared to SP CE, the proposed BP2 CE structure provides extremely superior electrochemical stability and enhanced corrosion resistance.

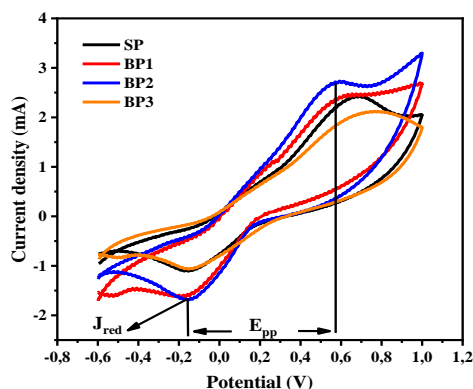


Figure 5. CV curves of SP, BP1, BP2, and BP3 polymers and composites

Table 2. Electrochemical parameters obtained from CV and EIS analysis of the counter electrodes.

Sample	J_{red} (mA)	E_{pp} (V)	R_s (ohm)	R_{ct} (ohm)	W (ohm)
SP	1.10	0.82	41	194	21
BP1	1.59	0.78	37	142	16
BP2	1.70	0.71	31	114	12
BP3	1.05	0.89	44	325	24

Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurement is a powerful tool that provides very useful information and is used to examine the electron transfer kinetics occurring at interfaces [23, 24]. Therefore, EIS measurements of SP, BP1, BP2, and BP3 counter electrodes were carried out. Nyquist drawings of the EIS measurements taken are given in Figure 6. Equivalent circuit corresponding to Nyquist curves is given inside of Figure 6. R_s given in the circuit is the series resistance that is the first point where the high frequency first loop crosses the x-axis. R_{ct} is the electron transfer resistance that occurs at the opposite electrode/electrolyte interface. W (Warburg) is known as the diffusion impedance of the electrolyte on the CE surface. R_s , R_{ct} , and W values obtained by fitting Nyquist curves with the equivalent circuit are listed in Table 2. When Table 2 is examined, it is seen that R_s , R_{ct} , and W values decrease as a result of the effect of BaTiO₃ on the polymer structure. This indicates that the FTO/counter electrode and the counter electrode/electrolyte interfaces are improved, furthermore the diffusion of the electrolyte at the CE surface has improved [25-27].

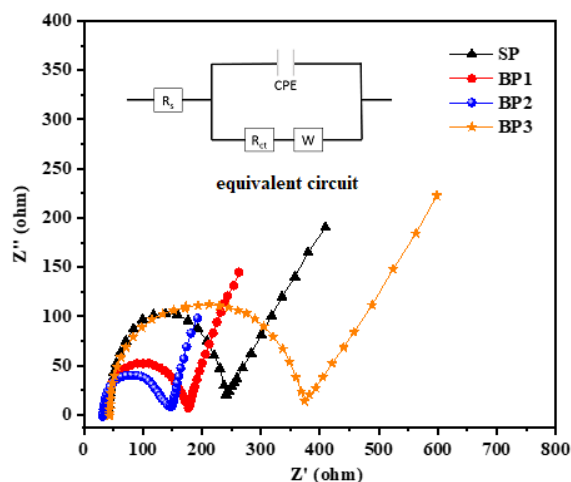


Figure 6. Nyquist plots of DSSCs based on SP, BP1, BP2, and BP3 counter electrodes.

J-V curves (Figure 7) were measured to evaluate the photovoltaic performance of the produced polymer and nanocomposite counter-electrode based DSSCs. Photovoltaic parameters obtained from J-V curves are displayed in Table 3. As can be seen from the table, it is seen that the FF and J_{sc} values of the BP2 cell have the highest values compared with the pure polymer and other composites. The FF and J_{sc} values of the BP2 cell were 62.5% and 14.56 mA / cm², respectively. The FF and J_{sc} values of the pure PANI (SP) cell were 55.4% and 12.10 mA/cm², respectively. As a result, the conversion efficiency increased from 4.58% to 6.37% with an increase of 39%. This improvement in efficiency can be

attributed to the increment of the J_{red} value from 1.10 to 1.70 mA/cm², the decrement of E_{pp} value from 0.82 to 0.71 V, and the lowering the R_s value from 41 to 31 Ω and R_{ct} value from 194 to 114 Ω , by incorporation of BaTiO₃ to PANI matrix.

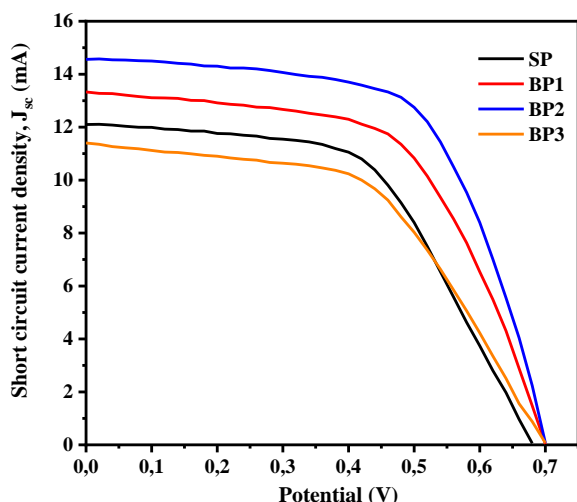


Figure 7. Current density vs. voltage plots of DSSCs based on SP, BP1, BP2, and BP3 counter electrodes.

Table 3. Photovoltaic parameters obtained from the J-V characterization of the solar cells.

Sample	J_{sc} (mA)	V_{oc} (V)	FF (%)	η (%)
SP	12.10	0.68	55.4	4.58
BP1	13.32	0.70	58.4	5.45
BP2	14.56	0.70	62.5	6.37
BP3	11.40	0.70	53.3	4.25

4 Conclusion

In this study, BaTiO₃ nano powders were obtained by microwave method and BaTiO₃/polymer composites were synthesized by chemical polymerization method by in situ method. Structural interaction parameters of all composite samples were performed by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffractometer (XRD) and cyclic voltammetry (CV) analysis. In addition, the performance of composites as counter electrodes in dye sensitized solar cells (DSSC) was investigated in comparison pure PANI. From the XRD and FTIR results, it was determined that PANI/BaTiO₃ composites were synthesized successfully. It was used as a counter electrode in DSSCs to characterize the photovoltaic potentials of the produced nanocomposites. In photovoltaic analysis, the conversion efficiency of nanocomposite DSSCs increased by 39% compared to pure polymer counter electrode cells. By incorporation of BaTiO₃ to PANI, the charge transfer kinetics have been improved due to the improvement of electrical conductivity, electrocatalytic activity, as well as the interfacial states, and as a result, the conversion efficiency of the nanocomposite DSSCs has improved compared to the pure PANI counter electrode cells. Therefore, it can be said that produced nanocomposites can be used in DSSCs due to its low cost, high durability and performance instead of Pt, which is expensive and has limited stock.

Acknowledgements

This study was partly supported by Bartin University.

Declaration

The authors declare that the ethics committee approval is not required for this study.

References

- [1] Jangid, N. K., Jadoun, S., & Kaur, N. (2020). A review on high-throughput synthesis, deposition of thin films and properties of polyaniline. *European Polymer Journal*, 125, 109485.
- [2] Maison, W., Kleeberg, R., Heimann, R. B., & Phanichphant, S. (2003). Phase content, tetragonality, and crystallite size of nanoscaled barium titanate synthesized by the catecholate process: effect of calcination temperature. *Journal of the European Ceramic Society*, 23(1), 127-132.
- [3] Sengupta, L., & Sengupta, S. (1997). Novel ferroelectric materials for phased array antennas. *IEEE Transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, 44(4), 792-797.
- [4] Sengupta, L. C., Stowell, S., Ngo, E., O'day, M. E., & Lancto, R. (1995). Barium strontium titanate and non-ferroelectric oxide ceramic composites for use in phased array antennas. *Integrated Ferroelectrics*, 8(1-2), 77-88.
- [5] Sönmezoglu, S., Taş, R., Akın, S., & Can, M. (2012). Polyaniline micro-rods based heterojunction solar cell: structural and photovoltaic properties. *Applied Physics Letters*, 101(25), 253301.
- [6] Kim, Y. H., Kim, M., Oh, S., Jung, H., Kim, Y., Yoon, T. S., ... & Ho Lee, H. (2012). Organic memory device with polyaniline nanoparticles embedded as charging elements. *Applied Physics Letters*, 100(16), 91.
- [7] Mangal, S., Adhikari, S., & Banerji, P. (2009). Aluminum/polyaniline/GaAs metal-insulator-semiconductor solar cell: Effect of tunneling on device performance. *Applied Physics Letters*, 94(22), 223509.
- [8] Bousalem, S., Zeggai, F. Z., Baltach, H., & Benyoucef, A. (2020). Physical and electrochemical investigations on hybrid materials synthesized by polyaniline with various amounts of ZnO nanoparticle. *Chemical Physics Letters*, 741, 137095.
- [9] Henshaw, G., Parkin, I. P., & Shaw, G. (1996). Convenient, low-energy synthesis of metal sulfides and selenides; PbE, Ag₂E, ZnE, CdE (E= S, Se). *Chemical Communications*, (10), 1095-1096.
- [10] Matteazzi, P., & Le Caër, G. (1992). Mechanically activated room temperature reduction of sulphides. *Materials Science and Engineering: A*, 156(2), 229-237.
- [11] Biswas, S., Mondal, A., Mukherjee, D., & Pramanik, P. (1986). A chemical method for the deposition of bismuth sulfide thin films. *Journal of The Electrochemical Society*, 133(1), 48.
- [12] Verma, A. K., & Rauchfuss, T. B. (1995). Chalcogenospecific Synthesis of 1, 2-Se₂S₆ Using ZnS₆ (TMEDA). *Inorganic Chemistry*, 34(24), 6199-6201.
- [13] S.H. Yu, J. Yang, Y.S. Wu, Z.H. Han, Y. Xie, Y.T. Qian, Hydrothermal preparation and characterization of rod-like ultrafine powders of bismuth sulfide, *Mater Res Bull* 33(11) (1998) 1661-1666.
- [14] Yu, S. H., Yang, J., Wu, Y. S., Han, Z. H., Xie, Y., & Qian, Y. T. (1998). Hydrothermal preparation and characterization of rod-like ultrafine powders of bismuth sulfide. *Materials research bulletin*, 33(11), 1661-1666.

- [15] J.J. Zhu, S.W. Liu, O. Palchik, Y. Kolytyn, A. Gedanken, A novel sonochemical method for the preparation of nanophasic sulfides: Synthesis of HgS and PbS nanoparticles, *Journal of Solid State Chemistry* 153(2) (2000) 342-348.
- [16] Zhu, J., Liu, S., Palchik, O., Kolytyn, Y., & Gedanken, A. (2000). A novel sonochemical method for the preparation of nanophasic sulfides: synthesis of HgS and PbS nanoparticles. *Journal of Solid State Chemistry*, 153(2), 342-348.
- [17] Wang, K. L., Zhang, Q. B., Sun, M. L., Wei, X. G., & Zhu, Y. M. (2001). Rare earth elements modification of laser-clad nickel-based alloy coatings. *Applied surface science*, 174(3-4), 191-200.
- [18] Xiao, S., Li, X., Sun, W., Guan, B., & Wang, Y. (2016). General and facile synthesis of metal sulfide nanostructures: In situ microwave synthesis and application as binder-free cathode for Li-ion batteries. *Chemical Engineering Journal*, 306, 251-259.
- [19] Luo, F., Li, J., Yuan, H., & Xiao, D. (2014). Rapid synthesis of three-dimensional flower-like cobalt sulfide hierarchitectures by microwave assisted heating method for high-performance supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 123, 183-189.
- [20] Taş, R., Gülen, M., Can, M., & Sönmezoğlu, S. (2016). Effects of solvent and copper-doping on polyaniline conducting polymer and its application as a counter electrode for efficient and cost-effective dye-sensitized solar cells. *Synthetic Metals*, 212, 75-83.
- [21] Taş, R., Can, M., & Sönmezoğlu, S. (2015). Preparation and characterization of polyaniline microrods synthesized by using dodecylbenzene sulfonic acid and periodic acid. *Turkish Journal of Chemistry*, 39(3), 589-599.
- [22] Zheng, X., Deng, J., Wang, N., Deng, D., Zhang, W. H., Bao, X., & Li, C. (2014). Podlike N-doped carbon nanotubes encapsulating FeNi alloy nanoparticles: high-performance counter electrode materials for dye-sensitized solar cells. *Angewandte Chemie International Edition*, 53(27), 7023-7027.
- [23] Xia, J., Chen, L., & Yanagida, S. (2011). Application of polypyrrole as a counter electrode for a dye-sensitized solar cell. *Journal of Materials Chemistry*, 21(12), 4644-4649.
- [24] Zhang, X., Liu, J., Li, S., Tan, X., Zhang, J., Yu, M., & Zhao, M. (2013). DNA assembled single-walled carbon nanotube nanocomposites for high efficiency dye-sensitized solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(36), 11070-11077.
- [25] Wu, J., Yue, G., Xiao, Y., Huang, M., Lin, J., Fan, L., ... & Lin, J. Y. (2012). Glucose aided preparation of tungsten sulfide/multi-wall carbon nanotube hybrid and use as counter electrode in dye-sensitized solar cells. *ACS applied materials & interfaces*, 4(12), 6530-6536.
- [26] Qiu, L., Jiang, Y., Sun, X., Liu, X., & Peng, H. (2014). Surface-nanostructured cactus-like carbon microspheres for efficient photovoltaic devices. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(36), 15132-15138.
- [27] Wei, W., Wang, H., & Hu, Y. H. (2014). A review on PEDOT-based counter electrodes for dye-sensitized solar cells. *International Journal of Energy Research*, 38(9), 1099-1111.



MODELING WITH ANFIS OF SURFACE ROUGHNESS USING MINIMUM QUANTITY LUBRICATION TECHNIQUE IN MILLING PROCESS

Ömer Asal^{*1}, Hakan Dilipak¹, Ayşegül Yalçınkaya¹, Şeymanur Ünal¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

Methods such as fuzzy logic and artificial neural networks have been used frequently recently in modeling. In this study, mathematical models for estimating surface roughness were created in surface milling processes using artificial intelligence techniques. Within the scope of the study, 1.2738 mold steel was used as workpiece material. The experiments were carried out under dry cutting conditions and using a minimum quantity lubrication technique. As cutting parameters, the cutting speeds and the feed rates are selected. In experiments; 80 mm/min, 130 mm/min, 180 mm/min values, 3 different cutting speeds and 0.5 mm/teeth, 0.8 mm/teeth and 1mm/teeth 3 different feed rates were used. A total of 27 experiments have been conducted and the results of the experiments were modelled using the MATLAB program and the effect of the minimum quantity lubrication (MMY) technique on surface roughness using an adaptive network-based fuzzy logic inference system (ANFIS) approach. At the same time, the mathematical model was created by performing regression analysis in MINITAB. The results obtained by ANFIS and regression analysis were compared. As a result, the ANFIS model provided 100% accuracy, while the regression model achieved 71% accuracy.

Keywords: ANFIS, 1.2738 mold steel, surface roughness, milling, minimum quantity lubrication (MQL), regression analysis.

MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA TEKNİĞİ İLE FREZELEME İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ANFIS İLE MODELLENMESİ

Özet

Orjinal bilimsel makale

Bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi yöntemler model oluşturmada son zamanlarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada yapay zeka teknikleri kullanılarak yüzey frezeleme işlemlerinde, yüzey pürüzlülüğünün tahminine yönelik matematiksel modeller oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında iş parçası malzemesi olarak 1.2738 kalıp çeliği kullanılmıştır. Deneyler kuru kesme şartlarında ve minimum miktarda yağlama tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak, kesme hızı ve ilerleme seçilmiştir. Deneylerde; 80 mm/dak, 130 mm/dak, 180 mm/dak değerlerinde 3 farklı kesme hızı ve 0,5 mm/diş, 0,8 mm/diş, 1 mm/diş olmak üzere 3 farklı ilerleme miktarı kullanılmıştır. Toplam 27 adet deney yapılmış olup deney sonuçları MATLAB programı kullanılarak, minimum miktarda yağlama (MMY) tekniğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS) yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Aynı zamanda MİNİTAB' da regresyon analizi yapılarak matematiksel model oluşturulmuştur. ANFIS ve regresyon analizi ile elde edilen sonuçlar mukayese edilmiştir. Sonuç olarak ANFIS modeli %100 doğruluk sağlarken, regresyon modeli %71 oranında bir doğruluk sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: ANFIS, DIN 1.2738, frezeleme, minimum miktarda yağlama, regresyon analizi.

1 Giriş

Talaşlı üretim, otomotiv, havacılık, savunma ve diğer sektörlerde yıllarca kullanılmış ve günümüzde de etkisini arttırarak sürdürmektedir. Günümüzün teknolojik şartları bu sektörlerde işlenen parçaların yüzey kalitesinin ön plana çıkmasını sağlamaktadır. İşlenen parçaların kalitesi pek çok ölçüte bağlı olarak değişmektedir. Bu ölçütlerden önemli bir tanesi yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğünün iyi olması kullanılan takımlara,

malzemenin özelliğine, ilerleme, kesme hızı, soğutma sıvısı, vb. parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili çalışmalar 1900'lü yıllarda yapılmaya başlanmış ve günümüzde de devam etmektedir. Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle, veriler üzerinde istatistiksel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu sayede istenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için belirlenen parametrelerin etki oranları belirlenirken, oluşturulan matematiksel

* Corresponding author.

E-mail address: rtas@bartin.edu.tr (R.Tas)

Received 14 June 2021; Received in revised form 19 October 2021; Accepted 04 November 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.952306>

modellerle sonucun tahmin edilmesi de mümkün olmaktadır [1, 2].

Deneylerde kullanılan 1.2738 kalıp çeliği malzemesi homojen sertlik dağılımı, parlaklılabirlik, kolay kaynak edilebilme özelliklerine sahiptir. Kullanım alanlarını; arabaların tampon kalıpları, büyük gövdeli parçaların kalıpları, plastiklerin enjeksiyon, ekstrüzyon, pres ve şişirme kalıpları, vb. olarak sıralayabilmekteyiz [3].

Frezeleme işleminde talaş kaldırma sırasında parça ve takımın sürtünmesiyle ısı meydana gelmektedir. Bu ısının fazla olması parçanın yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bozulmayı engellemek için soğutma sıvısı kullanımı önem arz etmektedir. Kesme sıvıları, kesici takım ömrünü uzatırken ürün kalitesinin artmasına da katkı sağlamaktadır [4].

Geleneksel yöntemde kullanılan ideal kesme sıvısı kimyasal içeriklere sahip olduğu için insan sağlığını ve doğayı olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzluklar sebebiyle kuru kesme işlemleri yaygınlık kazanmıştır. Ancak kuru kesme şartları tam olarak iş parçasının işlenmesinde bir takım olumsuzluklara sebep olmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda minimum miktarda yağlama yöntemi talaşlı imalat işlemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Minimum miktarda yağlamanın kullanımı insana, doğaya olan zararı azaltarak, ekonomik açıdan yarar sağlayan bir yöntemdir [4].

Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), yapay sinir ağlarının akıl yürütme yeteneklerinin ve bulanık mantığın tahmin edebilme özelliklerinin birleştirilmesiyle oluşan bir metottur. ANFIS, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi analiz ederek veri setini oluşturan ağ tabanlı yapıdır [5].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, son yıllarda yüzey pürüzlülüğü çalışmaları ANFIS kullanılan çalışmalar olduğu görülmektedir. Yıldız ve Dilipak AISI 304 ve AISI 316 L östenitik paslanmaz çelik malzemelerine kesme hızı, ilerleme ve sabit talaş derinliği parametrelerini uygulayarak yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemiştir. İlerleme ve yüzey pürüzlülüğünün doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametrenin ilerleme olduğu sonucuna ulaşmışlardır [6]. Tekaslan ve arkadaşları AISI 304 çeliğini tormalayarak kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Çalışmada, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin kesme hızına göre daha etkili olduğu görülmüştür [7]. Yılmaz ve Güllü AISI 1050 çeliği kullanarak üç farklı ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği ile tormalama işlemi yapmışlardır. Yapılan işlemler sonucunda yüzey pürüzlülüğü için en etkili kesme parametrelerini belirlemiştir. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne belirgin bir etkisi olmadığı görülmüştür [8]. Erçetin ve Usca AISI 1040 çeliğine tormalama işleminde farklı kesme hızları kullanarak yüzey pürüzlülüklerini incelemiştir. Deney sonucunda en iyi yüzey pürüzlülüğünü maksimum kesme hızında olduğu görülmüştür [9]. Şirin ve arkadaşları farklı sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliğine kuru işlem şartlarında yüzey frezeleme yapmışlardır. Çalışmada Taguchi L9 dikey dizilimi kullanılarak yüzey pürüzlülüğüne bakılmış ve optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmiştir. Deneyler

sonucunda Taguchi optimizasyon metodunun başarılı olduğu görülmüştür [10]. Yalçın ve arkadaşları AA2024 alüminyuma farklı kesme parametreleri uygulayarak frezeleme işlemi yapılmışlardır. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçülerek elde edilen değerlere Taguchi ve ANOVA analizi yapılarak, kesme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne en etkili faktörlerin ilerleme ve kesme hızı olduğu görülmüştür [11]. Çelik ve Kıvak 17-4 PH çeliğinin TiAlN-AlCrO kaplamalı sementit karbür ile minimum miktarda yağlama kullanılarak tormalanmasında farklı kesme yağı ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Optimum kesme parametrelerini belirlemek için Taguchi metodunu kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin kesme yağı cinsi olduğu sonucuna ulaşmışlardır [12]. Yıldırım ve arkadaşları AISI 4340 marenzik çeliğinin Alümina kaplamalı karbür uçlar kullanarak tormalama deneylerini yapmışlardır. Kesme parametreleri ve Minimum Miktarla Yağlama (MMY) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda bitkisel esaslı kesme yağının yüksek viskozitesi nedeniyle ortalama yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğü tespit edilmiştir [13]. Kayır ve arkadaşları AISI 316Ti paslanmaz çeliğini tormalayarak Taguchi ve ANOVA analizleri yapmışlardır. Kesici uç yarıçapı, kesici uç formu ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlar ve yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametrelerin ilerleme ve kesici uç yarıçapı olduğu görülmüştür [14]. Başak ve Baday orta karbonlu bir çeliğe farklı küreselleştirme ısıl işlemleri uyguladıktan sonra tormalama işlemini gerçekleştirmişlerdir. İşlem esnasında oluşan bağımlı değişkenleri (esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri) doğrusal regresyon metodu ile bağımsız değişkenlere(kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği, ısıl işlem sıcaklığı ve süresi) bağlı olarak modellemiştir. Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri ANOVA anlamlılık testi ile belirlemiştir. Yapılan ANOVA testleri sonucunda ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı parametrelerinin esas kesme kuvveti için anlamlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü için ise anlamlı parametrelerin sıcaklık, ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı olduğu anlaşılmıştır [15]. Erçetin ve arkadaşları toz metalurjisiyle üretilen biyomedikal Tz54 magnezyum alaşımını farklı kesme hızlarında mikro frezeleme deneyleri yapmışlardır. Deney sonucunda kesme kuvvetlerin, diğer biyomedikal malzemelerle kıyaslandığında nispeten küçük olduğu görülmüştür [16]. Varyans analizi kullanılarak yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin araştırıldığı çalışmalar görülmektedir. Varyans analizin sonuçları incelendiğinde yüzey pürüzlülüğüne en etkin parametrenin ilerleme olduğu görülmüştür [17, 18, 19, 20]. Dere ve Filiz 12mm ve 24 mm çaplarındaki otomat çeliğine tormalama işlemi uygulamışlardır. İlerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği ve farklı çıkıntı uzunlukları parametrelerini kullanarak bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemiştir. Çalışmada varılan sonuçlar kullanılarak, yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden modeller ANFIS ile geliştirilmiş ve her parça için ayrı modeller oluşturulmuştur. İstatistiksel verilerin sonuçları incelendiğinde sapmaların düşük olması, yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmede ANFIS modellerin başarılı

olduğu sonucunu göstermiştir [1]. Bu çalışmaların yanı sıra ANFIS model kullanılarak yüzey pürüzlülüğü incelendiği birçok çalışma olduğu görülmektedir. Çalışmaların sonuçlarına bakıldığında ANFIS modelin istenilen başarıda olduğu görülmüştür [21, 22, 23, 24, 25]. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise, 1.2738 kalıp çeliği 3 farklı kesme hızı ve 3 farklı ilerleme kullanılarak frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. MMY tekniğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ANFIS ile modellenmiştir. Bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birlikte kullanıldığı bir model ile yüzey pürüzlülüğünün tahmini gerçekleştirilmiştir. ANFIS çalışması MATLAB'ta yapılmıştır.

Tablo 1. 1.2738 çeliğinin kimyasal bileşimi

Karbon	Krom	Molibden	Mangan	Nikel	Kükürt	Kalsiyum
%C	%Cr	%Mo	%Mn	%Ni	%S	%Ca
0,40	2,00	0,25	1,50	1,00	<0,005	+

2.2 CNC Tezgâh

Deneyler, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü İmalat Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Johnford VMC-550 marka sanayi tipi CNC freze tezgâhı kullanılmıştır. Tezgâhın gücü 5kW, en yüksek devir sayısı 6000 dev/dak, hassasiyeti 1µm ve işletim sistemi Fanuc'tur. Deneylerde kullanılan dik işlem tezgâhı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dik işlem tezgâhı

2.3 Kesici Takım ve Takım Tutucu

Deneylerde AKKO firmasına ait kesici uç ve SUMITOMO firmasına ait takım tutucu, ACP-200 kaplamalı uç ile kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici uç ve takım tutucuya ait şekil, takım kodları ve özellikler Tablo 2'te verilmiştir. Takım tutucuya 1 adet uç takılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

2.4 Minimum Miktarda Yağlama (MMY) Ve Kuru İşleme

Deney yapılırken minimum miktarda yağlama (MMY) ve kuru işleme yöntemleri kullanılmıştır. Minimum miktarda yağlama tekniğinde yağ, basınçlı hava ile kesme ortamına püskürtülerek kesici takım ile iş parçası arasında bir yağ filmi oluşturur. Bu sayede sürtünme azalır, kesici takım ve iş parçası arasındaki ısı atılmış olur. Bu yöntem çıkan talaşların kuruya yakın bir

MINITAB programında elde edilen denklem ile regresyon analizi yapılmıştır.


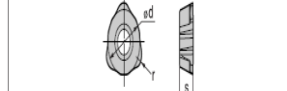
2 Materyal Ve Metot

2.1 İş Parçası Malzemesi

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak 1.2738 kalıp çeliği kullanılmıştır. 1.2738 kalıp çeliği, geleneksel freze tezgâhlarında işlenerek 65x100x50 mm ebatlarında getirilmiştir. Tablo 1'de 1.2738 çeliğinin kimyasal bileşimi gösterilmiştir. Ayrıca nitrasyon, krom kaplama ve desenlemeye çok uygundur.

şekilde kalmasını sağlaması sebebiyle de talaşların geri dönüşüm maliyetlerini azaltmaktadır[4]. Kuru işleme tekniğinde ise kesme ortamına herhangi bir yağlayıcı ve soğutucu verilmez. Çalışmada Şekil 2'de gösterilen SKF firmasının MMY sistemi kullanılmıştır. Soğutucu yağ için ise çelik malzemeler için üretilen "Lubrioil" isimli yağ tercih edilmiştir. Kullanılan yağın özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Takım tutucu ve kesici uç teknik özellikleri

Takım Tutucunun Teknik Özellikleri	Kesici Takımın Teknik Özellikleri
Takım Tutucunun Kodu: AHFM-WD0603-D20	Kesici Takımın Kodu: WDMT0603ZDTR
	
Takım Kodu	D Z d L l a
AHFM-WD0603-D20-C20-L150-Z03	20 3 20 150 70 2
	Cat. No. Coated Carbide Dimensions (mm) Max. d _{0c}
	ACP 100 ACP 200 ACP 300
	d s r
	WDMT 0603 ZDTR 6,35 3,0 1,5 1,0
	WDMT 0603 ZDTR-H

Tablo 3. Lubrioil yağının özellikleri

MMY Sistem Yağı ve Standartlara Göre Özellikler		DIN 51757	DIN 51562	DIN ISO 2592
Yağ Cinsi	İçerik	Yoğunluk 20° C 'de [g/cm ³]	Viskozite 40° C 'de [mm ² /s]	Yanma Noktası [C°]
Lubrioil	Ester Yağ Asidi	0,92	47	265



Şekil 2. SKF firmasının MMY sistemi

2.4.1 Minimum Miktarda Yağlama Sisteminin Debisinin Belirlenmesi

Sisteme verilecek yağ miktarı, deneylerden önce 0,45mL/dk olarak belirlenmiştir. Cihaz üstünde bulunan ortama yağ geçişini sağlayan ayarlanabilir valf tur sayısı ölçüğünde açılmıştır çünkü MMY sisteminin istenilen debiyi ayarlanması gereklidir. Parçanın üzerine püskürtülecek yağ bir beher içerisine alınarak hassas terazi ile ölçülmüştür. Kaç turun ne miktarda yağa denk geldiği Tablo 4'te belirtilmiştir.

2.5 Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri

Deneylerde ilerleme (f), kesme hızı (V) ve işleme tekniği (i) parametreleri 1.2738 plastik enjeksiyon kalıp çeliğinin frezelenmesinde uygulanmış, parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Tablo 5'te kesme parametreleri ve seviyeleri verilmiştir.

Tablo 4. MMY sisteminin debi belirleme kriterleri

a	0 tur (kapalı konum)	1 dakikada 0,2514gr	0,25 mL/dak
b	3 tur açık olduğunda	1 dakikada 0,4656gr	0,45 mL/dak
c	6 tur açık olduğunda	1 dakikada 0,8792gr	0,90 mL/dak
d	9 tur açık olduğunda	1 dakikada 3,258gr	3,25 mL/dak
e	12 tur açık olduğunda	1 dakikada 16,289gr	16,25 mL/dak

Tablo 5. Kesme Parametreleri

Faktörler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
İşleme tekniği (i)	mL/dak	1(kuru)	4,5	9
İlerleme (f)	mm/diş	0,5	0,8	1
Kesme Hızı (V)	mm/dak	80	130	180

Tablo 6. Deney modeli

Deney no	v	i	f	Ra
1	80	1	0,5	1,456
2	80	1	0,8	1,719
3	80	1	1	2,095
4	80	4,5	0,5	0,864
5	80	4,5	0,8	1,183
6	80	4,5	1	1,424
7	80	9	0,5	0,766
8	80	9	0,8	0,995
9	80	9	1	1,433
10	130	1	0,5	0,879
11	130	1	0,8	1,234
12	130	1	1	1,676
13	130	4,5	0,5	0,994
14	130	4,5	0,8	1,254
15	130	4,5	1	1,556
16	130	9	0,5	0,839
17	130	9	0,8	1,201
18	130	9	1	1,594
19	180	1	0,5	0,917
20	180	1	0,8	1,212
21	180	1	1	1,589
22	180	4,5	0,5	0,809
23	180	4,5	0,8	1,204
24	180	4,5	1	1,391
25	180	9	0,5	0,785
26	180	9	0,8	1,117
27	180	9	1	1,322

2.6 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

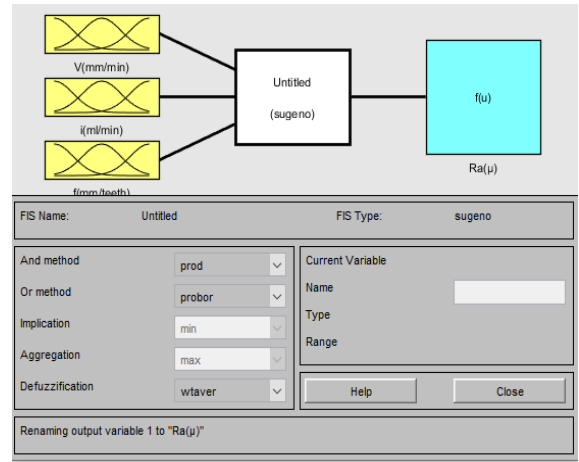
Adaptive Neuro Fuzzy Interference System kısaltması olarak kullanılarak ANFIS yöntemi, yapay sinir ağlarının hesaplama kabiliyeti ile bulanık mantığın çıkarım yöntemini birlikte kullanabilen karma şekilde tasarlanmış yapay zekâ sistemidir [26]. Bulanık mantık yönteminin, veriler üzerinde uygulanabilmesi için, MATLAB programı içerisinde yer alan ANFIS editör kullanılabilir. ANFIS yöntemi için, girdi ve çıktı değerlerinin olması gerekmektedir. Verilerin kümelenmesinde, 11 karma öğrenme algoritmaları üyelik fonksiyonu değerlerine göre sınıflandırmalar yapmaktadır [27]. Sinir Ağları ve bulanık mantık yönteminin beraber kullanıldığı ANFIS yönteminde, denemeler sonucu hatalar belirli bir seviyeye kadar azalır ve belirli bir seviyeden sonra azalma gözlenmez. Bu durum, ağı öğrenme durumunun tamamlandığını ve elde edilen sonuçtan daha iyi bir sonuç meydana getiremeyeceği

anlamına gelir [28]. ANFIS analizinin temelinde yer alan, bulanık mantık sisteminin ilk aşamasında problem belirlenir ve bu probleme uygun parametreler ile üyelik fonksiyonları oluşturulur. Oluşturulan parametre ve alt kümeler göre problemin özüne yönelik kurallar tanımlanır. Diğer aşamada, tümevarım ya da tümdengelim ile oluşturulan çıkarım yöntemleri seçilir. Son aşamada ise bulanık olan değerler durulaştırma yöntemiyle klasik sayılar olarak belirlenir [29]. Bulanıklaştırma işlemi, girdi ve çıktı değerleri, belirlenmiş bir üyelik fonksiyonuyla birlikte, üyelik derecesini belirleyen [0,1] aralığında bir değere çevrilerek bulanıklaştırılırlar. Kural tanımlama aşamasında, kural tabanı oluşturma, değerlendirme ve toplama adımlarının başlangıçları oluşturulur. Kural Tanımlama aşamasında yer alan EĞER-İSE ifadeleri kavramsal terimleri birbiriyle ilişkilendirir. Fazla girdi olduğu durumlarda ise VE-VEYA işlemcileri bu girdileri birbirine bağlar [30]. Bu çalışmada kullanılan ANFIS modeli MATLAB ile geliştirilerek analiz yapılmıştır.

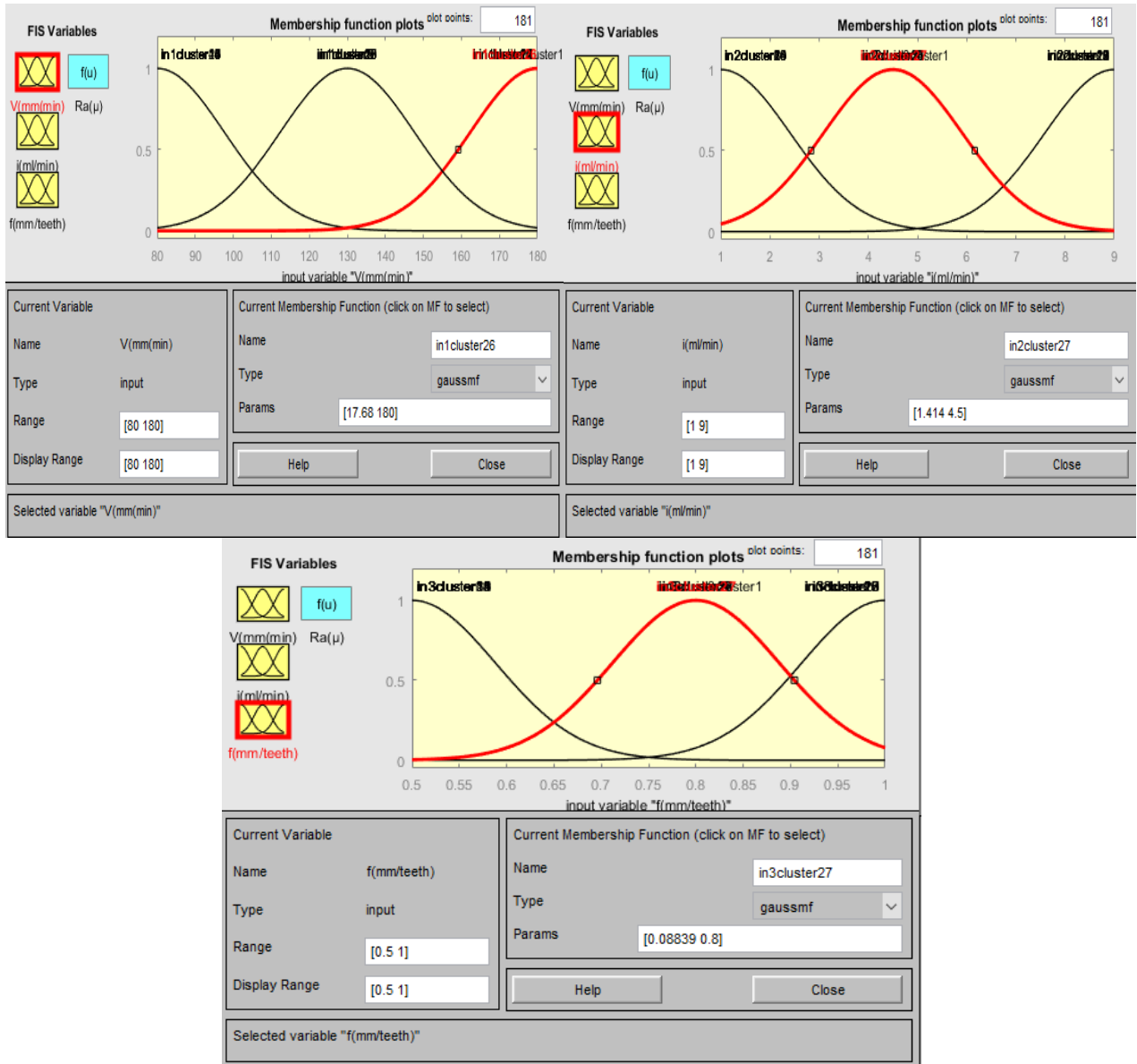
3 Deney Sonuçları

Çalışmada Matlab programının ANFIS yapısı kullanılarak, deneylerde elde edilen verilerin ANFIS modellemesi oluşturulmuştur. ANFIS modellemesinin amacı girdi parametreleri (kesme hızı, ilerleme, işleme tekniği) için olabilecek çıktı parametresini (yüzey pürüzlülüğü) tahmin etmektir. Şekil 3'te ANFIS'te oluşturulan girdi ve çıktı parametreleri yapısı gösterilmiştir.

Kesme hızı, işleme tekniği ve ilerleme parametrelerinin her biri için değer aralıkları ve üyelik fonksiyonu grafikleri Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 3. Girdi ve çıktı parametreleri yapısı

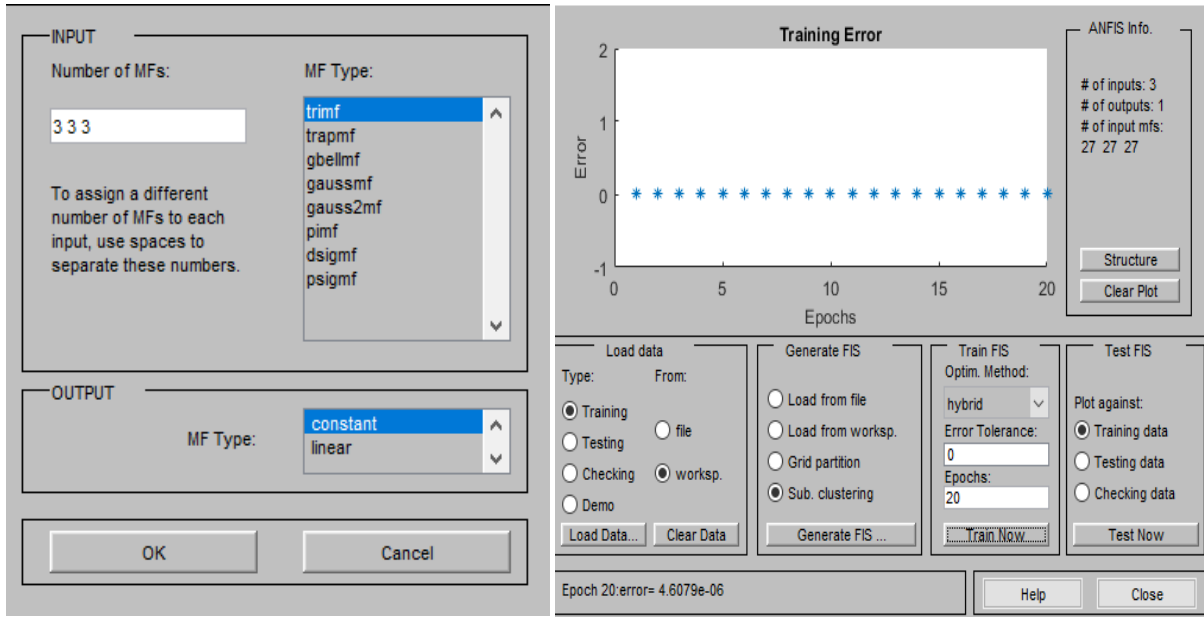


Şekil 4. Kesme hızı, işleme tekniği ve ilerleme için üyelik fonksiyonu grafik

ANFIS yapısı ile oluşturulan model için her bir değişkene, program üzerinden ayarlamalar yapılmıştır. 3 girdi değişkeni, 1 yanıt değişkeni ve 3 3 3 fonksiyon numarası kullanılmıştır.

Girdi değişkeni için trimf üyelik fonksiyon tipi, çıktı

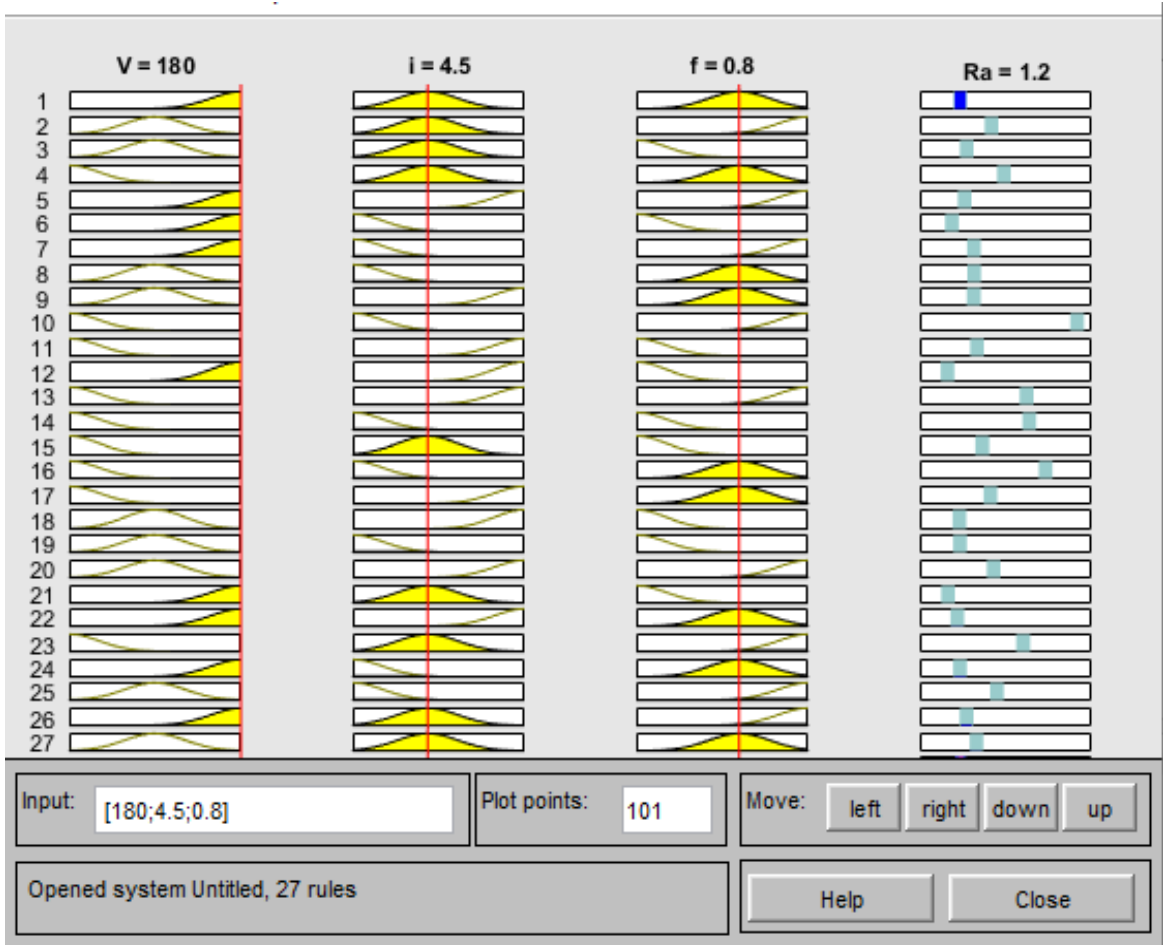
parametreleri için ise constant üyelik fonksiyon tipi kullanılarak denemeler yapılmıştır. Öğrenme algoritması (FIS) hibrit metoduyla 20 epoch'ta ve hata toleransı sıfır olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarının seçimi

Kesme hızı, işleme tekniği ve ilerleme parametrelerinden seçilen değerlere karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değeri, öğrenme algoritması (fis) kuralları ile elde edilmektedir. Algoritma girdi değerleri ve buna

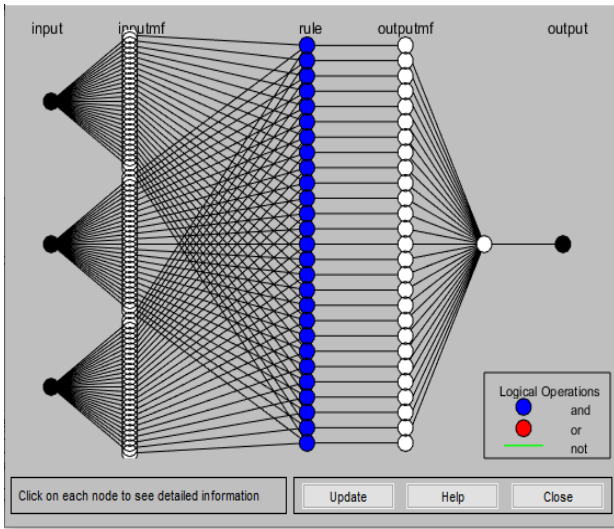
karşılık gelen çıktı değerini sunmaktadır. Şekil 6'da 180 mm/dak, 4,5 mL/dak ve 0,8 mm/dış parametrelerine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğü değerinin 1,2 μ olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Öğrenme algoritması (fis) kuralları

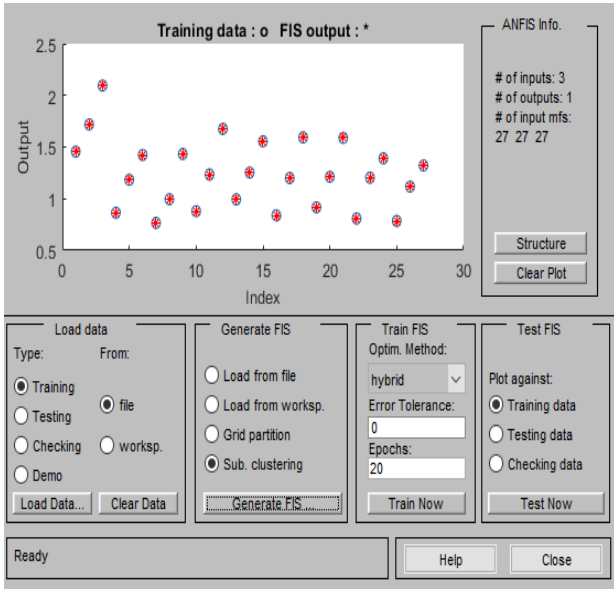
Sisteme girdi olarak üç bağımsız değişken girilmiştir. Üyelik fonksiyonlarını kullanarak 27 kural oluşturulmuştur. ANFIS 27 kuralın her birinden bir değer

elde etmiştir. Elde edilen değerler tek bir çıktı değerine dönüştürülmüştür. Şekil 7'de ANFIS modelin yapısı görülmektedir.

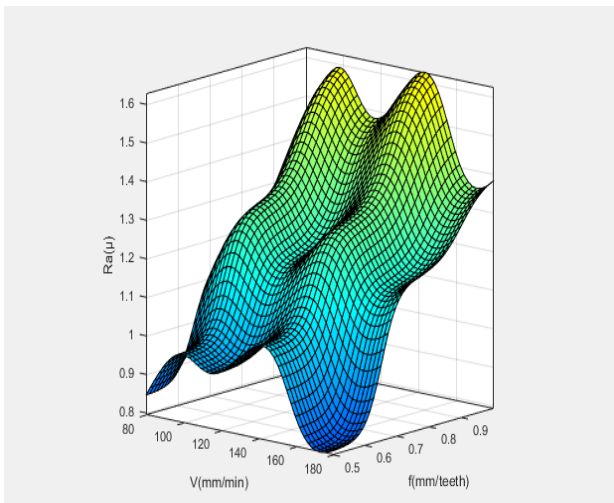


Şekil 7. ANFIS model yapısı

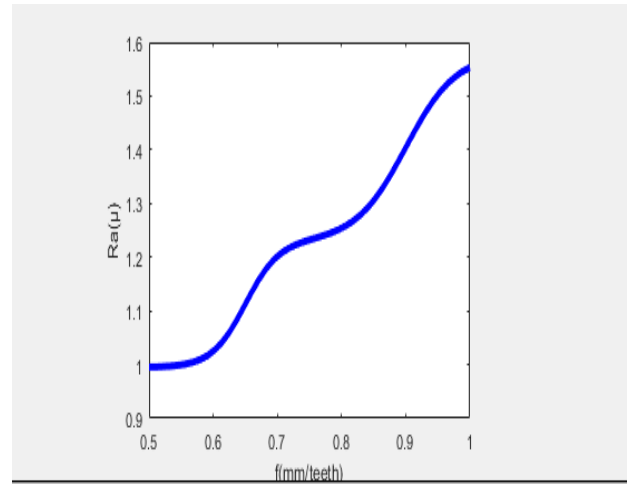
ANFIS modelin verileri ile deney verileri mukayese edildiğinde elde edilen verilerin aynı olduğu görülmüştür. Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. ANFIS yapısı için normalleştirilmiş çıktı grafiği

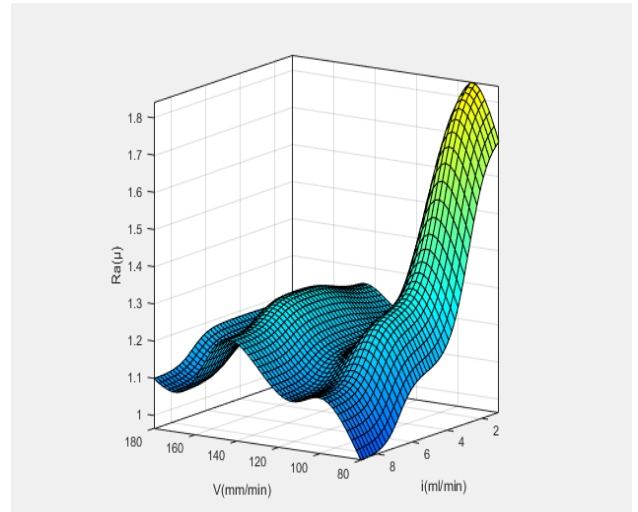


Şekil 9. Ra-V-f grafiği

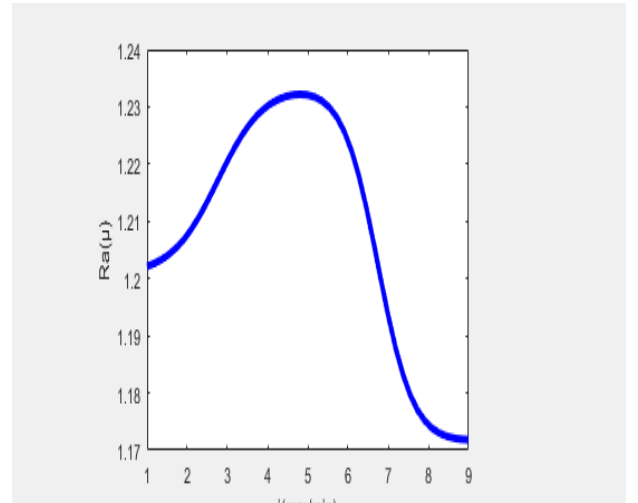


Şekil 10. Ra-f grafiği

MATLAB kullanılarak yüzey pürüzlülüğü üzerindeki kesme hızı ve ilerleme oranı etkisinin gösterildiği 3B yüzey grafiği oluşturulmuştur. Şekil 9'da ki Grafik incelendiğinde kesme hızı değerindeki değişimin Ra üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Buna karşın f değerinin değişimi Ra üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu net olarak Şekil 10'da görülmektedir.

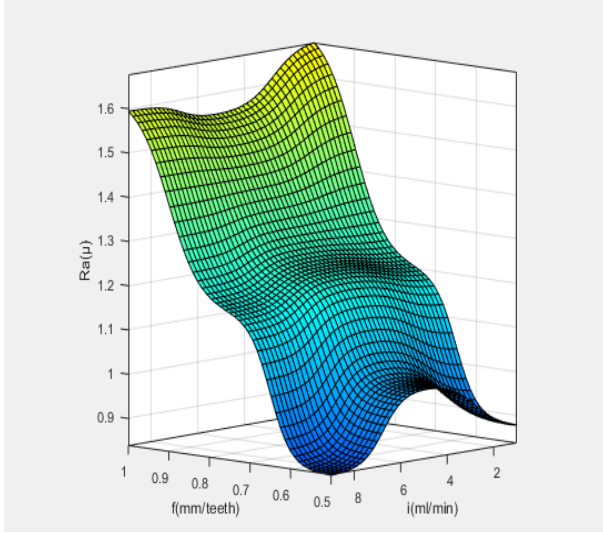


Şekil 11. Ra-V-i grafiği



Şekil 12. Ra-i grafiği

Kesme hızı ile işleme tekniğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 11'deki 3B yüzey grafiğinde net bir şekilde görülmektedir. Grafikte en büyük çıkıntı kuru kesme şartında olduğu dolayısıyla kuru kesme şartlarında yüzey pürüzlük değerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra Şekil 12'de de görüldüğü üzere en küçük yüzey pürüzlülük değerinin 9 mL/dak işleme tekniği ve 80 mm/dak kesme değerinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. Ra-f-i grafiği

İlerleme ve işleme tekniğinin gösterildiği Şekil 13'te ki 3B yüzey grafiği incelendiğinde, ilerleme oranında meydana gelen artışın yüzey pürüzlülüğü değerini arttırdığı görülmektedir.

3.1 ANFIS Model İle Regesyon Modeli Kıyaslaması

Deney sonuçları üzerinde MINITAB programı kullanılarak regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Korelasyon katsayısının karesi (R^2) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise, regresyon modelindeki açıklama miktarının açıklanmayan miktara olan oranıdır. Regresyon katsayısı ise, ilgili bağımsız değişkenden bir birimlik artışın değişkende oluşturacağı değişim miktarıdır. Bu bilgiler sonucunda, regresyon analizi, işleme tekniği, ilerleme hızı ve kesme hızı gibi kesme parametreleri değişkenleri ile yüzey pürüzlülüğü değerlerini tahmin etmeyi sağlamaktadır [31]. Regresyon Analiz sonucunda elde edilen model aşağıda verilmiştir. Oluşturulan modelin R^2 si %79,95 bulunmuştur. Deney sonuçları, ANFIS modeli ve regresyon ile elde edilen değerlerin kıyaslaması Tablo 7'de verilmiştir.

Regresyon denklemi

$$Ra = 0.680 - 0.001766V - 0,03680i + 1.263f \quad (1)$$

Tablo 7. Deney- Regresyon- ANFIS karşılaştırılması

Deney no	V	i	f	Ra(Deneyssel)	Ra(ANFIS)	Ra(Regresyon)
	80	1	1	2,095	2,09	1,76492
5	80	4,5	0,8	1,183	1,18	1,38352
7	80	9	0,5	0,766	0,766	0,83902
10	130	1	0,5	0,879	0,879	1,04512
14	130	4,5	0,8	1,254	1,25	1,29522
18	130	9	1	1,594	1,59	1,38222
21	180	1	1	1,589	1,59	1,58832
23	180	4,5	0,8	1,204	1,2	1,20692
25	180	9	0,5	0,785	0,785	0,66242

4 Sonuçlar

Bu çalışmada kesme parametreleri ile deneyler gerçekleştirilmiş, parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilebilmesi için, deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak ANFIS ile bir model geliştirilmiştir. Modelin belirlenmesi için üyelik fonksiyon tipleri kullanılmıştır.

Denemeler yapılarak en düşük hata toleransını veren model elde edilmeye çalışılmıştır. Buna göre;

- Genel olarak bakıldığında Ra üzerinde en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu elde edilmiştir.

- İlerleme oranı değerinin artmasıyla yüzey pürüzlülük oranı değerlerinin arttığı belirlenmiştir.
- MMY tekniğinin Ra üzerinde etkili olduğu görülmüştür.
- Kuru işleme şartlarında yüzey pürüzlülük değerleri yüksek çıkarken, MMY uygulandığında Ra değerlerinde azalma olmuştur.
- Bu deney şartlarına göre, kesme hızı Ra üzerinde her hangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.
- Yapılan modelleme ile deney sonuçları ile model sonuç değerleri %100 oranında aynı olarak çıkmıştır.
- Regresyon analiz sonuçlarının %71 oranında doğruluk sağladığı görülmüştür.

Açıklamalar

Bu çalışmada Etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynakça

- [1] Dere, M., Filiz, İ. (2019). Otomat çeliğinin tornalama işleminde iş parçası çapı ve çıkıntı uzunluğunun yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi ve yüzey pürüzlülüğünün ANFIS ile modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 675-686.
- [2] Fedai, Y., Ünüvar, A., Akın, H. K., & Başar, G. (2019). 316L Paslanmaz çeliklerin frezeleme işlemindeki yüzey pürüzlülüğünün ANFIS ile modellenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 98-110.
- [3] Er, A.O., Orhan, S., Camuşcu, N. & Aslan, E. (2012). Sertleştirilmiş 1.2738 plastik kalıp çeliklerinin yüksek hızlarda işlenmesinde titreşimin işleme etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 354-361.
- [4] Gürbüz, H., Baday, Ş., & Gönülaçar, Y. E. (2017). Minimum miktarda yağlamanın frezeleme işlemleri üzerine etkisinin araştırılması: Derleme. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2/2), 59-78.
- [5] Ergül, E., & Kurt, H., Matrisli Kompozitlere ANFIS, ANN ve Taguchi Yaklaşımları Uygulanarak Özelliklerin Karşılaştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 406-416.
- [6] Yıldız, T., & Dilipak, H. (2019). Paslanmaz Çeliklerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, 3. *International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, 4, 190-195.
- [7] Tekaslan, Ö., Gerger, N., & Şeker, U. (2008). AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 3-12.
- [8] Yılmaz, B., & Güllü, A., (2020). AISI 1050 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkilerinin araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 628-633.
- [9] Erçetin, A., & Usca, Ü. A. An experimental investigation of effect of turning AISI 1040 steel at low cutting speed on tool wear and surface roughness steel.
- [10] Şirin, E., Şirin, Ş., Turgut, Y., & Korkut, İ., (2015). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün Taguchi metodu ile optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 132-144.
- [11] Yalçın, N., Kayır, Y., & Erkal, S., (2017). AA2024 alüminyum alaşımına uygulanan yaşlandırma yöntemlerinin işlenebilirliğe etkisinin taguchi ve anova ile araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20(4), 743-751.
- [12] Çelik, E. & Kıvak, T. (2016). 17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri, 7 *th International Symposium On Machining*, 214-221.
- [13] Yıldırım, Ç.V., Kıvak, T., Sarıkaya, M. & Mert, Ş. (2016). AISI 4340'ın tornalanmasında minimum miktarda yağlama (mmy) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması, 7 *th International Symposium On Machining*, 222-231.
- [14] Kayır, Y., Aslan, S., & Aytürk, A. (2013). AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin Taguchi yöntemi ile analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2).
- [15] Başak, H., & Baday, Ş. (2016). Küreselleştirilmiş orta karbonlu bir çeliğin işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin regresyon analizi ile modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 253-258.
- [16] Erçetin, A., Aslantas, K., & Özgün, Ö. (2020). Micro-end milling of biomedical Tz54 magnesium alloy produced through powder metallurgy. *Machining Science and Technology*, 24(6), 924-947.
- [17] Akgün, M., Demir, H., & Çiftçi, İ. (2018). Mg2Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 21(3), 645-650.
- [18] Özdemir M., (2019). Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranlarının Yüzey Yanıt Yöntemi kullanılarak Analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 7(3), 639-648.
- [19] Özlü, B., Akgün, M., & Demir, H., (2019). AA 6061 Alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin analizi ve optimizasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 5(2), 151-158.
- [20] Karabatak, M., & Kara, F., (2016). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün deneysel optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 349-355.
- [21] Kumar, S., Dhanabalan, S., & Narayanan, C. S. (2019). Application of ANFIS and GRA for multi-objective optimization of optimal wire-EDM parameters while machining Ti-6Al-4V alloy. *SN Applied Sciences*, 1(4), 1-12.
- [22] Jain, V., Raj, T., "Tool life management of unmanned production system based on surface roughness by ANFIS", *Int J Syst Assur Eng Manag*, 8, 458-467, 2017.
- [23] Jain, V., & Raj, T. (2017). Tool life management of unmanned production system based on surface roughness by ANFIS. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 8(2), 458-467.
- [24] Maher, I., Eltaib, M. E. H., Sarhan, A. A., & El-Zahry, R. M. (2015). Cutting force-based adaptive neuro-fuzzy approach for accurate surface roughness prediction in end milling operation for intelligent machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 1459-1467.
- [25] Aydın, M., Karakuzu, C., Uçar, M., Cengiz, A., & Çavuşlu, M. A. (2013). Prediction of surface roughness and cutting zone temperature in dry turning processes of AISI304 stainless steel using ANFIS with PSO learning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(1), 957-967.
- [26] Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- [27] Yücel, A. (2010) *Tedarikçi Seçimi Probleminde Bütünleşik Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı*. (Doctoral dissertation, Yıldız Technical University).
- [28] Öztemel E.(2010) *Yapay Sinir Ağları*. Ankara: Papatya Yayıncılık.
- [29] Ross, T.,(1995) *Fuzzy logic with engineering applications*. McGraw-Hill Inc.
- [30] Doğan, O. (2016). Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) Talep Tahmini İçin Kullanımı ve Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1), 257-288.
- [31] Yılmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yaman, Yılmaz, & C., Özdemir, M., (2014). Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 30(4), 220-226



PREVALENCE AREAS AND DAMAGE RATE OF *CONTARINIA PRUNIFLORUM* COUTIN & RAMBIER (DIPTERA: CECIDOMYIIDAE) IN APRICOT ORCHARDS IN MALATYA AND ELAZIĞ PROVINCES (TURKEY)

Talip Yiğit^{*1} , Hasan Tunaz² 

¹Apricot Research Institute, Malatya, Turkey

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

Abstract

Original scientific paper

Apricot flower midge (*Contarinia pruniflorum*) emerged in February-March and lay eggs on the flower buds of the apricot trees. The larvae hatching feeds through the bud wall and flower genital organs. The damaged flower does not turn into fruit. It is a pest that directly affects the yield. This study was carried out in Malatya and Elazığ provinces (Turkey) in 2017-2018. Prevalence areas in apricot orchards and the damage rate were determined. The highest infestation rate of the pest is in Kale and Battalgazi districts of Malatya and Baskil district of Elazığ with 100 %, then, Yeşilyurt 95%, Yazihan 90%, Akçadağ 76%, Darende 75%, Kuluncak 50%, Arguvan 50% and Doğanşehir 12.5% followed by infestation rates. No pests were found in the orchards which were controlled in Hekimhan district of Malatya and Elbistan district of Kahramanmaraş. Although the damage rate varies according to years, it was determined that the flower damage rate was 0.7% and the fruit set rate was 10.6 % in orchard in Kale where the pest control is done, while the damage rate was 11.8% and the fruit set rate was 2.9% in the orchard without pest control in 2017. In 2018, when compared with orchards with or without pest control, while there was damage in the number of flowers, but there was no change in the amount of fruit.

Keywords: Apricot, *Contarinia pruniflorum*, damage rate, Elazığ, Malatya.

1 Introduction

Apricot flower midge (*Contarinia pruniflorum* Coutin & Rambier Diptera: Cecidomyiidae) was firstly identified in *Prunus* species [1]. Then, it was detected in culture *Prunus* species in Czechoslovakia, Italy, Greece, and Turkey. Some studies have been done on this pest by researchers such as determination and pest control [2-6]. First time in Turkey, it was determined that apricot damage given by this pest in Malatya province [7,20,21]. *C. pruniflorum*, a new pest of apricot, was first identified morphologically by molecular characterization using the COI gene sequence [21].

Adults of the pest lay eggs on the flower buds of the tree, the larvae hatching feeds through the bud wall and flower genital organs. The damaged flower does not turn into fruit. Apricot is an important source of economic income for Malatya and its districts. Half of the apricot trees, approximately 16 million, in Turkey are planted in Malatya [8]. This number is increasing every year. Turkey which produces 60% of the world's dried apricot is also the dominant country in apricot export [19]. Approximately 85% of dried apricots in Turkey are produced in Malatya province [9].

Many pest species are threatening this source of income such as Apricot flower midge. Especially for

climatic reasons, the pest population has increased for a few years and caused serious damage especially in the apricot orchards of Malatya province. Knowing of its prevalence area and damage rate is necessary for pest control.

The study was conducted to determine the prevalence areas in apricot orchards in Malatya province and its vicinity to the pest control correctly. Also, the damage rate in Kale district of Malatya province in Turkey was determined.

2 Material and Method

The material of the study was apricot flower midge, apricot trees and the results of previous studies.

2.1 Determination of Prevalence Areas of *Contarinia Pruniflorum*

The study was conducted in Kale, Battalgazi, Yeşilyurt, Yazihan, Hekimhan, Akçadağ, Arguvan, Doğanşehir, Kuluncak districts of Malatya province with Baskil district of Elazığ in 2017 and, in Darende district of Malatya and Elbistan district of Kahramanmaraş province in 2018. The study area comprises approximately 53% of the Turkey apricot trees [10]. Orchards were controlled in these areas in the apricot

* Corresponding author.

E-mail address: talipyigit79@hotmail.com (T. Yiğit)

Received 02 October 2021; Received in revised form 08 November 2021; Accepted 17 November 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1003789>

flowering period (February, March, April). Survey studies were conducted by making systematic samplings based on 0.01% of the total number of trees [11]. While representing the number of trees to be controlled in the selected orchards, the number of trees controlled in each orchard is limited to a maximum of 6 trees for sampling in more orchards. The number of trees checked is given in Table 1. During the survey, the trees were examined by the eye. Each tree was examined for at least 3 minutes and the inside of the unbossed buds was examined. When the pests were detected in the controls, that tree was admitted as contaminated.

Plant parts contaminated with pests were collected and put on paper bags and brought to the laboratory and necessary counts were made. The prevalence rate was determined by comparing the contaminated trees to the total examined number of trees.

2.2 Determination of Damage Rate

The studies; It was carried out in an apricot orchard in Kale district of Malatya, where the pest population is dense. Insecticide (25 g deltamethrin, 30 ml dose in 100 liters of water) was applied to the selected four trees

during the period of laying eggs (23.02.2017 for 2017 and 11.02.2018 for 2018) of the pest. No insecticide was applied to 4 other trees. Then, in the flowering period, 250's flowers were counted from 1.5-2 m height, 4 sides of each tree and, damaged flowers and the fruit set rate were counted. The data were analyzed with the SPSS 16.0 statistical program. The studies were conducted in 2017 and 2018 for 2 years.

3 Results and Discussion

3.1 Prevalence Areas of *Contarinia Pruniflorum*

Table 1 shows the number of controlled trees and infestation rates in the districts.

When Table 1 is examined, the highest infestation rate of the pest is in Kale and Battalgazi districts of Malatya and Baskil district of Elazığ with 100 %, then, Yeşilyurt 95%, Yazihan 90%, Akçadağ 76%, Darende 75%, Kuluncak 50%, Arguvan 50%, Doğanşehir 12.5% followed by infestation rates. No pests were found in the orchards controlled in Hekimhan district of Malatya and Elbistan district of Kahramanmaraş.

Table 1. The number of apricot trees in the study area and trees controlled

Provinces	Districts	Total number of trees (Piece)	Controlled tree (Piece)	Infested trees (Piece)	Infestation rate (%)
Malatya	Battalgazi	1210000	120	120	100
	Yeşilyurt	1115000	120	114	95
	Akçadağ	1416000	150	114	76
	Arguvan	168400	24	12	50
	Darende	1233850	120	90	75
	Doğanşehir	465700	48	6	12.5
	Hekimhan	815000	84	0	0
	Kale	184540	36	36	100
	Kuluncak	378500	36	18	50
	Yazihan	651500	60	54	90
Elazığ	Baskil	768060	84	84	100
Kahramanmaraş	Elbistan	1114000	132	0	0

C. pruniflorum was firstly identified in wild *Prunus* species such as *Prunus sipinosa* and *Prunus mahaleb* [1]. However, nowadays the damage to species such as apricot and plum has increased. Although the wild *Prunus* species are their main hosts, the pest has started to damage *Prunus* species such as apricot and plum grown commercially and having similar phenological periods with the increase of pest population. [12] stated that the life cycle of the pest was very closely related to the phenology of the host plant and the increase in the density of this insect in apricot trees might be related to the synchronization of the phenology of apricot with the phenology of wild *Prunus* species. They also stated that this may be the reason why *C. pruniflorum* migrated from the main host plants to apricot.

The pest has been so far determined in France-Drome-Herault-Normandy regions [1,12,13], Italy- Bologna [2], Czechia [14], Belgium [4], Greece- Corinth [15] and Turkey-Malatya [7,20]. When we consider the regions where the pest is generally seen in the Mediterranean countries, and the pest prefers apricot trees or the damage in apricot is more apparent.

3.2 Damage Rate

To determine the damage rate, counts were made in the parcels pesticide applied and pesticide-free, and given in Table 2- 3. Statistical evaluation of the data is given in Table 4-5. In 2017, there was a statistical difference between pesticide applied and pesticide-free applications. In 2018, although there was a statistically significant difference in the number of damaged flowers and the damage rate of flowers, there was no difference in the fruit set rate.

When Table 2 is examined, it is seen that the average flower damage rate of the pesticide-free orchard is 11.8% and the fruit set rate is 2.9% in 2017, while the flower damage rate in the pesticide applied orchard is 0.7% and the fruit set rate is 10.6%. When Table 3 is examined, it is seen that the average flower damage rate in the pesticide-free orchard is 3.8% and the fruit set rate is 19.8%, the flower damage rate in the pesticide applied orchard is 0.1% and the fruit set rate is 20.7% in 2018. According to meteorological data in 2018, the air temperature in the

first half of February (Table 6) was higher than the seasonal norms, which caused the high insect population. However, high temperatures led to rapid growth in the plant, which caused the flower buds to develop rapidly, thereby shortening the appropriate period for the insect to lay eggs. Although the population is high, it is considered that the damage level in the buds is low due to the short duration of overlap between the oviposition time and the phenological period of the plant. The physiological development of the plant and consequently the suitability of the phenological period affected the insect damage.

[16] reported that the flower damage caused by *C. pruniflorum* in apricot orchards in Greece reached 60-65%. This ratio is very high and can result in a significant decrease in yield.

To determine the effect of the direction in applications; pesticide applied and pesticide-free applications were subjected to the Anova test in SPSS 16.0 statistical program under 4 different groups (east, west, north, and south) and it was found that the directions were not important in both years.

Table 2. Damage Rate of *Contarinia pruniflorum* (2017)

Replications	Number of checked flowers (Piece)	Number of damaged flowers (Piece)		Flower damage rate (%)		Fruit set (Pieces)		Fruit set rate (%)	
		pesticide applied	pesticide-free	pesticide applied	pesticide-free	pesticide applied	pesticide-free	pesticide applied	pesticide-free
1. Rep.	1000	6	164	0.6	16.4	109	42	10.9	4.2
2. Rep.	1000	8	96	0.8	9.6	40	45	4	4.5
3. Rep.	1000	8	123	0.8	12.3	163	18	16.3	1.8
4. Rep.	1000	6	89	0.6	8.9	112	11	11.2	1.1
Mean		7	118	0.7	11.8	106	29	10.6	2.9

Table 3. Damage Rate of *Contarinia pruniflorum* (2018)

Replications	Number of checked flowers (Piece)	Number of damaged flowers (Piece)		Flower damage rate (%)		Fruit set (Pieces)		Fruit set rate (%)	
		pesticide applied	pesticide-free	pesticide applied	pesticide-free	pesticide applied	pesticide-free	pesticide applied	pesticide-free
1. Rep.	1000	1	61	0.1	6.1	189	194	18.9	19.4
2. Rep.	1000	1	34	0.1	3.4	228	242	22.8	24.2
3. Rep.	1000	0	31	0	3.1	160	214	16.0	21.4
4. Rep.	1000	2	29	0.2	2.9	253	144	25.3	14.4
Mean		1	38.75	0.1	3.87	207.5	198.5	20.75	19.85

Table 4. T-test results between pesticide applied and pesticide-free applications (2017)

		N	mean	Standard deviation	F	Sig.(p)
Damaged flower (pieces)	pesticide-free	16	29.5000	14.04279	15.86	0.00
	pesticide applied	16	1.7500	.77460		
Flower damage rate (%)	pesticide-free	16	11.8000	5.61712	15.86	0.00
	pesticide applied	16	.7000	.30984		
Fruit set (pieces)	pesticide-free	16	7.2500	6.07179	8.83	0.00
	pesticide applied	16	26.5000	19.74842		
Fruit set rate (%)	pesticide-free	16	2.9000	2.42872	8.83	0.00
	pesticide applied	16	10.6000	7.89937		

Table 5. T-test results between pesticide applied and pesticide-free applications (2018)

		N	mean	Standard deviation	F	Sig.(p)
Damaged flower (pieces)	pesticide-free	16	9.6875	5.05594	11.758	0.002
	pesticide applied	16	0.2500	0.57735		
Flower damage rate (%)	pesticide-free	16	3.8750	2.02237	11.758	0.002
	pesticide applied	16	0.1000	0.23094		
Fruit set (pieces)	pesticide-free	16	49.6250	22.15664	7.014	0.13
	pesticide applied	16	51.8750	12.53196		
Fruit set (%)	pesticide-free	16	19.8500	8.86266	5.327	0.28
	pesticide applied	16	21.3750	5.46303		

Table 6. February temperature values in Kale district of Malatya province (°C)

Days	2017			2018		
	Daily Maximum Temperature	Daily Minimum Temperature	Daily Average Temperature	Daily Maximum Temperature	Daily Minimum Temperature	Daily Average Temperature
1	2.1	-5.6	-2	9.8	0.4	4.7
2	4.9	-5	-1.8	8.9	-0.2	3.6
3	7.2	1	4.5	9.5	3.3	7.4
4	6.5	-3.1	1	7.7	2.3	5
5	5.9	0	2.4	10.2	3.3	6.1
6	8	1.4	3.8	11.6	2	6
7	8.9	0	3.6	8.3	2.4	4.8
8	9.5	2.7	5.4	11.8	2.2	6.7
9	9.6	2.2	5.4	10.5	3.7	7.1
10	12	3.5	7	10.1	2.4	6.2
11	11.1	0.8	5.7	15.8	4.8	9.1
12	8	0.2	3.8	14.7	7.3	11.3
13	5.8	-2.6	1.3	13.2	6	9.4
14	4	-4.6	8.6	11.7	1.8	7.5
15	2.9	-3.5	4.2	14.1	7.2	10.9
16	4.4	-3.6	-0.1	14.8	5.2	9.6
17	3.8	-4.7	-1	12.2	7.3	9.9
18	5.9	-5.4	-0.6	7.5	4.8	6.3
19	8.5	-3.2	1.8	11.9	1.7	6.8
20	9	-2.2	2.8	12.4	3.8	7.6
21	11.3	-1.5	4	9.3	6.8	8.3
22	14.6	1.1	6.5	10.4	6.3	7.9
23	12.8	4.5	8.2	12.6	3.5	7.3
24	13.4	0.9	6.6	13.6	4.1	8.4
25	15.7	3.3	9.3	10.2	6.4	8.4
26	14	3	8.4	9.2	2.5	5.5
27	16.1	4	9.6	10.5	7.2	8.9
28	16.7	4.7	10.2	14.3	3.2	8.4

When the damage type of the insect is examined; larvae hatching progresses in the flower petals and settles into the bud. There, it begins to eat the bud wall and the flower does not bloom. Therefore, flowers do not turn into fruit and cause damage that affects the amount of product. Damaged buds are seen on the tree even after the flower petals are completely shed at the end of flowering (Fig. 1).

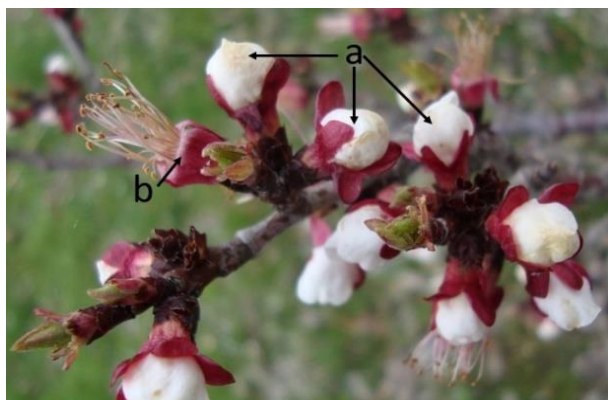


Figure 1. Damage type a- Not bloomed flower with *C. pruniflorum*, b-Healthy flowers with petals shed at the end of the flowering period

When the population was dense, the harmony between the oviposition time and the phenology of the plant caused harm to both flower and fruit set. [15] stated that the pest was firstly detected in Emilia Romagna, Italy in 1996, although the presence of the pest was very limited at the beginning in apricot, it had a serious effect on apricot blossoms in recent years and the pest symptoms increased especially with late spring frosts.

In the study, it was determined that the insecticide with the active ingredient deltamethrin was successful in

the pest control when the pest started to lay eggs. However, the pest control should be decided by monitoring the biological periods of the insect and temperature data, and chemical control should not be made unless necessary. Alternative pest control methods should be developed due to adverse effects of chemicals on the environment, human health, residues in plants, increasing chemical resistance in insects and the pest control in organic orchards where the use of the chemical is restricted. In chemical control studies against to the adult stage, [2] found that microencapsulated fenitrothion treatments were significantly more effective than phosalone and acephate applications in control studies against pest in Bologna Imola, Italy. [12] stated that the reduction of winter oil applications in orchards is beneficial for the pest, however, applications such as an oleoparathion Parathion-ethyl between bud swelling period and red bud period will reduce this damage to a large extent. They stated that it is possible to abolish the use of oleoparathion-based chemicals in Europe by legal regulations and therefore, alternative solutions should be found to eliminate the infestation. On the other hand, they stated that the problem is still not solved in organic orchards and, it is the most important problem in apricot orchards in Drome and should be monitored. [15] stated that the pest control in apricot should be done against adults in Emilia Romagna, Italy in 1996. In the study it is stated that the severity of the damage was due to the harmony between the flight period of the insect and the pink bud period of the apricot, the adults were affected by strong rains, strong winds and severe temperature drops and the side effects of insecticides to the environment and other beneficial insects should be taken into consideration

when chemical control is made against the pest. [17] reported that apricot flowers, which were attacked by the pest, did not open and hung on the branch, became swollen and blackish. They reported that a pre-flowering pest control against *Brachycaudus persicae* and *Hyalopterus pruni* was effective against *C. pruniflorum* using neonicotinoid group chemicals (acetamiprid, clothianidin, imidacloprid, nitenpyram, nithiazine, thiacloprid, and thiamethoxam). Ondet (2004), in the study conducted in GRAB (Groupe de Recherche en Agriculture Biologique) in 2002, it was determined that *Quassia amara* L. against *C. pruniflorum* was statistically different from the control application and 60% more effective. [18] in their study, a ground application with *Q. amara* L. applied to remove the newly emerging adults. According to the results of the flower counting, the application with *Quassia* did not have a significant difference compared to the control, and so the application of *Quassia* at ground level was not effective.

As a result; the pest is gradually increasing its prevalence areas over the world. It has been a pest that has a direct effect on the yield, especially in apricot areas, until recently it has not been detected. It is necessary to the pest control if the population is high by determining the emergence time of the pest. Especially in the low population, chemical control should be avoided. It is important to investigate alternative control methods for chemical control such as bioinsecticide use, cultural and biotechnical methods. Sudden temperature drops occurring at the oviposition time, adverse climatic conditions such as precipitation and strong winds, as well as sudden high temperatures that cause rapid progression of plant phenology, have reduced the oviposition of the pest. In such cases, the negative effect of the pest on the fruit set decreases. However, the damage of this insect is more distinct in the years when direct damage occurs in flowers and fruits due to late spring frosts.

Acknowledgements

We are grateful to the Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry General Directorate of Agricultural Research and Policies which provides financial support to our study. Grant number TAGEM/BSAD/16/1/01/01. The authors declare no conflict of interest and ethics committee approval.

References

- [1] Rambier, A. M., & Coutin, R. (1955). Description d'une nouvelle Cécidomyie sur les fleurs des Prunus: *Contarinia pruniflorum* n. sp. et ses principaux caractères biologiques [Dipt. Itoniidae]. *Bulletin de la Société entomologique de France*, 60(7), 104-110.
- [2] Pollini, A. (1996). *Contarinia pruniflorum* un nuovo parassita dell'albicocco. *Informatore Agrario*, 52(39), 71-73.
- [3] Ondet, S.J. (2004). Saint-Pierre-des-Corps, *A. Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques* pp. 39-44. Retrieved October 12, 2019, from http://itab.asso.fr/downloads/actes/actes_jt_fl_2004_tours.pdf.
- [4] Roskam, J. C., & Carboneille, S. (2015). Annotated checklist of the gall midges from the Netherlands, Belgium and Luxembourg (Diptera: Cecidomyiidae). *Nederlandse faunistische mededelingen*, 44, 47-167.
- [5] Gagné, R.J., & Jaschhof, M. (2014). A Catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the World. *Digital version 2*, p. 493. Retrieved October 12, 2019, from https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/80420580/Gagne_2014_World_Cecidomyiidae_Catalog_3rd_Edition.pdf.
- [6] Gagné, R.J. & Jaschhof, M. (2017). A Catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the World. *Digital*, p. 762. Retrieved October 12, 2019, from https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/80420580/Gagne_2017_World_Cat_4th_ed.pdf.
- [7] Doğanlar, M., Yiğit, T., Aslan, A., & Karakaş, H. B. (2014). First record of the apricot flower midge, *Contarinia pruniflorum* Coutin & Rambier (Diptera: Cecidomyiidae) in Malatya province, Turkey. *Munis Entomology & Zoology*, 9(2), 765-769.
- [8] TÜİK. (2020)a. *Turkish Statistical Institute*. Retrieved November 07, 2021 from <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>.
- [9] Gündüz, O., Aslan, A., Ceyhan, V., & Bayramoğlu, Z. (2021). Measuring the metafrontier efficiencies and technology gaps of dried apricot farms in different agro-ecological zones.
- [10] TÜİK. (2020)b. *Turkish Statistical Institute*. Retrieved November 08, 2021 from <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>.
- [11] Bora, T., & Karaca, İ. (1970). Bitki Hastalıkları Surveyi. *Kültür Bitkilerinde Hastalığın ve Zararın Ölçülmesi*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yardımcı Ders Kitabı, Yayın, (167).
- [12] Pierre, E., & Chauvin-Buthaud, B. (2001). A new pest in the south of France. A midge which gives cause for concern on apricot blossom [*Contarinia pruniflorum*]. *Phytoma. La Défense des Végétaux (France)*.
- [13] Skuhrová, M. (2005). Gall midges of France (Diptera: Cecidomyiidae). *Mem. Soc. Linn. Bordeaux*, 5, 1-210.
- [14] Gagné, R. J. (2010). Update for a catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the world. *Digital version 1*. p. 544. Retrieved October 12, 2019 from http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/12754100/Gagne_2010_World_Catalog_Cecidomyiidae.pdf.
- [15] Tommasini, M. G. (2006). Recenti problematiche fitosanitarie dell'albicocco. *Frutticoltura*, 9: 68.
- [16] Tsagarakis, A.E., & Mitsopoulos, D. I. (2007). First record of the apricot flower midge *Contarinia pruniflorum* Coutin & Rambier (Diptera: Cecidomyiidae) in Greece. *12th National Entomological Congress of Greece*, 230 p.
- [17] Bugiani, R., & Bariselli . M. (2008). Albicocco, i disciplinari anticipano la revisione. *Terra e Vita, Speciale Difesa Frutteto* p 62-63. Retrieved October 10, 2019 from https://agricommerciogardencenter.edagricole.it/agri24/img/TerraVita102008_SpecialeDifesaFrutteto5.pdf.
- [18] Gomez, C., Chauvin-Buthaud, B., & Stevenin, S. (2006). Lutte contre la Cécidomyie *Contarinia pruniflorum* en verger d'abricotiers. *Arboriculture 2006 A06RA/02*. Retrieved October 12, 2019 from <http://www.grab.fr/cd2006/Fiche%20ArboRA%20%20cecidomyie%202006.pdf>.
- [19] INC. (2019). *Statistical Yearbooks of The International Nut and Dried Fruit Council*, Retrieved December 24, 2019 from <https://www.nutfruit.org/industry/technical-resources?category=statistical-yearbooks>.
- [20] Kaplan, M. (2014). A New Pest: *Contarinia pruniflorum* Coutin & Rambier (Diptera: Cecidomyiidae) on apricot (*Prunus armeniaca*) in Malatya province, Turkey. *Munis Entomology & Zoology*, 9 (2), s. 947-949.
- [21] Kaplan, M. & İnal, B. (2021). Kaplan, M., & İnal, B. (2021). Molecular and Morphological Identification of *Contarinia pruniflorum* Coutin & Rambier (Diptera: Cecidomyiidae) Which is a Harmful Pest in Apricot Orchards in Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 1-5.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED MACHINE LEARNING APPROACH IN HIGH ENERGY PHYSICS

Serpil Yalçın Kuzu^{*1} 

¹Firat University, Department of Physics Firat University 23119 Elazığ - Turkey

Abstract

Conference paper

In high energy physics experiments data quality plays a significant role for particle identification. Methods used in particle analysis are mainly based on high level knowledge and complex computation skills of human experts and require long time for data quality assurance. Artificial intelligence (AI) applications in various fields are getting important to improve the speed, accuracy and efficiency of human efforts. For this purpose, artificial intelligence-based machine learning approach can be used in particle physics analysis. Dielectrons (e^-e^+) are electromagnetic probes that provide information about dynamics of the medium formed in high energy collisions due to lack of final state interactions. A high purity sample of e^-e^+ pairs can be obtained by traditional cut-based methods resulting in low efficiency. In this contribution, application of machine learning approaches in dielectron analysis is discussed.

Keywords: Dielectron, machine learning approach, random forest.

1 Introduction

The purpose of particle collisions at ultra-relativistic energies is to understand the evolution of the universe by creating little ‘Big Bang’ under laboratory conditions. When two nuclei collide, the nucleons at the collision zone interact initially resulting production of high momentum particles. The non-interacting particles in the collision region begin to thermalize and form dense and hot quark and gluon soup, QGP phase. This fireball expands and cools down until the chemical freezeout temperature (T_c) at which particle species are fixed. At this stage, the particles are in the form of partonic and hadronic states [1, 2, 3]. The medium continues its expansion until the kinetic freezeout temperature (T_k) at which the particle yields are fixed [1, 2, 3]. In the end of these stages the particles are identified by detectors. Dynamics of the medium formed in the high energy particle collisions are shown in Figure 1 [4].

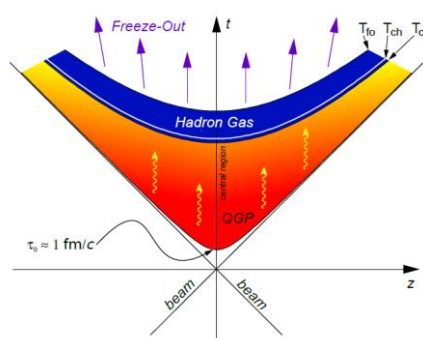


Figure 1. Dynamics of heavy ion collisions [4].

1.1 Dielectrons

The medium evolution in high energy collisions may be investigated by studying experimental probes which provide information about the characteristic features of each phase. Dielectrons are electron – positron pairs that are the unique tools to study different stages of the collisions. Since dielectrons are leptons they do not participate in strong interactions resulting lack of medium effect on their production. Therefore they can be used to probe the inner regions of collisions. In addition, their production any stage of the collision makes them a significant tool to investigate the whole dynamics of the system.

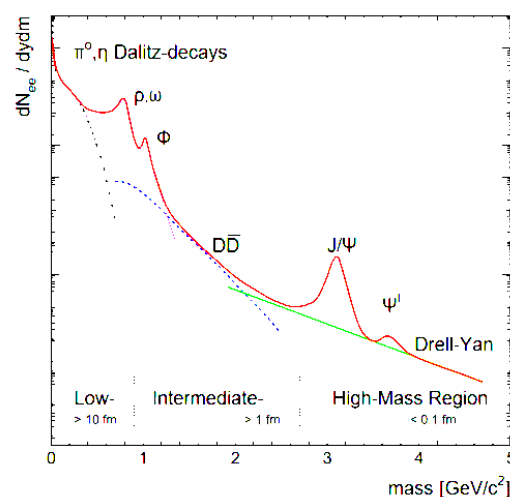


Figure 2. The dielectron spectrum in high energy collisions [5].

* Corresponding author.

E-mail address: skuzu@firat.edu.tr (S. Yalçın Kuzu)

Received 26 April 2021; Received in revised form 10 November 2021; Accepted 15 November 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.929292>

A schematic view of dielectron mass spectrum with corresponding sources in ultra-relativistic heavy-ion collisions is represented in Figure 2 [5]. Basic properties of the collision medium such as evolution of hadronic matter, phase transition and medium temperature can be determined by studying spectrum of dielectron pairs. In addition, different mass ranges of the distribution are sensitive for different stages and physical properties of the medium. In the spectrum, higher mass region gives information about early stage of the system evolution since these pairs are production of virtual photon produced by quark – anti quark interactions called Drell-Yan process

[6]. Quarkonium decays such as J/ψ and Y are other sources of the pairs in this region providing information about hard scattering process. Dielectron pairs between $1 - 3 \text{ GeV}/c^2$ are produced during the thermalization stage by D^+D^- meson decays. Since D^+D^- may decay semileptonically, at the intermediate mass region the pairs have continues distribution. Low mass dielectron pairs are produced due to ρ , ω , ϕ resonances and Dalitz decays. In order to investigate initial state of the medium, higher mass region of the pair spectrum between $2 - 5 \text{ GeV}/c^2$ can be studied.

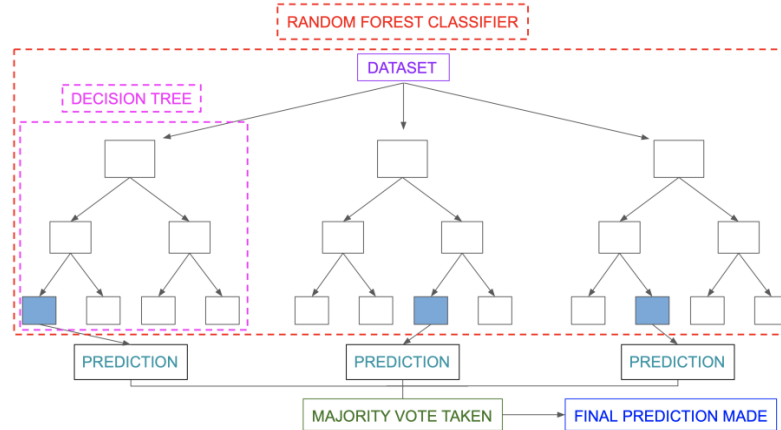


Figure 3. Schema of random forest classifier algorithm [14].

A high purity sample of electron – positron pairs are required to identify the dielectron spectrum. Due to various large sources of background, it is challenging to extract the pair signals. Rejection of those background components needs sophisticated analysis techniques that bring high purity samples with low signal efficiency resulting in high systematic uncertainties. For this reason, implementation of artificial intelligence (AI) based machine learning (ML) tools for pair identification is the necessity to improve dielectron spectrum with high efficiency.

1.2 Machine Learning Approach in Particle Analysis

In this study machine learning approach based on Random Tree method [7] was developed to enhance dielectron pair identification in particle and high energy experiments. For this purpose Random Forest Classifier [7], one of the supervised learning algorithm, was used.

1.2.1 Random Forest Classifier

Random Forest Classifier is a bagging classifier including Decision Trees. In the model, there is an ensemble of trees producing decisions according to a set of sub-decisions. In each decision tree there are nodes and leaves representing features and decisions respectively. The nodes are generated by choosing the best features from the subset of features applied to train current tree. The quality of the node split for each feature can be evaluated by estimation of entropy gain or Gini index, probability of wrong classification for a given property. [8] The model has two steps: the creation and prediction [9]. In the classifier firstly a set of trees are generated from subset of

randomly chosen training sample. After this process the votes from different decision trees are collected to give final decision of the test sample [10, 11, 12, 13]. Schema of the classifier algorithm is represented in Figure 3 [14]. In ML approach depending on the model hyper-parameters, a set of parameters initiated at the beginning of the learning process, can be adjusted. In Random Forest Classifier hyper-parameters such as number of decision trees inside the forest, maximum depth of a tree and minimal impurity of a node can be tuned [8].

There are several advantages of using Random Forest Classifier. First of all the classifier can be used for both classification and regression. In ML studies, overfitting that is loss of correct classification ability of the model for the samples out of training set is one of the main problems [15]. Since it is a forest of decision trees the model is resistant for overfitting. In addition, the measurement of the relative importance of each feature on the prediction makes model interpretable. Lastly, compared to a Decision Tree method Random Forest Classifier is more precise due to having forest of decision trees. The cost of having forest is the long process time which is the main disadvantage of the model.

2 Experimental Setup

2.1 Data Set

For ML based classifier development, proton proton collision at the center-of-mass energy 7 TeV with the integrated luminosity 41.47 pb⁻¹ data set collected by the CMS experiment in 2010 was used to study electron pairs from $2 - 5 \text{ GeV}/c^2$ [16 - 20]. In the analysis 10015 pairs

were analyzed. 67% of these pairs were e^-e^+ pairs, called signal, and 33% of these pairs were background including e^-e^- and e^+e^+ pairs. The spectrum of signal and background pairs is represented in Figure 4.

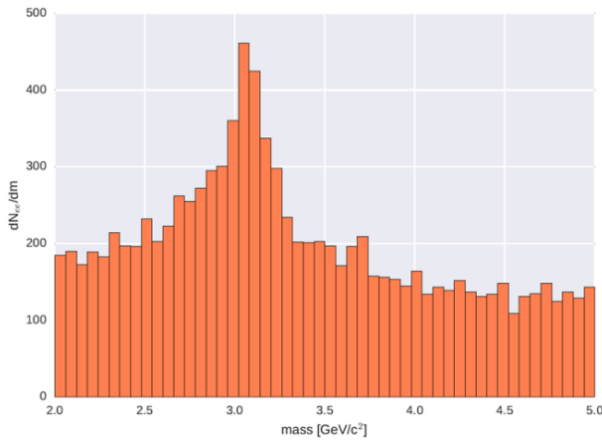


Figure 4. Invariant mass spectrum of all pairs including signal (e^-e^+), and background (e^-e^- and e^+e^+).

For identification of dielectron pairs python [21] implementation of the Random Forest classifier by scikit-learn [22] package was used.

2.2 Application of the Classifier

ML application in particle physics is challenging as compared to its implementation in other research areas due to the nature of quantum mechanics resulting in interference between the particle signal and background [23]. Different ML approaches have been studied to advance the physics results such as higgs boson estimation [24, 25], and beam dynamics analysis at the CERN Large Hadron Collider (LHC) [26]. It is revealed that with random forest classification particle recognition [8] and data quality investigation [27] can be accomplished. Therefore the random forest classification model was selected to analyze the production of dielectrons.

In the end of high energy collisions, detectors identify the particles with the help of global features (GF) such as charge (q), pseudorapidity (η) and transverse momentum (p_T) that are directly determined by the detectors. By using GF of the particles, characteristic features (CF) such as momentum (p), invariant mass (M) of pairs and opening angle between pair partners (θ) can be calculated for the pair identification [28]. Global and characteristic features are listed in Table 1.

Table 1. Global and characteristic features used in the analysis.

Global Features (GF)	Characteristic Features (CF)
q_1, q_2 (charge)	M (invariant mass of pairs)
η_1, η_2 (pseudorapidity)	p (momentum of pairs)
ϕ_1, ϕ_2 (azimuthal angle)	θ (opening angle)
P_{z1}, P_{z2} (z component of momentum)	
P_{T1}, P_{T2} (transverse momentum)	

Since Random Forest Classifier provides information about relative importance of each feature on the prediction, in this study GF and GF+CF were implemented to model separately to understand the impact of features on classification. By using the classifier with and without CF it can be understood if detector responses are good enough for reconstructing pairs, if the highest importance feature matches with the ones used in traditional cut-based methods and if the pairs are derived with the highest efficiency. In both scenarios, hyper-parameters of the classifier were tuned to have the best prediction. In the experiment 60% of data was selected for training and 40% of data was selected for test.

Thanks to the model, feature importance on classification of dielectron pairs in GF and GF+CF implemented models were studied and shown in Figure 5 and 6, respectively. Comparison of feature importance represented in Figure 5 illustrated that GF implemented classifier highly used charges of particles to make prediction of the pairs which is also used in traditional cut-based pair identification method. GF+CF implemented model used characteristic features dominantly to predict dielectrons as shown in Figure 6.

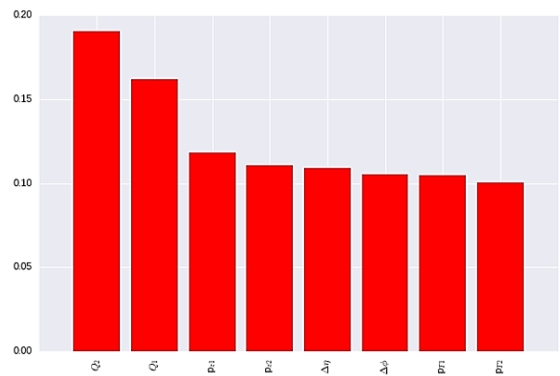


Figure 5. Feature importance of GF implemented Random Forest Classifier study.

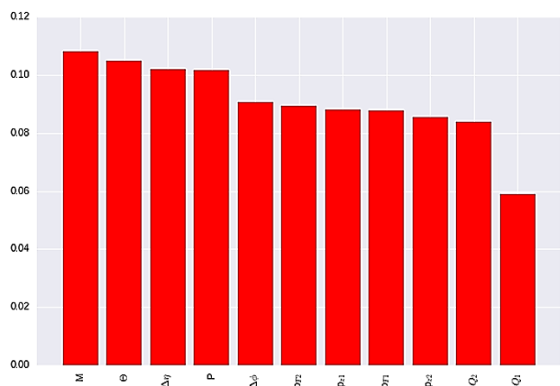


Figure 6. Feature importance of GF + CF implemented Random Forest Classifier study.

3 Results

In ML approaches precision, sensitivity and F-1 scores are widely used metrics to evaluate the success of implemented models. They are defined in Eq. (1), Eq. (2) and Eq. (3), respectively:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (1)$$

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (2)$$

$$F - 1 \text{ Score} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Sensitivity}}{\text{Precision} + \text{Sensitivity}}. \quad (3)$$

In the equations TP, FP and FN represent number of correctly classified dielectron pairs, misclassified dielectron pairs and misclassified background pairs. As it is understood from Eq. (3) F-1 Score is the harmonic mean of precision and sensitivity. The average precision, sensitivity and F-1 Score of GF and GF+CF implemented models are listed in Table 2. As it is demonstrated in the table compared to GF+CF implemented model, GF implemented classifier showed almost 20% more precise and sensitive results.

Table 2. The average precision, sensitivity and F-1 Score of GF and GF+CF implemented classifiers

Features	Average Precision	Average Sensitivity	Average F-1 Score
GF+CF	0.78	0.72	0.65
GF	0.93	0.93	0.92

Another popular metric for ML applied models is Area Under Receiver Operating Characteristic Curve (ROC-AUC) [15] that is shown in Table 3 for GF and GF+CF implemented classifiers separately. It is concluded that by using global features Random Forest Classifier find e^+e^- 12.43% better than CF applied model which is also used in traditional pair identification method in high energy experiments.

Table 3. Comparison of ROC-AUC for GF and GF+CF implemented classifiers.

Features	ROC-AUC
GF+CF	0.874
GF	0.998

4 Conclusion

In this study, Random Forest Classifier model is applied for e^+e^- pair identification produced in high energy collisions to understand early stage of universe. The classifier is selected due to having forest of decision trees preventing overfitting problem in ML models. To understand effect of features on prediction, GF and GF+CF were implemented separately in the model. It is shown that global features implemented Random Forest Classifier determined e^+e^- 12.43% better than CF applied model. The results showed that features directly from detectors are good enough to be used in ML based pair identification without further human effort. In addition, comparison of two different set of features implemented model showed that selection of features has an important role on predictions. The results also proved that without hard and time consuming background analysis the pairs can be identified with high efficiency. Application of machine learning techniques is promising and may enhance the quality of particle experiment results.

Acknowledgements

This work is supported by TÜBİTAK-1001 119F302 project.

This study titled "Artificial Intelligence Based Machine Learning Approach in High Energy Physics" was presented at PCFM 2021.

The authors declare no conflict of interest and ethics committee approval.

References

- [1] Markert, C. (2005). What do we learn from resonance production in heavy ion collisions?. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 31(4), S169.
- [2] Torrieri, G., & Rafelski, J. (2001). Strange hadron resonances as a signature of freeze-out dynamics. *Physics Letters B*, 509(3-4), 239-245.
- [3] Bleicher, M., & Aichelin, J. (2002). Strange resonance production: Probing chemical and thermal freeze-out in relativistic heavy ion collisions. *Physics Letters B*, 530(1-4), 81-87.
- [4] Tawfik, A., & Shalaby, A. G. (2015). Balance function in high-energy collisions. *Advances in High Energy Physics*, 2015.
- [5] Rapp, R., & Wambach, J. (2002). Chiral symmetry restoration and dileptons in relativistic heavy-ion collisions. *Advances in Nuclear Physics*, 1-205.
- [6] Drell, S. D., & Yan, T. M. (1970). Massive lepton-pair production in hadron-hadron collisions at high energies. *Physical Review Letters*, 25(5), 316.
- [7] Ho, T. K. (1998). The random subspace method for constructing decision forests. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 20(8), 832-844.
- [8] Trzcinski, T., Graczykowski, L. K. & Glinka, M. (2019). Using Random Forest Classifier for particle identification in the ALICE Experiment. *Proceedings of Information Technology, Systems Research and Computational Physics*, pp. 3-17.
- [9] Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by random Forest. *R news*, 2(3), 18-22.
- [10] Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- [11] Azhari, M., Alaoui, A., Achraoui, Z., Ettaki, B. & Zerouaoui, J. (2019). Adaptation of the Random Forest Method, *Proceedings of the 4th International Conference on Smart City Applications*, 1141-1146.
- [12] Azhari, M., Alaoui, A., Abarda, A., Ettaki, B., & Zerouaoui, J. (2019). Using ensemble methods to solve the problem of pulsar search. *In International Conference on Big Data and Networks Technologies* (pp. 183-189). Springer, Cham.
- [13] Azhari, M., Alaoui, A., Abarda, A., Ettaki, B., & Zerouaoui, J. (2019). A comparison of random forest methods for solving the problem of pulsar search. *In The Proceedings of the Third International Conference on Smart City Applications* (pp. 796-807). Springer, Cham.
- [14] Mbaabu, O. (2020). Introduction to Random Forest in Machine Learning, Retrieved February 19, 2021, from <https://www.section.io/engineering-education/introduction-to-random-forest-in-machine-learning/>.
- [15] Müller, A. C., & Guido, S. (2016). *Introduction to machine learning with Python: a guide for data scientists*. " O'Reilly Media, Inc."
- [16] McCauley, T. (2014). CMS releases open data for Machine Learning, Retrieved October 15, 2014, from <https://cms.cern/news/cms-releases-open-data-machine-learning>

- [17] Krintiras G. (2021). CMS Luminosity - Public Results, Retrieved January 10, 2021, from https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/LumiPublic/Results#2010_proton_proton_7_TeV_collisi
- [18] CMS Collaboration, CMS luminosity information, for 2010 CMS open data, Retrieved November 22, 2017, from <http://opendata.cern.ch/record/1050>
- [19] McCauley, T. (2014). J/psi to two electrons from 2010, CERN Open Data Portal.
- [20] McCauley, T. (2014). Events with two electrons from 2010, CERN Open Data Portal.
- [21] Python Software Foundation, The Python Language Reference, Retrieved February 5, 2021 from <https://docs.python.org/3/reference/index.html>.
- [22] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, 12, 2825-2830.
- [23] Schwartz, M. D. (2021). Modern Machine Learning and Particle Physics. *arXiv preprint arXiv:2103.12226*.
- [24] Chen, T., & He, T. (2015). Higgs boson discovery with boosted trees. In *NIPS 2014 workshop on high-energy physics and machine learning* (pp. 69-80). PMLR.
- [25] Bourilkov, D., Acosta, D., Bortignon, P., Brinkerhoff, A., Carnes, A., Gleyzer, S., & Regnery, B. (2019). Machine Learning Techniques in the CMS Search for Higgs Decays to Dimuons. In *EPJ Web of Conferences (Vol. 214, p. 06002)*. EDP Sciences.
- [26] Arpaia, P., Azzopardi, G., Blanc, F., Bregliozzi, G., Buffat, X., Coyle, L., ... & Wenninger, J. (2021). Machine learning for beam dynamics studies at the CERN Large Hadron Collider. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 985, 164652.
- [27] Trzcinski T. & Deja K. (2017) Assigning Quality Labels in the High-energy Physics Experiment Alice Using Machine Learning Algorithms, *Proceedings of NICA days*, 647-655.
- [28] Nourbakhsh S. (2010). Studio degli eventi J/ψ in due elettroni con i primi dati di CMS. (Doctoral dissertation, Sapienza University).

renginden farklı bir renkte olduğundan dolayı beyaz tabaka adını alır. Bu tabakanın mikro yapısı esas malzemeden farklıdır [3]. Çeliklerin mekanik özellikleri, yüzeye uygulanan işlemlerden sonra yüzey morfolojisindeki ve yüzey altındaki değişikliklere duyarlı olduğu bilinmektedir. Mussada ve diğ. (2016), tel erozyon ile kalıp çeliğinin yüzey ve yüzey altı yapılarını iyileştirmeye çalışmışlardır. Kesme parametrelerinin yeniden oluşan yüzey katmanını oluşumu üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Oluşan yeni yüzey katmanının yapısını SEM ile incelemişlerdir. İnceleme sonucu elde edilen verileri değerlendirip servo besleme ve tel hızının artması ile tabaka kalınlığının arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca tabaka kalınlığı boyunca mikro sertlik ölçümü sonucunda kalıp çeliğinin yüzey ve yüzey altı sertliğinde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir [4]. Kumar ve diğ. (2016), tel erozyon ile talaş kaldırma işleminde yüzey çatlak yoğunluğu ve yeniden oluşan beyaz tabaka kalınlığı gibi parametreler açısından yüzey hasarının nicel değerlendirmesini yapmışlardır. İşlem koşullarının çatlak oluşumu üzerindeki etkisini, taramalı elektron mikroskopu kullanılarak incelenmişlerdir. İşlem parametreleri yüzey çatlak yoğunluğu ve yeniden oluşum katman kalınlığı işlenmiş numunelerin mikro yapısını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Ark (pulse) süresi, ark boşluk süresi ve akımının hem yüzey çatlak yoğunluğu hem de yeniden oluşum tabaka kalınlığı için en baskın parametreler olduğunu ifade etmişlerdir [5]. Manjaiah ve diğ. (2016) AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin tel erozyon yönteminde işleyerek kesme parametrelerinin malzeme kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçları optimize etmek için Taguchi L27 ortogonal deney tasarımı yöntemini ve ANOVA analiz yöntemini kullanmışlardır. Malzeme kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülük değerlerini etkileyen en önemli parametrenin darbe süresi (pulse on) olduğunu belirtmişlerdir [6]. Puri ve diğ. (2005), tel erozyon ile işlenmiş iş parçası yüzeyinde beyaz bir tabakanın oluşmasını önemli bir kusur olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada yüzey yanıt yöntemi ile beyaz tabaka kalınlığını modellemişlerdir. Beş seviyeli dört değişken içeren ikinci mertebeden döndürülebilir merkezi bileşik tasarım için deneysel bir plan ile deneysel araştırmayı gerçekleştirmek ve ardından girdi işlem parametrelerini yanıtla ilişkilendiren matematiksel modeli oluşturmak için kullanılmışlardır. Ayrıca, çalışmada yanıt üzerindeki tüm girdi parametrelerinin etkilerini kapsamlı bir analiz ile gerçekleştirmişlerdir [7]. Maher ve diğ. (2015), tel erozyon yöntemi sonucunda işlenen parçanın beyaz tabaka kalınlığının yüzey pürüzlülüğü kalitesini değerlendirmek için önemli bir faktör olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında kaplamalı elektrot kullanarak beyaz tabaka kalınlığını tahmin etmek için uyarlamalı nöro-bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) kullanılmışlardır. Tahmin edilen veriler ile ölçülen veriler arasındaki tahmin hatasını % 2.61 olarak belirtmişlerdir [8]. Jose ve diğ. (2009), tel erozyon yönteminde oluşan ısı yüksek sıcaklığın iş parçası yüzeyini etkilediği belirtmişlerdir. Yeniden katılmış bir tabaka olan beyaz tabaka yüzeyin kalitesini ve bileşenin ömrünü azalttığını ifade etmişlerdir. Çalışmada tel erozyon işlemi ile talaşlı imalat sırasında Ti6Al4V malzemesi yüzeyinde oluşan

beyaz tabaka üzerinde araştırmalar yapmışlar ve beyaz tabaka oluşumunu etkileyen parametreleri varyans analizi (ANOVA) ile belirlemişlerdir [9]. Straka ve diğ. (2016), pirinç tel elektrot kullanarak tel erozyon yönteminde EN X210Cr12 (W.-Nr. 1.2080) soğuk iş takım çeliğini kullanarak malzemede meydana gelen işlenmiş yüzeyin ince mikro sertleştirilmiş yüzey tabakası üzerinde deneysel araştırmalar yapmışlardır. Mikrosertlik deneysel ölçümlerine dayanarak, WEDM sonrası işlenmiş yüzeyin nihai kalitesini simüle etmek ve tahmin etmek için En Küçük Kareler Yöntemi (LSM) ile matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Mikrosertleştirilmiş yüzey katmanı homojenliğinin en aza indirilmesiyle ilgili boşaltma işleminin ana teknolojik parametrelerinin ayarlanması için öneriler verilmişlerdir [10]. Ilkhchi ve diğ. (2021) Nikel-titanyum (nitinol) şekil hafızalı alaşımların mikro telli elektro-deşarj işleminde (μ -WEDM) yüzeyindeki mikroskobik değişiklikleri incelemiştir. İşlenmiş yüzeyde beyaz tabaka olarak adlandırılan yeniden katılmış bir tabakanın şekil hafızasını ve elastik geri kazanım özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini ifade etmişlerdir. μ -WEDM süreç parametrelerinin etkilerini simüle etmek için bir sonlu eleman modeli (FEM) geliştirmişlerdir. Parametrelerinin beyaz tabaka oluşumu üzerindeki etkilerini, FEM sonuçlarına dayalı olarak ayrıntılı olarak inceleyip tahmin hata payının %14 olduğunu belirtmişlerdir [11]. Muthuramalingam ve diğ. (2020), diş malzemeleri olarak işlenmiş titanyum alaşımlarının işlenmesinde Taguchi-Grey analizine dayalı kriter karar verme yöntemini kullanmışlardır. Kalite ölçümlerini değerlendirmek için yeniden oluşan katman kalınlığı, tel aşınma oranı ve mikro sertlik sonuçları değerlendirilmiştir. Yüzey kalitesi analizinde optimal proses parametrelerini hesaplamışlardır. Taguchi-Grey kombinasyonunun kullanılması, işleme yüzeyinin kalitesinin iyileştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur [12]. Taguchi deney tasarımı yöntemi mühendislik alanında zamandan ve maliyet giderlerinden tasarruf etmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Optimum sonuçların belirlenmesinde sonuçlar S/N oranlarına dönüştürülür ve ANOVA analizi yapıldıktan sonra parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisi % olarak değerlendirilir [13], [14].

Yapılan literatür çalışmalarında farklı malzemelerin tel erozyon ile işlenmesinde kesme parametrelerinin işlenebilirliği üzerine etkileri incelenmiştir. Ancak ısı işlem görmüş soğuk iş takım çeliğinin tel erozyon ile işlenmesindeki işlenebilirliği hakkında detaylı bir inceleme yapılmamıştır.

Bu çalışmada kalıp endüstrisinde oldukça yaygın kullanılan Sverker 21 soğuk iş takım çeliği, tel erozyon tezgâhında talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Deneylerde hem ticari hemde ısı işlem görmüş numunelerin iş parçası yüzeyinde oluşan beyaz tabaka kalınlığı ve yüzey sertliği ölçümleri yapılmıştır. Taguchi L₁₈ ortogonal deney tasarımı kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar S/N oranına dönüştürülerek AVONA analizi uygulanmıştır. Yapılan çalışma gelecekteki diğer çalışmalara ve sanayi uygulamalarına destek sağlayacaktır.

2 Materyal Metot

Bu çalışmada kalıpcılık alanında oldukça yaygın kullanılan Sverker 21 soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Malzeme işlenmeden önce ısıtılma tabi

tutulmuştur. Isıl işlem öncesi malzeme sertliği ölçülmüş ve 227 HV sertlik değeri belirlenmiştir. Malzemenin ısıtılma işlemi Protherm 442 fırında yapılmıştır. Isıl işlem uygulama koşulları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Sverker 21’ in kimyasal birleşimi[14]

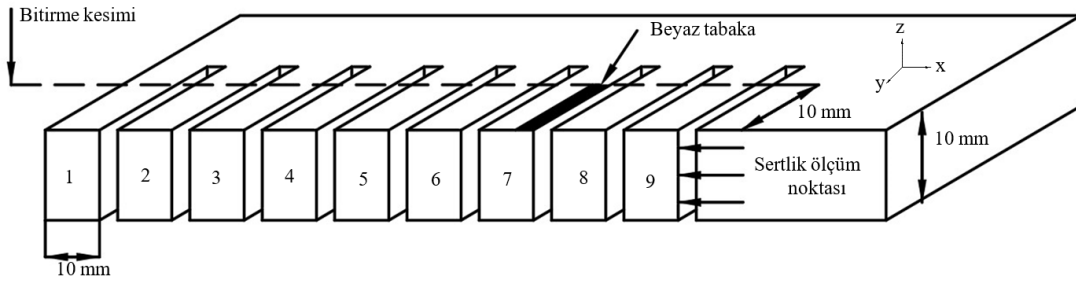
Element	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
% ağırlık	1.51	0.24	0.34	11.7	0.78	0.74	0,08

Tablo 2. Sverker 21’ e uygulanan ısıtılma işlem aşamaları[14]

Numune	Isıl İşlem
1	Ticari numune
2	1050 °C’ye kadar ısıtıldı ve 30 dakika beklendi + 525°C’ye kadar ısıtılıp çift temperleme olarak 2 saat beklendi ve oda sıcaklığında soğutuldu

Şekil 1’de gösterilen iş parçası 2 adet olacak şekilde ilk önce freze tezgâhında soğutma sıvısı kullanılarak uygun ölçülere getirilmiştir. Daha sonra ısıtılma işlemi için Tablo 2’de verilen ısıtılma şartları ile Protherm 442 ısıtılma fırınında işleme tabi tutulmuştur [16]. Ayrıca işlem parametrelerinin beyaz tabaka üzerindeki etkisini tam olarak belirlemek için 400, 600 ve

800 mesh kum boyutuna sahip zımparalar ile iş parçası üzerindeki hem yanık yüzey hem de kesici takım izleri ortadan kaldırılmıştır. Tel erozyon tezgâhına bağlanan iş parçası belirlenen deney şartlarına göre kesilmiştir. Deneyler ONA AF 25 Tel erozyon tezgâhında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deneyisel çalışmalarda kullanılan iş parçası

Deneyisel çalışmalar Taguchi L_{18} deney planına göre yapılmıştır. Deney parametreleri ve bu parametrelere ait seviyeler Tablo 3’de verilmiştir. Deney parametreleri ve

seviyeleri literatüre uygun bir şekilde oluşturulmuştur. Numune 1 ticari, numune 2 ise ısıtılma işlem görmüş malzemeyi ifade etmektedir.

Tablo 3. Tel erozyon kesme işleminde kullanılan parametreler ve seviyeleri

Sembol	Parametreler	Seviyeler		
		I	II	III
A	Numune	1	2	
B	İki ark arası süre (μ s)	50	70	90
C	Voltaj (V)	10	15	20
D	Sıvı basıncı (bar)	10	15	20
E	Tel gerginliği (g)	10	14	18
F	Tel ilerleme hızı (m/min)	5	7	9

Şekil 1’de sertlik ölçüm noktası olarak gösterilen bölgelerden mikro sertlik alınmıştır. Ölçülen mikro sertlik değerleri tüm kesme yüzeyinde farklılık göstereceğinden ölçümler birkaç paralel çizgide elde edilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri iş parçasının hem z eksenı boyunca hem de y eksenı boyunca ölçümler alınıp ortalaması belirlenmiştir. Mikro sertlik değerleri Emcotest-20 Durscan mikro sertlik ölçüm cihazından elde edilmiştir. Mikro yapının ve beyaz tabakanın görüntülenmesi için 2 ml HCl + 98 ml saf H_2O eklenerek çözelti içinde dağlanmıştır. Beyaz tabaka kalınlıkları Nikon Eclipse MA 200 optik mikroskop cihazında 1000X büyütmede ölçülmüştür.

3 Bulgular ve Tartışma

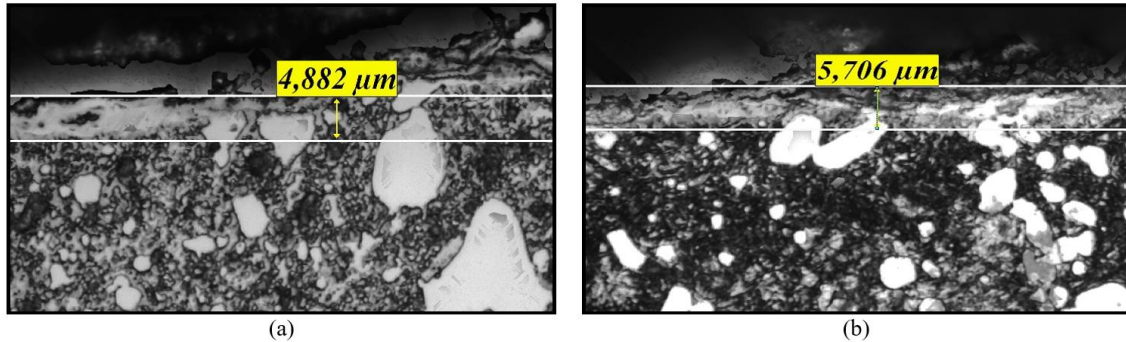
Taguchi deney tasarım planı ve L_{18} ortogonal dizine göre hazırlanan deneyel tasarım, sonuçlar ve S/N oranları Tablo 4’de verilmiştir. Şekil 3-4’de kesme parametrelerinin beyaz tabaka kalınlığı ve yüzey sertliği sonuçlarından elde edilen S/N oranlarının grafikleri verilmiştir. Tablo 4 ve Şekil 3-4 incelendiğinde parametrelerin beyaz tabaka kalınlığı ve işlem görmüş yüzey sertliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Deney tasarımı, sonuçları ve S/N oranları

Deney No	Numune	İki ark arası süre (µs)	Voltaj (V)	Sıvı basıncı (bar)	Tel gerginliği (g)	Tel ilerleme hızı (m/min)	Ortalama Sertlik Değeri (HV)	S/N	Ortalama beyaz tabaka kalınlığı (µm)	S/N
1	1	50	10	10	10	5	267	-48,530	4,882	-13,772
2	1	50	15	15	14	7	271	-48,659	4,25	-12,568
3	1	50	20	20	18	9	241	-47,640	3,824	-11,650
4	1	70	10	10	14	7	279	-48,912	4,235	-12,537
5	1	70	15	15	18	9	285	-49,097	3,471	-10,809
6	1	70	20	20	10	5	254	-48,097	3,794	-11,582
7	1	90	10	15	10	9	282	-49,005	4,182	-12,428
8	1	90	15	20	14	5	260	-48,299	4,765	-13,561
9	1	90	20	10	18	7	275	-48,787	4,235	-12,537
10	2	50	10	20	18	7	575	-55,193	5,471	-14,761
11	2	50	15	10	10	9	650	-56,258	4,706	-13,453
12	2	50	20	15	14	5	598	-55,534	5,86	-15,358
13	2	70	10	15	18	5	653	-56,298	5,706	-15,127
14	2	70	15	20	10	7	665	-56,456	4,353	-12,776
15	2	70	20	10	14	9	660	-56,391	5,11	-14,168
16	2	90	10	20	14	9	625	-55,918	5,824	-15,304
17	2	90	15	10	18	5	651	-56,272	6,471	-16,219
18	2	90	20	15	10	7	685	-56,714	5,06	-14,083

Tel erozyon kesme yönteminde farklı işlem parametreleri farklı beyaz tabaka kalınlıklarına sebep olmaktadır. Beyaz tabaka kalınlıkları 18 numune üzerinden ölçülmüş ve kalınlık ortalamaları alınmıştır.

Şekil 2’de numunelerin beyaz tabaka kalınlıkları mikro yapı olarak gösterilmiştir. Tel erozyon işleminde oluşturulan beyaz tabaka değişken bir kalınlığa sahiptir ve yüzeyin bazı bölgelerinde kaybolur [17].



Şekil 2. Ticari (a) ve ısıtılmış işlem görmüş numune (b) beyaz tabaka kalınlığı ölçümleri

Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen beyaz tabaka kalınlıkları sonuçları “En küçük En iyi” performans karakteristiğine göre S/N oranına dönüştürülmüş ve ANOVA analizi uygulanmıştır. Parametrelerin % etkileri Tablo 5’de gösterilmiştir. Bütün parametrelerin belirli bir etkiye sahip olduğu

görülmektedir. Beyaz tabaka kalınlığı üzerindeki en etkin parametre % 57.236 olarak ticari ve ısıtılmış işlemli numune parametresi olmuştur. Tel ilerleme hızı % 14.740 olarak ikinci etkin parametre olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın istatistiksel hata oranı ise % 3.460 olması çalışmanın oldukça uygun olduğu gösterilmiştir.

Tablo 5. Beyaz tabaka kalınlığı için ANOVA sonuçları

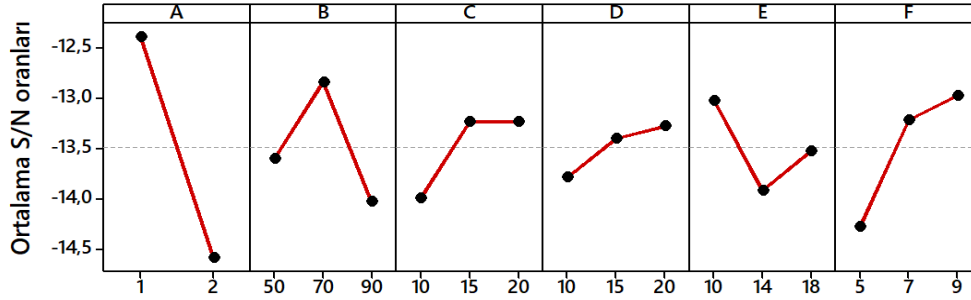
Parametreler	Serbestlik dereceleri	Toplam kareler	Varyans	F değeri	(%) dağılım
Numune	1	21.79279	21.7928	282.230	57.236
İki ark arası süre (µs)	2	4.35143	2.1757	28.177031	11.062
Voltaj (V)	2	2.29679	1.1484	14.8724	5.647
Sıvı basıncı (bar)	2	0.845	0.423	5.473701	1.821
Tel gerginliği (g)	2	2.444	1.222	15.82409	6.034
Tel ilerleme hızı (m/min)	2	5.74717	2.87358	37.214958	14.740
Hata	6	0.463	0.077		3.460
Toplam		37.941			100

Şekil 3’de ortalama S/N değerlerinden elde edilen grafik gösterilmektedir. Parametre seviyelerinin en iyi değeri S/N oranının en büyük olduğu değerdir. Isıtılmış işlem görmüş numunede ticari numuneye göre beyaz tabaka

kalınlığında düşüş meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar literatürdeki bazı çalışmalarda da görülmüştür [16]. Bu durum malzemenin ısıtılmış işlem sonrası mekanik ve termal özelliklerinin değiştiğinin bir sonucudur. İki ark arası süre

parametresinde optimum seviye en büyük S/N oranına sahip üçüncü seviyede elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [18]. Darbe süresi daha fazla olduğunda eriyik malzeme miktarı da artacağından malzeme yüzeyinde birikme meydana gelir ve beyaz tabaka kalınlığını artırır [9]. Bu nedenle iki ark arası süre en az seviyede olmalıdır. Bu çalışma da voltaj parametresinin en düşük seviye değerinde ise optimum beyaz tabaka kalınlığı seviyesine ulaşılmaktadır. Çünkü darbe voltajı daha yüksek olduğunda, tek bir kıvılcım tarafından üretilen erimiş hacim daha büyüktür. Tek

deşarj krateri derinleşir ve genişler, böylece beyaz tabaka kalınlığında bir artışa yol açar [9] [18]. Yalıtkan sıvı basıncı parametresinde ise artan basınç değerinde eriyik malzemenin kesme yüzeyinden hızla uzaklaşması sebebi ile yeniden oluşan tabakanın kesme bölgesinden uzaklaşmasını sağlayarak beyaz tabaka kalınlığında düşüş meydana gelmiştir. Tel gerginliği parametresinde optimum değer ikinci seviyede elde edilmiştir. Tel ilerleme hızının artması ile beyaz tabaka kalınlığının arttığı bazı çalışmalarda da görülmüştür [4].



Şekil 3. Parametre seviyelerinin beyaz tabaka üzerindeki etkisi

Tablo 6 incelendiğinde parametrelerin yüzey sertliğine etkisi % olarak belirtilmiştir. İşlenen yüzeydeki sertlik değeri için en etkin parametre, ticari ve ısıl işlem

parametresi % 98.627 değeri ile en etkin parametre olmuştur. Sistem hata oranı ise % 0.137' lik bir hata oranı ile yapılan işlemin doğruluğunu ortaya koymuştur.

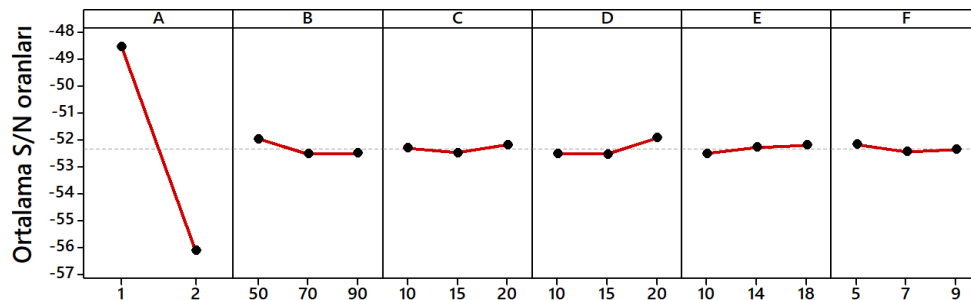
Tablo 6. İşlenen yüzey sertlik değeri için ANOVA sonuçları

Parametreler	Serbestlik dereceleri	Toplam kareler	Varyans	F değeri	(%) dağılım
Numune	1	257.64091	257.6409	12208.9680	98.627
İki ark arası süre (μ s)	2	1.18393	0.50920	28.051852	0.437
Voltaj (V)	2	0.27078	0.1354	6.415	0.088
Sıvı basıncı (bar)	2	1.423	0.712	33.725319	0.529
Tel gerginliği (g)	2	0.309	0.154	7.321006	0.102
Tel ilerleme hızı (m/min)	2	0.25134	0.125671	5.955224	0.080
Hata	6	0.127	0.021		0.137
Toplam		261.206			100

Tel erozyon kesme yönteminde işlem gören iş parçasının ısıdan etkilenen bölgesi işlem parametreleri ile yakından ilişkilidir [10]. Bu durumda parametre ve seviyelerindeki değişiklik kesilen yüzeyde farkı sertlik değerlerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Tel erozyon ile talaş kaldırma yönteminde işlenmiş yüzeyin mikro sertliği tekrarlanan ısıtma ve soğutma nedeni ile yüzey sertliğinin değiştiği görülmektedir. Yüzeyde üretilen termal etkiye hızlı su verme etkisi eşlik eder. Geçici termal dalgalar, yüzey sertliğinde artış meydana getirmektedir [6]. Şekil 4 incelendiğinde S/N oranının en büyük değeri parametrenin en uygun seviyesini göstermektedir. Ticari ve ısıl işlemler numune

parametresinde malzemeye ısıl işlem uygulamasından olayı ikinci seviyede sertlik değerinin arttığı görülmüştür. İki ark arası süre parametresinde üçüncü seviyede sertlik değerinin arttığı görülmüştür. Darbe süresinin arttığı durumda ısıdan etkilenme süresi artacaktır ve ani soğuma nedeni ile sertlik değerinde artış meydana gelmiştir. Voltaj parametresinin optimum noktası seviyesi ikinci seviyedir. Sıvı basıncı parametresi üçüncü seviyede optimum noktayı yakalamıştır. Eriyik malzemenin soğutma hızını etki ederek yüzey sertliğini artırmıştır. Tel gerginliği parametresinin birinci seviyesi tel ilerleme hızının ise ikinci seviyeleri yüzey sertliğindeki artış için en uygun parametre olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Parametre seviyelerinin yüzey sertliği üzerindeki etkisi

4 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada Sverker 21 soğuk iş takım malzemesinin tel erozyon ile işlenmesinde kesme parametrelerinin yeniden oluşan beyaz tabaka ve kesme yüzey sertliğine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma ve analizlere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Beyaz tabaka kalınlığı üzerindeki en etkili parametre % 57.236 ile ticari ve ısıl işlem görmüş numune parametresidir.
- Tel ilerleme hızının artması ile beyaz tabaka kalınlığının arttığı görülmüştür.
- Diğer parametrelerin beyaz tabaka üzerindeki etkileri iki ark arası süre % 11.062, tel gerginliği % 6.034, voltaj % 5.647, yalıtkan sıvı basıncı ise % 1.821 olarak görülmüştür.
- Beyaz tabaka kesilen yüzey üzerinde bazı bölgelerde oluşmadığı belirlenmiştir.
- Kesilen yüzey sertlik değerlerinde ise en etkin parametre % 98.627 oranında numune parametresi olmuştur. Ticari numunenin sertliği 227 HV, ısıl işlem görmüş numunenin sertliği ise 771 HV olarak ölçülmüştür. Kesilen yüzey sertliğinde ise ticari numunenin sertlik değerlerinde artış, ısıl işlem görmüş numunenin ise sertlik değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Chen, Z. (2019). Study on the white layer in wire electrical discharge trim cutting of bearing steel GCr15. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(5), 2375-2386.
- [2] Izquierdo, B., Plaza, S., Sánchez, J. A., Pombo, I., & Ortega, N. (2012). Numerical prediction of heat affected layer in the EDM of aeronautical alloys. *Applied Surface Science*, 259, 780-790.
- [3] Cusanelli, G., Hessler-Wyser, A., Bobard, F., Demellayer, R., Perez, R., & Flükiger, R. (2004). Microstructure at submicron scale of the white layer produced by EDM technique. *Journal of Materials Processing Technology*, 149(1-3), 289-295.
- [4] Mussada, E. K., Hua, C. C., & Rao, A. K. P. (2018). Surface hardenability studies of the die steel machined by WEDM. *Materials and Manufacturing Processes*, 33(16), 1745-1750.
- [5] Kumar, A., Kumar, V., & Kumar, J. (2016). Surface crack density and recast layer thickness analysis in WEDM process through response surface methodology. *Machining Science and Technology*, 20(2), 201-230.
- [6] Manjiaiah, M., Laubscher, R. F., Kumar, A., & Basavarajappa, S. (2016). Parametric optimization of MRR and surface roughness in wire electro discharge machining (WEDM) of D2 steel using Taguchi-based utility approach. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 11(1), 1-9.
- [7] Puri, A. B., & Bhattacharyya, B. (2005). Modeling and analysis of white layer depth in a wire-cut EDM process through response surface methodology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(3-4), 301-307.

- [8] Maher, I., Sarhan, A. A., Marashi, H., Barzani, M. M., & Hamdi, M. (2015). White layer thickness prediction in WEDM-ANFIS modeling. *In Proceedings of Malaysian International Tribology Conference* (Vol. 2015, pp. 240-241).
- [9] Jose, J. V., & Shunmugam, M. S. (2009). Investigation into white layer formed on wire electrical discharge machined Ti6Al4V surface. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 6(3-4), 234-249.
- [10] Straka, E., Čorný, I., & Piteř, J. (2016). Properties evaluation of thin microhardened surface layer of tool steel after wire EDM. *Metals*, 6(5), 95.
- [11] Ilkhchi, R. N., Akar, S., Meshri, H. A. M., & Seyedzavvar, M. (2021). Prediction of white layer formation in μ -WEDM process of NiTi shape memory superalloy: FEM with experimental verification. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113(9), 2805-2817.
- [12] Thangaraj, M., Annamalai, R., Moiduddin, K., Alkindi, M., Ramalingam, S., & Alghamdi, O. (2020). Enhancing the surface quality of micro titanium alloy specimen in WEDM process by adopting TGRA-based optimization. *Materials*, 13(6), 1440.
- [13] Özlü, B., Akgün, M., & Demir, H. (2019). AA 6061 Alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin analizi ve optimizasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* (GMBD), 5(2), 151-158.
- [14] Işık, R., Özlü, B., & Demir, H. (2021). St-37 Malzemesinin Lazer ile Kesme İşleminde Seçilen Parametrelerin Etkisinin Deneysel ve İstatistiksel Olarak İncelenmesi. *Firat University Journal of Engineering*, 33(1).
- [15] Randelius, M., Sandström, R., & Melander, A. (2012). Fatigue strength of conventionally cast tool steels and its dependence of carbide microstructure. *Steel Research International*, 83(1), 83-90.
- [16] Dhobe, M. M., Chopde, I. K., & Gogte, C. L. (2013). Investigations on surface characteristics of heat treated tool steel after wire electro-discharge machining. *Materials and manufacturing processes*, 28(10), 1143-1146.
- [17] Ayesta, I., Izquierdo, B., Flano, O., Sánchez, J. A., Albizuri, J., & Aviles, R. (2016). Influence of the WEDM process on the fatigue behavior of Inconel® 718. *International Journal of Fatigue*, 92, 220-233.
- [18] Maher, I., Sarhan, A. A., Marashi, H., Barzani, M. M., & Hamdi, M. (2016). White layer thickness prediction in wire-EDM using CuZn-coated wire electrode-ANFIS modelling. *Transactions of the IMF*, 94(4), 204-210.



INVESTIGATION OF DEEP DRAWABILITY OF RECTANGULAR SHAPED CUPS IN DEEP DRAWING DIES

Cebeli Özek^{*1} , Hayrettin Akkelek¹ 

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 - Elazığ/Türkiye

Abstract

Original scientific paper

Deep drawing is the process of obtaining three-dimensional containers of certain depths and shapes under pressing forces with the help of drawing molds of sheet materials. In this study, the numerical shaping of rectangular cups in angled deep drawing dies was investigated experimentally and by using the finite element method (FEM). For this purpose, die/blank holder surfaces have $\alpha=0^\circ$, $\alpha=3^\circ$, $\alpha=6^\circ$, $\alpha=9^\circ$, $\alpha=12^\circ$ and $\alpha=15^\circ$ angles in order to facilitate material flow into the die cavity. The punch and die corner radii are taken as 8 mm. St37 steel sheet with a thickness of 0,9 mm was used as the test material. The experiments were carried out by applying die/blank holder forces of 2500 N, 5000 N, 7500 N and 10000 N. The effects of angles and die/blank holder force on limit drawing ratio, wall thickness and the damage of cups were investigated experimentally and numerically, and optimum punch force was determined. Obtained experimental results were compared with ANSYS results. As a result, it has been determined that the increase in die/blank holder surface angles in drawing dies with rectangular geometry with different angles provides a higher limit drawing rate than conventional dies. It has been seen that the experimental results and numerical results are approximate values.

Keywords: Rectangular cups, angular deep drawing dies, limit drawing ratio, finite element method, wall thickness.

AÇILI DERİN ÇEKME KALIPLARINDA DİKDÖRTGEN ŞEKİLLİ KAPLARIN DERİN ÇEKİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Derin çekme, sac malzemelerin çekme kalıpları yardımıyla press kuvvetleri altında istenilen yükseklik ve şekillerde üç boyutlu kapların üretilmesi işlemidir. Bu çalışmada, dikdörtgen geometriye sahip kapların açılı derin çekme kalıplarında deneysel olarak ve sonlu elemanlar metodu (SEM) ile sayısal olarak şekillendirilmesi araştırılmıştır. Bunun için matris boşluğuna doğru sacın akmasının rahat olması amacıyla Kalıp/pot çemberi yüzeylerine $\alpha=0^\circ$, $\alpha=3^\circ$, $\alpha=6^\circ$, $\alpha=9^\circ$, $\alpha=12^\circ$ ve $\alpha=15^\circ$ açılar verilmiştir. İstampa ve matris köşe radyüsleri 8 mm sabit olarak alınmıştır. Deney malzemesi olarak 0,9 mm kalınlığında St37 çelik sac kullanılmıştır. Deneyler, 2500 N, 5000 N, 7500 N ve 10000 N pot çemberi kuvvetleri uygulanarak yapılmıştır. Açıların ve pot çemberi kuvvetinin limit çekme oranı, cidar kalınlığı ve kap hasarlarına yaptıkları etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiş ve optimum ıstampa kuvveti belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, ANSYS sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, farklı açılara sahip dikdörtgen geometriye sahip çekme kalıplarında matris/pot çemberi yüzey açılarının artmasının klasik kalıplara göre çok iyi limit çekme oranı elde edildiği belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar ile sayısal sonuçların yaklaşık değerler olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dikdörtgen kesitli kaplar, açılı derin çekme kalıpları, limit çekme oranı, sonlu elemanlar metodu, cidar kalınlığı.

1 Giriş

Derin çekme, sac malzemelerin çekme kalıpları yardımıyla press kuvvetleri altında istenilen yükseklik ve şekillerde üç boyutlu kapların üretilmesi işlemidir. Bu işlem, sacdan plakaların kaplara dönüştürülmesinde tercih edilen ve özellikle dairesel, kare, dikdörtgen veya düzgün bir şekli olmayan kapların imalatında önemli avantajlar sunmaktadır. Genelde otomotiv ve uzay sanayisi, ev takım

ve eşyaları, mutfak aletleri, paneller ve ısıtma soğutma vb. birçok imalat sektöründe geniş olarak yer almaktadır. Derin çekme oranı (β), çekilecek malzemenin hasara uğramadan, kopmadan ve ezilmeden yırtılmadan şekillendirilebilen en büyük ilkel sac parça çapının stampa çapına oranı veya sacların şekillendirilebilirlik noktasının bir değeri şeklinde ifade edilmektedir. Derin çekme metoduyla dikdörtgen kapları üretmek silindirik kaplara nazaran çok zor bir iştir. Çünkü sacların dışardan orta

* Corresponding author.

E-mail address: cebeli23@gmail.com (C. Ozek)

Received 08 October 2021; Received in revised form 14 November 2021; Accepted 22 November 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1006144>

noktaya doğru itilmesi sırasında kenar noktalarda sacın şekillendirilmeye karşı verdiği tepki çok daha büyük oluşmakta ve bunun neticesi olarak sacın katlanması ve matris iç kısmında yırtılma/kopma tipinde çatlaklar çok fazla oluşmaktadır. Matrisin biçim ve şekli, sac malzemesinin mekanik özellikleri, ilkel sac plakasının şekli ve boyutu, matris-sac-pot çemberi temasındaki sürtünme ve yağlama koşulları, pot çemberi kuvveti, pot çemberi aralığı gibi etkenler derin çekmenin randımanını direkt etkilemektedir. Dikdörtgen şeklindeki kapların derin şekillendirilmesinde kullanılan sac çeşidi ve matris şekilleri ile çekme oranı (β) arasındaki bağlantıyı tespit etmek için pek çok araştırma çalışmaları yapılmıştır.

Derin çekmede şekillendirme sac levhanın kalıp boşluğuna doğru itilmesini sağlayan kabın oluşması ile sonuçlanan zımbanın itme kuvveti vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu yöntem yüksek maliyet ve kaynak işlemlerini ortadan kaldırmakta, az sayıda işlemde ve yüksek üretim oranlarında daha iyi kalitede ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır [1]. Derin çekmede büyük elasto-plastik gerilmelerin oluşması ile nihai ürünlerin kalitesini etkileyen çok sayıda parametre mevcuttur. Bu parametreler, geometrik parametreler (zımba yarıçapı, sac kalınlığı, sacın en boy oranı vb.), malzeme parametreleri (elastiklik modülü, akma gerilmesi, plastiklik parametreleri vb.) ve işlem parametreleri (çekme kuvveti, baskı plaka kuvveti, sürtünme katsayıları, sıcaklık vb) gibi parametrelerdir. Bu parametreler birbirleriyle bağlantılı olduğundan ve nihai sonucu etkilediklerinden dolayı parça kalitesi üzerindeki etkilerini ayırt etmek kolay değildir. Bu nedenle, başarılı bir derin çekme için tüm faktörler hakkında geniş bir bilgi birikimi gereklidir [2]. Ana işlem parametrelerinden biri olan belirli bir derin çekme işlemini gerçekleştirmek için gereken kuvvetin maksimum değeri olarak tanımlanan derin çekme kuvveti (DÇK) dir. DÇK, mekanik press kapasitesini tanımlamak, zımbayı tasarlamak, derin çekme işlemini ve gerilmeleri belirlemek için gereklidir. Genellikle silindirik parçaların DÇK'ini tahmini olarak belirlemek için önemli iki ifade vardır. Bu ifadeler, deneysel verilerden elde edilen ampirik ifadeler ve sac levhadan kap oluşturma işleminin elasto-plastik analizinden elde edilen analitik ifadelerdir [3]. Bu ifadeler ampirik ilişkilere dayanan ve gerilmeler hakkında bilgi gerektiren karmaşık denklemlere dayanmaktadır [4, 5]. Dikdörtgen derin çekme işleminin analizi için farklı analitik ifadeler geliştirilmiştir [1,5 ve 6]. Derin çekme işlemlerine olan ihtiyaç artıca, endüstride yaygın olarak deneme çalışmaları yapılmış ve böylece hatalı sonuçlar veren yöntemlerin kullanımının azalacağına inanılmaktadır. Çalışmalarda genellikle silindirik parçaların DÇK'ni tahmin edecek birkaç denklem mevcut olsa da, bu konuda sınırlı sayıda araştırma çalışması mevcut olup doğru sonuçları tahmin eden ve performansları değerlendirmeye değer bulunmuştur. Silindirik bir parçaya karşılık gelen deneysel ve sayısal sonuçlar, daha önce bildirilen iki deneysel ifadeden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır [8, 9]. Dikdörtgen kapların derin çekilmesi durumunda, mevcut DÇK ifadelerinin tahmin performansları ile ilgili henüz net çalışmalar yapılmamıştır.

Kare kapların derin çekilmesinde taslak sac boyutlarının kapların hassasiyeti üzerindeki etkileri araştırmış ve nihai kap hassasiyetine göre taslak sac

boyutları belirlenerek bilgisayar kullanım programlarından faydalanarak derin çekme metodunda oluşabilecek kusurlar tespit edilmiştir [10]. Karesel ve silindiriksel ürünlerin şekillendirilmesinde ıstampa şekli ve matris elemanlarının buruşmaya etki eden tesirleri araştırılmış, kare ürünlerin şekillendirilmesinde, buruşmaların meydana gelmesinde rastgele sacın akma miktarının sebep olduğu belirtilmiştir [11]. Kare şeklinde olan parçaların üretilmesinde taslak sac şeklinin etkili olduğu, titanyum plakalar farklı sıcaklıklarda çekilerek taslak sac büyüklüklerinin silindirik sac şeklindeki büyüklüklere haiz olanların daha doğru limit çekme oranları sağladığı görülmüştür [12]. AA5754-O Alüminyum alaşımının kare derin çekme işlemi ile şekillendirilmesinde pot çemberi kuvvetinin β üzerinde etkili olduğu, LS-DYNA programı kullanılarak elde edilen sonuçların pratik elde edilenlere göre %85 oranında tutarlı olmaktadır [13]. ETIAL-8 alüminyum malzemenin kare biçimli şekillendirilmesinde pot çemberi aralığının ürün üretim kalitesi ve buruşma üzerinde etkili olduğu, ürün yüzeyi ve buruşma çatlak ve yırtılmalarının meydana gelmemesi için pot çemberi aralığının 1.3 mm ve 1.7 mm en uygun değer olmaktadır [14]. Kare kapların üretiminde farklı şekilde bir pot çemberi tasarlanarak pot çemberi üzerine spiral oluklar şekillendirilerek üretilen kabın yan kenarlarında cidar kalınlığının değişiminin daha düzgün sağlandığı ve sac hareketiyle akışkan etkileri daha sağlıklı sonuçlar vermektedir [15]. Sacları şekillendirme işleminde, çekme ve burulmaları teorik şekilde hesaplayabilen bir sonlu elemanlar metodu geliştirilerek sonuçların pratik yapılan sonuçlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir [16]. Alüminyum sacların karesel şekillendirilmesinde ıstampa kenar yarıçapları gerilmelerden kaynaklı sertleşmeler üzerinde etkili olduğu, ıstampa yarıçapının düşük tutulması halinde β 'nin düştüğü, fazla alınması halinde ise üretilmiş olan ürünlerdeki çatlak ve yırtılmaların kayda değer oranda düştüğü ve dolayısıyla β artmaktadır [17]. Kare biçimli ürünlerin şekillendirilerek üretilmesinde matris büyüklüklerinin (stampa ve taslak parça biçimi, pot çemberi malzemesi ve ıstampa akışkan özelliği) ürün üzerinde etkili olduğu ve bu durumda yırtılmaya sebep olan kuvvetler tespit edilmiştir [18]. Kare şekilli ürünlerin üretimi sırasında üç değişik boyutta taslak sac kullanılarak, nihahi şekillendirmenin daire şekilli taslak elemanda gerçekleştiği kayıt edilmiştir [19]. Galvaniz kaplanmış çeliklerin kare derin çekilmesinde elde edilen ürünlerde oluşan küçülme, bozulma ve alt-üst limit çekme oranları, gerilme yığılımları, hasar şekillerinin ıstampa hızından kaynaklı kuvvetler olduğu görülmüştür [20]. Eşdeğer çap kavramını kullanarak dikdörtgen parçalarda derin çekme kuvveti ile silindirik kaplardaki derin çekme kuvveti için hesaplanan ifadelerin literatürdeki değerler ile uyumlu olduğu ifade edilmiştir [21]. Çelik sac malzemelerde inceltme ve kırışıklıkları önlemek için derin çekme işleminde, baskı plakası, kalıp boşluğu, zımba kuvveti, kuru/yağlama gibi farklı derin çekme parametrelerinin etkisi sayısal ve deneysel olarak araştırılmış, dikkate alınan işlem parametreleri için, 2 mm kalıp boşluğunda, kuru ve yağlamalı 100 kN kuvvet için 1 mm ve 0,8 mm'lik kalıp boşluğunda daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [22]. Dikdörtgen kaplarda özellikle kaptaki kalınlık değişimlerinin, zımba kuvveti ve geri

yaylanma kuvveti gibi çeşitli derin çekme parametrelerinde kabın çekilen üst kısmının kalınlığının azaldığı, zımba kuvveti ve baskı plakası kuvvetinin artması ile arttığı, geri yaylanma üzerindeki baskı plakası kuvvetinin etkisinin az olduğunu tespit edilmiştir [23]. AA6014 alüminyum alaşımı malzeme kullanılarak malzemenin kuru derin çekilmesi sayısal ve deneysel olarak analiz etmiş ve sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür [24]. Derin çekme işlemi sonucunda baskı plakası kuvveti ve sürtünme kuvvetinin çekme oranı üzerindeki etkileri incelemiş, baskı plakası kuvvetinin önemli bir faktör olduğu, kabın ağız kısımlarında gerilme yoğunluğunun baskı plakası kuvvetinden etkilendiği ve sürtünme kuvvetinin, kalınlık dağılımı ve malzemenin yüzey kalitesine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır [25]. Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde, çeşitli saclardan çekme metoduyla dikdörtgen kesitli kapların elde edilmesinde, taslak sac şeklinin, pot çemberi kuvvetleri ve ıstampa yarıçapı gibi pekçok şekillendirme faktörlerinin limit çekme oranı (β) na tesirlerinin pratik şekilde çalışıldığı açık olarak mevcuttur. Bu çalışma, dikdörtgen kapların derin çekilmesinde limit çekme oranını (LÇÖ) tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, St37 sacının dikdörtgen şekillendirilmesinde çeşitli şekillendirme faktörlerinin başka kalıp/pot çemberi açısının (α) LÇÖ (β), ıstampa kuvveti ve ürün cidar kesiti değişimine etkileri pratik olarak ve Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile araştırılmıştır.

2 Deneysel Çalışmalar

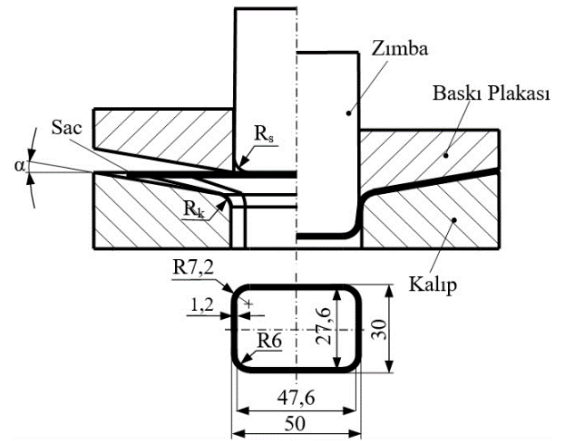
2.1 Materyal ve Metod

Bu çalışma ile pot çemberi kuvvetinin ve matris şekil boyutlarının şekillendirme işlemine tesirlerinin araştırılması hedeflenmektedir. Şekillendirilebilme işlemini gerçekleştirebilmek amacıyla çalışmalar matris ve pot çemberi plakası yüzeylerine 0° , 3° , 6° , 9° , 12° ve 15° açılar verilerek yapılmıştır. Zımba ve kalıp köşe radyüsleri 8 mm sabit olarak alınmıştır. Deney numuneleri 50x70 mm dikdörtgen boyutlarından başlanarak 2,5 mm arttırılmak suretiyle maksimum 70x90 mm ölçülerinde gelişigüzel kesilmiş ve toplam 160 deney yapılmıştır. Pot çemberi kuvvetleri (PÇK) ise 2,5 kN, 5,0 kN, 7,5 ve 10,0 kN olarak uygulanmıştır. Akışkan olarak özgül ağırlığı 15°C 'de 883 kg/m^3 olan Shell Tellus 68 numara yağ kullanılmıştır. Deneylerin yapıldığı deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 1'de, çalışmadaki kalıbın boyutları ve teknik resmi ise Şekil 2'de verilmiştir.

Deney çalışmaları $600 \cdot 10^3 \text{ kN}$ 'luk tek tesirli bir hidrolik press makinasında uygulanmıştır. ıstampa hızı 4 mm/sn sabit olarak tutulmuştur. Çekme esnasında ıstampaya gelen kuvvetlerin tespit edilebilmesi amacıyla CAS LS-20T kapasitesi $200 \cdot 10^3 \text{ kN}$ olan ve $\pm 2 \text{ kg}$ hassasiyetli tek yönlü kuvvet ölçme özelliğine sahip bir dinamometre kullanılmıştır. ıstampa kuvvetleri 10^{-1} saniye sürelerde tespit edilmiştir.



Şekil 1. Deney seti ve sistemi



Şekil 2. Deneylerde kullanılan matris ve ıstampa geometrisi

Deney malzemesi olarak 0,9 mm kalınlığındaki St37 çekme sacı kullanılmış, malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla SHIMADZU marka $5 \cdot 10^3 \text{ kN}$ kapasitedeki çekme deney makinasında 0° , 45° ve 90° şeklinde üç çeşit haddeleme yönünde 5 mm/dak hızla çekme testleri uygulanmıştır. St37 malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 1'de ve mekanik özellikleri de Tablo 2'de mevcuttur. Matris malzemesi olarak soğuk iş takım çeliği (D3) kullanılmıştır. Matris ticari olarak dışarda sanayide üretilerek hazır temin edilmiştir.

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

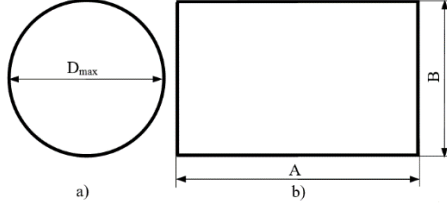
Tablo 2. St37 çelik sacın mekanik özellikleri

Hadde yönü ($^\circ$)	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

Çekilecek ilkel parça boyutları, 50x70 mm dikdörtgen ölçülerinde başlayarak 2,5 mm arttırmak suretiyle farklı dikdörtgenler şeklinde kesilerek tam boyutlarda kesilmiş ve bu boyutlardaki saclar derin çekme işlemine tabi tutulmuşlardır.

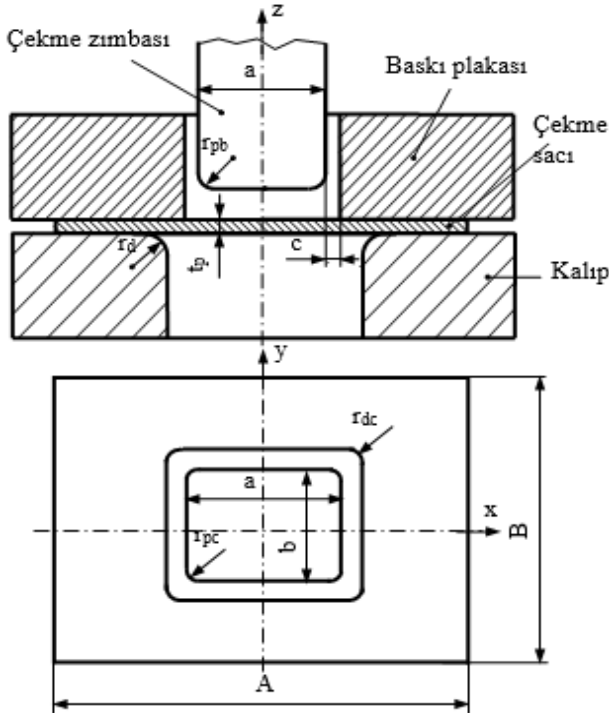
2.2 Eşdeğer Çap Hesabı ve Limit Çekme Oranının Belirlenmesi

Yapılan çalışmalarda silindirik parçaların iyi bilinen derin çekme teorisini dikdörtgen ve düzensiz parçalara uygulamak için eşdeğer çap kavramı kullanılmaktadır [1, 7, 9]. Parça ilkel eşdeğer çapı D_{max} , Şekil 3'te gösterildiği gibi, uzunluğu A ve genişliği B olan dikdörtgen A_C alanlı dairesel ve A_R alanlı dikdörtgen alanlarının çapı olarak tanımlanmaktadır.



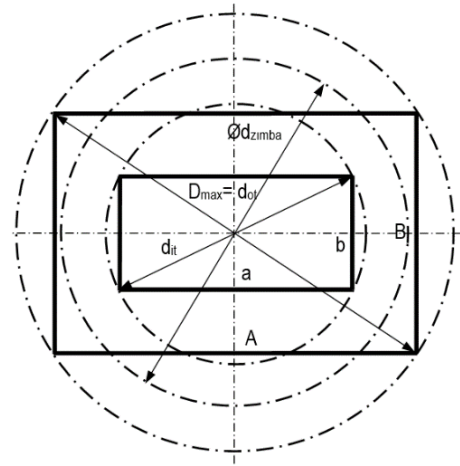
Şekil 3. İlkel parça: a) dairesel, b) dikdörtgen

Genel olarak dikdörtgen derin çekmenin geometrik parametreleri de silindirik derin çekme parametreleri gibi bulunur. Ancak, dikdörtgen derin çekmede bazı ek parametreler gerekmektedir. Dikdörtgen derin çekmenin önemli bir geometrik özelliği, kare için en/boy oranı $b/a=1$ iken dikdörtgen için en/boy oranı $b/a=1$ değildir. Dolayısıyla limit çekme oranı hesabı için farklı bir yöntem olan eşdeğer çap hesabının yapılması gerekmektedir. Dikdörtgen derin çekme işleminin ana geometrik boyutları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Dikdörtgen derin çekme işleminin geometrik boyutları

İlkel parçanın en boy oranını göz önüne alarak, eşdeğer çapı belirlemek için "Pisagor eşdeğer çapları" ifadesi kullanılmıştır. Bu yeni ifade Şekil 5'te gösterildiği gibi eşdeğer çapı tanımlamak için dikdörtgen şeklin karşıt iki köşesi arasındaki mesafeyi dikkate almaktadır. Böylece, yeni eşdeğer çaplar Pisagor Teoremi kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Dikdörtgen kap için ilkel parça ortalama çapı (D_{max}) ve ıstampa ortalama çapının ($d_{istampa}$) belirlenmesi (Pisagor eşdeğer çapları)

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

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

Bu yeni eşdeğer çaplar "Pisagor eşdeğer çapları" olarak adlandırılmaktadır. Dikdörtgen ürünlerin elde edilmesi için limit çekme oranının (β) belirlenmesinde alınmış olan çaplar Şekil 5'de mevcuttur. Limit çekme oranı, aşağıda verilen 3 denkleme göre tespit edilmiştir.

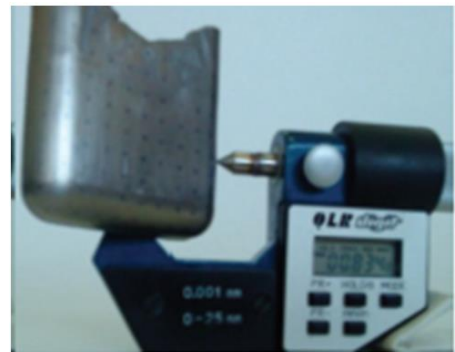
$$\beta = \frac{\varnothing D_{max}}{\varnothing d_{istampa}} \quad (3)$$

$$\varnothing d_{istampa} = \frac{D_{max} + d_{it}}{2} \quad (4)$$

burada, D_{max} parça ilkel eşdeğer çapı ve $d_{istampa}$ ıstampa eşdeğer çapı olarak alınmaktadır.

2.3 Cidar Kalınlığının Ölçülmesi

Gerçekleştirilen denelerin sonucunda üretilmiş olan numunelerdeki kesit incelemelerinin etkisini tespit etmek amacıyla deney numunesi dikkatli bir biçimde kesilerek haddelene yönünde 5 mm mesafelerde izgara olarak bölümlenmiştir. Daha sonra ölçümler, hassasiyeti 10^{-4} mm olan QLR dijital marka dijital bir mikrometre ile belirlenen noktalarda kesit incelemeleri tespit edilmiştir (Şekil 6). Şekil 6'da görüldüğü gibi çekme işleminin sonucunda, üretilmiş olan kapların cidar kalınlıkları dijital mikrometre ile tespit edilmiştir. Bu amaçla, elde edilen kabın yan kenarları 5×5 mm'lik eşit aralıklarla markalanmış ve çakışan noktalardan ölçülmüştür.



Şekil 6. Cidar kalınlığının ölçülmesi

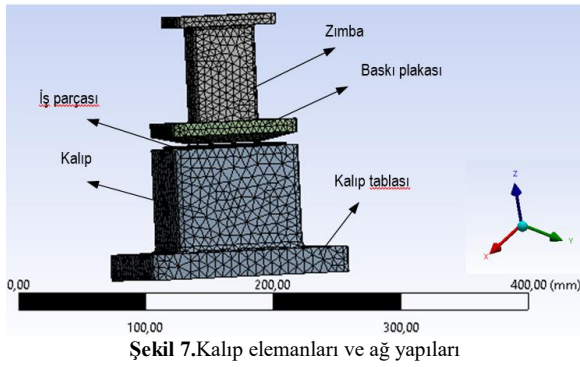
3 Derin Çekme İşleminin Modellenmesi

Deneylerin yapıldığı kalıbın boyutlarının tamamı (kalıp boyutları, matris/ıstampa yarıçapları, matris/pot çemberi açıları vb.) göz önünde bulundurulduğunda kalıp bileşenlerinin üç boyutlu modelleri SolidWorks2019 hazır programı üzerinden oluşturulmuştur. Oluşturulan kalıp sistemi SolidWorks'de mevcut koordinat noktaları göz önünde bulundurularak ANSYS Workbench hazır programında kalıp şekilleri hazırlanmıştır. Kalıp parçalarının modelinin oluşturulmasından sonra, çözümü yapmak için kullanılmış olan plaka malzeme modeli elde edilmiştir. Elde edilen model için Multilinear Isotropic Hardening malzeme modeli kullanılmıştır. Modelde kullanılan malzemenin özellikleri Tablo 3'de mevcuttur.

Tablo 3. Modelde kullanılan sac malzeme özellikleri

Özgül ağırlık (kg/m ³)	7870
Elastisite modülü (kN/mm ²)	196
Poisson oranı	0,32
Akma gerilmesi (N/mm ²)	200
Çekme gerilmesi (N/mm ²)	315
Bulk modülü (kN/mm ²)	175
Kayma modülü (kN/mm ²)	76,3

Ağ yapılarının elde edilmesi sırasında, pot çemberi, ıstampa ve kalıbın ağ büyüklükleri 10 mm, plaka malzemesinde ise ağ büyüklüğü 3 mm değerinde verilmiştir. Çalışmada plakadaki plastik deformasyonun tespit edilmesi temel amaç olduğundan kalıp bileşenlerinin ağ sistemi süre kaybını azaltmak için biraz fazla alınmış, ancak sac plakanın plastik deformasyonu sırasında ıstampa ve kalıp yarıçaplarına değme noktalarının çok hassas alınması için yarıçap yüzeylerinde ağ mesafeleri 2 mm şeklinde verilmiştir (Şekil 7).



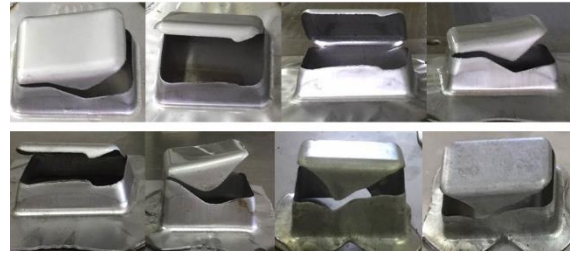
Şekil 7. Kalıp elemanları ve ağ yapıları

4 Sonuçlar ve İrdelenmesi

4.1 Matris/Pot Çemberi Açısının (α) Çekme Oranı (β) Üzerindeki Etkisi

Şekil 8'de, çeşitli taslak sac çaplarına göre gerçekleştirilen deneylerden üretilmiş olan kapların hasarları verilmiştir. Şekilden gösterildiği gibi kapların ağız kısımlarına doğru büzülmeler ve ondülasyonlar, alt tabanına doğru ise alt yüzeye elemesine ve kap boyuna doğru yırtılma ve çatlaklar biçiminde yırtılmalar ve çatlaklar oluştuğu görülmektedir. Taslak sacın çapı arttıkça sacda hasar meydana getirecek ıstampa kuvveti büyümekte ve ıstampa kuvvetinin büyümesi kuvvetin uygulanması sırasında meydana gelen gerginliklerin

artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden deneysel çalışma anında meydana gelen bu aşırı gerginliklere dayanamayan sac malzemelerde kopmalar, çatlaklar ve yırtılmalar oluşmakta ve şekillendirme işleminde iyi bir sonuç elde edilememektedir [5]. Pot çemberi kuvvetinin (PÇK) fazla alındığı zaman çatlaklar temelde numunenin alt kısmında oluşmakta, PÇK'nin az seçildiği zamanda ise kulaklanmaların fazla olma sından numune üst bölgesinde çok fazla büzülmeler oluşmakta, buda kabın ağız kısımlarında çatlakların ve kopmaların meydana gelmesine neden olmaktadır.



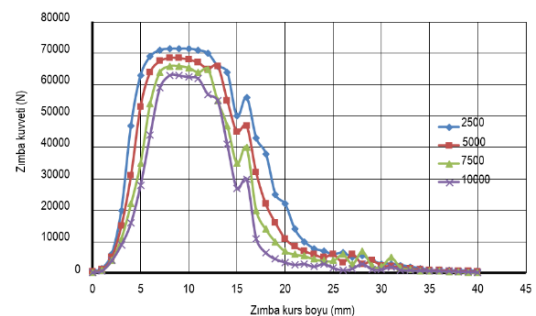
Şekil 8. Farklı çatlama ve kopmaların oluştuğu kaplar

Şekil 9'da, kalıp/pot çemberi açısının değişimine bağlı olarak üretilmiş numuneler görülmektedir. Şekilde verildiği gibi, kalıp/pot çemberi açısının büyümesi ile limit çekme oranı (β) da büyümektedir. Bunun nedeni, matris açısının büyük alınması ile sacın matris içerisine hareketinin çok daha rahat olmasından kaynaklanmaktadır. ıstampa ile matris boşluğunda çekmeye çalışılan sacın çekme gerilmelerine karşı gösterdiği direnç, matris açısının büyümesi ile düşmektedir [5]. Çekme gerilmelerine etki eden en önemli faktörlerden bir tanesi de kuvvet uygulandığı zaman matrisin saca yapmış olduğu baskıdır.



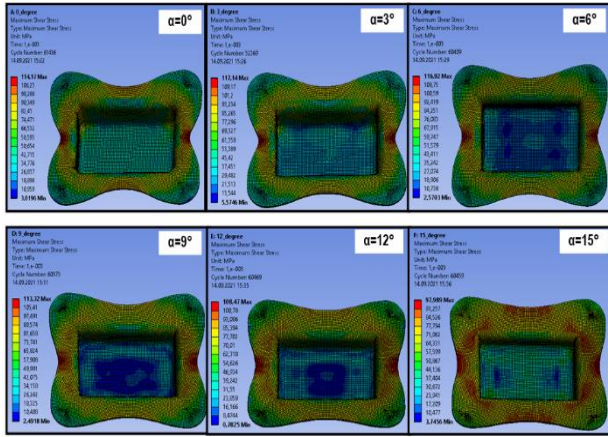
Şekil 9. Matris/PÇA'nın β üzerindeki etkisi,

Şekil 10'da, derin çekme işleminde kaydedilen zimba kuvvetlerinin kurs boyuna bağlı olarak değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi matris/pot çemberi açısının her değerinde ıstampa kuvvetinin kap yüksekliğine göre farklılık göstermesi aynı değişimi vermektedir.



Şekil 10. İstampa kuvvetlerinin kurs mesafesi boyunca değişimi

Şekil 11’de kap yüksekliklerine göre SEM yöntemiyle çekilmiş olan kaplarda görülen maksimum ve minimum kayma gerilmelerin değişimi ve elde edilen kaplar verilmiştir.



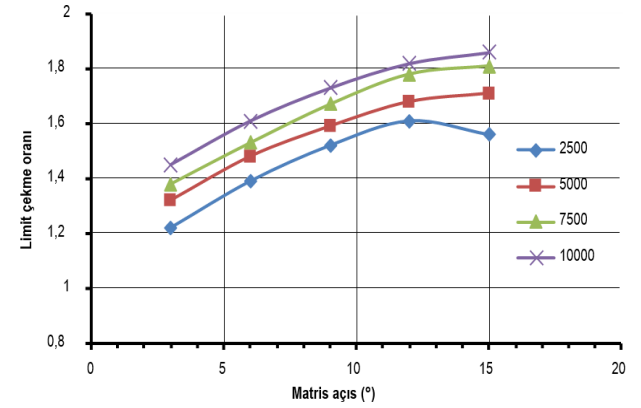
Şekil 11. Matris/pot çemberi açısının değişiminin gerilmeye etkisi

Görüldüğü gibi $\alpha=0^\circ$ için maksimum kayma gerilmesi 114,17 MPa, minimum kayma gerilmesi ise 3,0196 MPa ve $\alpha=15^\circ$ için ise maksimum kayma gerilmesi 91,257 MPa, minimum kayma gerilmesi ise 3,7456 MPa olarak elde edilmiştir. Sırasıyla diğer açılardaki gerilmeler ise $\alpha=3^\circ$ için maksimum kayma gerilmesi 117,14 MPa, minimum kayma gerilmesi ise 5,5746 MPa, ve $\alpha=6^\circ$ için maksimum kayma gerilmesi 116,92 MPa, minimum kayma gerilmesi ise 2,5703 MPa, $\alpha=9^\circ$ için maksimum kayma gerilmesi 105,41 MPa, minimum kayma gerilmesi ise 2,4918 MPa, $\alpha=12^\circ$ için maksimum kayma gerilmesi 100,78 MPa, minimum kayma gerilmesi ise 0,7825,5703 MPa, olarak elde edilmişlerdir. Bu gerilmeler, kap yüksekliği ve tespit edilen matris kuvveti değerleri ile değerlendirildiğinde, matris kuvvetlerinin hemen hemen 8 mm’lik hareket mesafesinde doğrusal bir biçimde büyüdüğü, 10–20 mm’lik zımba hareketi boyunca matris kuvvetlerinde ve net oluşan gerilmelerde önemli bir düşüşün olduğu, tahminen 15 mm zımba hareketinde ise anlık bir büyüme meydana gelmiştir. Bu büyüme, zımba hareket mesafesinin büyümesi ile birlikte matris boşluğuna çekilen sac miktarının da çok olmasıyla değerlendirilebilir. Sac boyutları büyüdükçe, kapta aşırı kalınlaşmalar ve bu nedenle daha büyük zımba kuvvetlerinin uygulanması gerekmektedir.

4.2 Matris/Pot Çemberi Açısının (α) Limit Çekme Oranı (β) Üzerindeki Etkisi

Deney sırasında zımba kuvvetinin uygulanması ile sac plakaya pot çemberi kullanılarak istenilen kuvvetin tatbik edilmesi kapta meydana gelebilecek büzülme ve ondulasyonlar engellenerek şekillendirme işlemi başarılı olarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda pot çemberi kuvvetinin şekillendirmeye olan etkisini tespit etmek için, pot çemberi kuvvetleri 4 farklı değer olarak uygulanmıştır. Şekil 12’de, kalıp/zımba radyüsü $R=8$ mm sabit olduğu durumda baskı plakası kuvvetlerine bağlı olarak kalıp/pot çemberi açısının limit çekme oranı (β) üzerindeki etkisi görülmektedir. Görüldüğü gibi artan kalıp/pot çemberi açısına bağlı olarak limit çekme oranı artmaktadır. Özellikle $P\check{C}K=2500$ N için 12° ’den sonra

limit çekme oranının azaldığı görülmüştür. Optimum açının 12° olması gerektiği söylenebilir. $P\check{C}K$ ’nin 10000 N olması halinde ürün alt kısımlarında erken yırtılmalar meydana gelmekte ve limit çekme oranı (β) miktarı düşmektedir. $P\check{C}K$ ’nin 5000 ve 7500 N değerlerinde ise β’nın eşit ve diğer $P\check{C}K$ ’ne göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, ideal β için, $P\check{C}K$ ’nin 5000 ve 7500 N olması gerekmektedir.

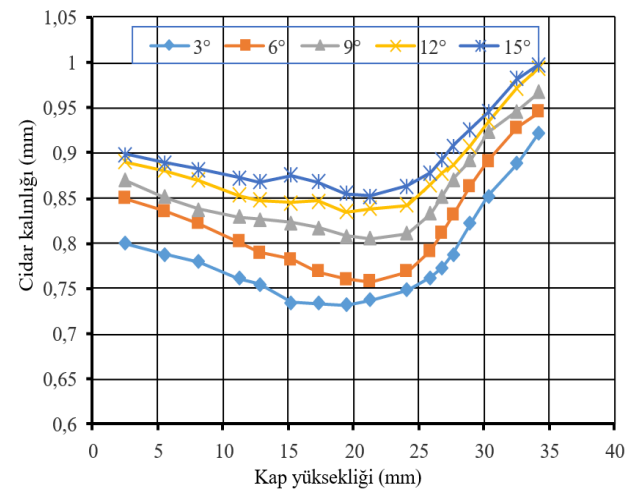


Şekil 12. Pot çemberi kuvvetinin limit çekme oranı (β) üzerindeki etkisi

4.3 Kalıp/Pot Çemberi Açısının (α) Et Kalınlığı Üzerindeki Etkisi

Şekil 13’de sabit $R=8$ mm değerinde kap yüksekliğine bağlı olarak kalıp/pot çemberi açısının cidar kalınlığı üzerindeki etkisinin değişimi verilmiştir.

Deneyisel çalışmalar sırasında numuneler üzerinde birden fazla farklı türde gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeler numunenin kesit kalınlıklarındaki değişimleri direkt olarak etkilemektedir [19]. Bu yüzden deneysel çalışmaların uygulanması sırasında numunelerde oluşabilecek kesit kalınlık değişimlerinin oluşmamasına özen gösterilmelidir. Kapların hassas bir şekilde üretilebilmesi için kaplardaki kesit incelemeleri önlenmelidir. Kaplardaki kesit incelemelerinin değişimi elde edilecek olan ürün kalitesi üzerinde etkili olmaktadır.



Şekil 13. Kalıp/pot çemberi açısının cidar kalınlığı üzerindeki etkisi

Kesit incelemelerinin önüne geçmek bakımından açının büyük oranda önemi vardır. Ancak kalıp/pot çemberi açısına bağlı olarak kalınlık değişimleri benzer

eğilim göstermektedir. Kap boyunun 0-15 mm olan aralığında kesit incelemelerinin düştüğü ve 0,75-0,94 mm gibi bir değer aralığında olduğu, sac kalınlığındaki kesit inceleme değerinin ortalama %10 miktarında düştüğü, 15-20 mm aralığında ise sabit olduğu söylenebilir. 20 mm'den sonra numunenin ağız kısımlarına doğru kaptaki kesit incelemeleri aşamalı bir biçimde yükselmekte ve özellikle 30 mm'den itibaren kesit incelemelerindeki farklılık sac plaka kalınlığından daha fazla olduğu görülmüştür. Kalınlıktaki bu fazlalaşma yaklaşık %24'dür. Kalıp/pot çemberi açısının (α) hemen hemen her değerinde kesit değişimlerinde aynı durum görülmektedir.

5 Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, St37 çeliğinden dikdörtgen kesitli kapların açılı derin çekme kalıplarında şekillendirilmesi esnasında kalıp/pot çemberi açısı ve pot çemberi kuvvetinin limit çekme oranı (β) ve cidar kalınlığı üzerindeki etkileri deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışma sonucunda çıkarılan genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Kalıp/pot çemberi açısı (α) arttıkça pot çemberi kuvvetindeki artışın cidar kalınlığı değişimine olan etkisinin azaldığı, bu durumun en fazla deformasyon olayının gerçekleştiği kap üst kısımlarındaki geri esneme miktarının kap alt kısımlarındaki geri esneme miktarından daha düşük olmasından kaynaklandığı ve kalıplama kuvvetini etkileyen en önemli faktörün kalıp/pot çemberi açısı ve kalıp/pot çemberi kuvveti olduğu görülmüştür.

2. Kalıp/pot çemberi açısı (α) değerlerinin artması ile LÇO (β)'da artmaktadır. St37 derin çekme sacının klasik yöntemle ($\alpha=0^\circ$) çekilmesinde $\beta=1.20$ iken, kalıp ve pot çemberine açı vermek suretiyle ($\alpha=3-15^\circ$) β değeri, 1.55'e kadar yükseltilebilmiştir. SEM yöntemi ile elde edilen maksimum β değeri ise $\alpha=10^\circ$ olduğu şartlarda, 1.61 olarak tespit edilmiştir.

3. PÇK'nin 2500 N ve 10000 N alınmaları halinde, elde edilen kaplarda kulaklanmalar, erken yırtılmalar ve çatlaklar meydana gelmektedir. Dolayısıyla limit çekme oranı (β) istenilen değerde elde edilememektedir. PÇK'nin 5000 ve 7500 N alınması sırasında ise daha büyük limit çekme oranı (β) ve daha düzenli kaplar elde edilebilmektedir.

4. İlk parça çapları aynı olan kaplarda kesit kalınlık değişimleri kabın ağız kısımlarında artmakta, taban bölgelerinde ise azalmaktadır. Kabın orta bölgelerinde daha düzenli ve sabit bir değişim göstermektedir. $\alpha=0^\circ$ iken minimum kalınlık 0.725 mm iken, α 'nın 3° , 6° , 9° , 12° ve 15° alınması halinde minimum kesit değişimleri sırasıyla 0.720, 0.760, 0.820, 0.840 ve 0.860 mm değerleri olarak ölçülmüştür. Matris açısının büyümesi ile kesitlerdeki incelenmenin düştüğü tespit edilmiştir.

Bu makale Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Teknolojileri Programı'nda "Açılı Derin Çekme Kalıplarında Dikdörtgen Şekilli Kapların İlık Derin Çekilebilirliğinin Araştırılması" adı ile kayıtlı yüksek lisans tezindeki verilerden hazırlanmıştır.

Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Medellín-Castillo, H. I., Garcia-Zugasti, P. D. J., de Lange, D. F., & Colorado-Alonso, F. J. (2013). Analysis of the allowable deep drawing height of rectangular steel parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(1-4), 371-380.
- [2] Singh, C. P., & Agnihotri, G. (2015). Study of deep drawing process parameters: a review. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(2), 1-15.
- [3] Aarón Rivas-Menchi A. (2015). *Análisis del Efecto de Diversos Parámetros en el Desempeño del Proceso de Embutido de Formas Rectangulares*. (Master's dissertation, Universidad Autónoma de San Luis Potosí).
- [4] Tschaetsch H. (2006). *Metal forming practice*. New York: Springer.
- [5] Daxin, E., Mizuno, T., & Li, Z. (2008). Stress analysis of rectangular cup drawing. *Journal of materials processing technology*, 205(1-3), 469-476.
- [6] Menchi, A. R., Medellín Castillo, H. I., de Lange, D. F., & García Zugasti, P. D. J. (2014, November). Influence of geometrical parameters on the maximum deep drawing height of rectangular parts. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (Vol. 46438, p. V02AT02A016). American Society of Mechanical Engineers.
- [7] García-Zugasti P, de J. (2005). *Proceso de Embutido de Productos Rectangulares de Lámina (Estudio Teórico-Práctico)*. (Doctoral dissertation, México: Universidad de Guanajuato).
- [8] García, C., Celentano, D., Flores, F., Ponthot, J. P., & Oliva, O. (2006). Numerical modelling and experimental validation of steel deep drawing processes: Part II: Applications. *Journal of materials processing technology*, 172(3), 461-471.
- [9] Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. John Wiley & Sons.
- [10] Choi, T. H., & Huh, H. (1999). Sheet metal forming analysis of planar anisotropic materials by a modified membrane finite element method with bending effect. *Journal of Materials Processing Technology*, 89, 58-64.
- [11] Thiruvarudchelvan, S., Travis, F. W., & Poh, T. K. (1999). On the deep drawing of cups with punch and blank-holding forces proportional to a hydraulic pressure. *Journal of Materials Processing Technology*, 92, 375-380.
- [12] Padmanabhan, R., Oliveira, M. C., Baptista, A. J., Alves, J. L., & Menezes, L. F. (2009). Blank design for deep drawn parts using parametric NURBS surfaces. *Journal of materials processing technology*, 209(5), 2402-2411.
- [13] Saxena, R. K., & Dixit, P. M. (2009). Finite element simulation of earing defect in deep drawing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 45(3-4), 219.
- [14] Yang, T. S. (2008). Finite element analysis of square cup deep drawing of pure titanium metal sheet at elevated temperatures. In *Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge* (pp. 33-42). Springer, London.
- [15] Demirci, H. I., Esner, C., & Yasar, M. (2008). Effect of the blank holder force on drawing of aluminum alloy square cup: Theoretical and experimental investigation. *Journal of materials processing technology*, 206(1-3), 152-160.
- [16] Gavas, M., & Izciler, M. A. H. M. U. T. (2007). Effect of blank holder gap on deep drawing of square cups. *Materials & design*, 28(5), 1641-1646.
- [17] Gavas, M., & Izciler, M. A. H. M. U. T. (2006). Design and application of blank holder system with spiral spring in deep drawing of square cups. *Journal of Materials Processing Technology*, 171(2), 274-282.

- [18] Menezes, L. F., & Teodosiu, C. (2000). Three-dimensional numerical simulation of the deep-drawing process using solid finite elements. *Journal of materials processing technology*, 97(1-3), 100-106.
- [19] Marumo, Y., Saiki, H., & Mori, T. (1999). Combined effects of strain hardening characteristics and tool geometry on the deep-drawability of square aluminum cups. *Journal of Materials Processing Technology*, 89, 30-36.
- [20] Marumo, Y., & Saiki, H. (1998). Evaluation of the forming limit of aluminum square cups. *Journal of Materials Processing Technology*, 80, 427-432.
- [21] 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.
- [22] Choudhari, C. S., & Khasbage, S. S. (2021). Experimental investigation of forming parameters for square cup deep drawing process. *Materials Today: Proceedings*, 44, 4261-4267.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Dwivedi, R., & Agnihotri, G. (2017). Study of deep drawing process parameters. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 820-826.



EVALUATION OF HARPUT CIMSIT BEY HAMMAM IN THE CONTEXT OF RE-FUNCTIONING CRITERIA

Kıvanç Tangülü^{*1} , Neslihan Yıldız² 

¹Faculty of Architecture and Design, Interior Architecture Department, Maltepe University, İstanbul, Turkey

²Faculty of Fine Arts And Architecture, Interior Architecture and Environmental Design Department, Istanbul Gedik University, İstanbul, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Buildings; reflects the characteristics of the time and the region with its materials, colors, architecture and all other features. It is equipped with functions that can meet the needs of the society when it was built. However, this feature may no longer be needed in the future. In this case, it is better to redesign and evaluate rather than demolish existing buildings and build new ones. Otherwise, the original function of the structure and its historical position in social memory will be excluded and social identity will be destroyed while adding new data. Cultural assets lose their current purpose of use in the historical process. Both the development of technology and the proliferation and spread of the population are seen as the main reasons for this. In this case, the preservation and use of this structure require re-functioning. Repurposing is a restoration technique. The main purpose here is to renew the original structure of the cultural property without deterioration and to pass it on to future generations.

In this study, the partial use, human destruction, and malfunctioning of the restored and re-functioned Cimsit Bey Hammam were discussed and interpreted in terms of economic, social and environmental factors.

As a result, it is important that historical buildings from past periods lose their function due to a number of reasons and be re-functionalized in line with needs and made usable, albeit for different purposes, in terms of transferring the building to future generations. In this context, the use of the historical Cimsit Bey Hammam as a restaurant with re-functioning does not cause any harm to the historical structure and the positive results that it has contributed to the development of the region are quite high.

Keywords: Interior, architecture, re-functioning, Harput, hammam.

HARPUT CİMŞİT BEY HAMAMI'NIN YENİDEN İŞLEVLENDİRME ÖLÇÜTLERİ BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Binalar; malzemeleri, renkleri, mimarisi ve diğer tüm özellikleriyle zamanın ve bölgenin özelliklerini yansıtır. İnşa edildiği zaman-ki toplumun ihtiyaçlarını karşılayabilecek fonksiyonlarla donatılmıştır. Ancak gelecekte bu özelliğe artık ihtiyaç duyulmayabilir. Bu durumda mevcut binaları yıkıp yenilerini inşa etmek yerine yeniden tasarlamak ve değerlendirmek daha yerinde bir karar olacaktır. Aksi takdirde, yapının orijinal işlevi ve sosyal bellekteki tarihsel konumu dışlanacak ve yeni veriler eklenirken sosyal kimlik yok edilecektir.

Kültür varlıkları tarihsel süreç içerisinde mevcut kullanım amaçlarını kaybetmektedir. Gerek teknolojinin gelişimi gerek nüfusun çoğalması ve yayılması bunun başlıca nedenleri olarak görülmektedir. Bu durumda bu yapının korunması da kullanımı da yeniden işlevlendirmeyi gerektirmektedir. Yeniden işlevlendirme bir restorasyon tekniğidir. Buradaki asıl amaç kültür varlığının özgün yapısının bozulmadan yenilenmesi ve gelecek nesillere aktarılmasıdır.

Bu çalışmada restore edilip yeniden işlevlendirilen Cimsit Bey Hamamı'nın kısmi kullanım, insan tahribatı, yeni işlevin uygun olup olmadığı ele alınmış olup ekonomik, toplumsal ve çevresel faktörler açısından incelenerek yorumlanmıştır.

Sonuç olarak, geçmiş dönemlerden günümüze ulaşan tarihi yapıların bir takım sebepler ile işlevini yitirmesi ve ihtiyaçlar doğrultusunda yeniden işlevlendirilerek, farklı amaçlarla da olsa kullanılabilir hale getirilmesi, yapının gelecek nesillere aktarılması açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda tarihi Cimsit Bey Hamamı'nın yeniden işlevlendirme ile restoran olarak kullanılmasının tarihi yapıya tahribatı söz konusu değildir ve bölgenin kalkınmasına sağlamış olduğu katkı büyüktür.

Anahtar Kelimeler: İç mimarlık, yeniden işlevlendirme, Harput, hamam.

* Corresponding author.

E-mail address: kivancangulu@hotmail.com (K.Tangülü)

Received 26 June 2021; Received in revised form 15 November 2021; Accepted 22 November 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.957834>

1 Giriş

Yapılar, toplumun ihtiyaçları doğrultusunda ortaya çıkan ve yapıldığı dönemin yapısal özelliklerini içeren mimarlık ürünleridir. Yapıların inşa edildiği zaman dilimi, o dönemin bütün özelliklerini ortaya çıkarmakta ve günümüze geçmiş dönem ile ilgili detayları yansıtmaktadır. Geçmiş toplumlarda günlük ihtiyaç doğrultusunda kullanılan binalar günümüzde tarihi yapı olarak ortaya çıkmaktadır. Geçmişten günümüze ulaşan ve tarihi bir değere sahip olan yapılar tarihi yapı olarak ifade edilir. Bu yapılar, inşa edildiği dönemin izlerini geçmişten günümüze kadar yansıtmaya özelliğine sahiptirler. Kuşkusuz tarihten günümüze kalan her yapının toplumlar açısından bir değeri vardır. Tarihi yapılar geçmiş toplumların din, dil ve ırk gibi özelliklerini yansıtmalarının yanında günümüz toplumuna yaşayış tarzlarından da bahsetmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında tarihi yapıların genel anlamda ortaya çıktığı bölgenin kültüründen de bizlere bahsettiği söylenebilir.

Toplumların tümünde temizlik bir kültürdür. Bu kültürle ilerlerken, mevcut tesisat yokluğu ve su dolaşım sıkıntısı sebebi ile tarihsel süreç içerisinde şehirlerin belirli bölgelerine temizlenme amaçlı yapılar kurulmuştur. Bu yapılara toplum arasında 'hamam' denilmiştir. Anadolu'da yıkanma ve hamam kültürü Roma döneminde başlamıştır [1]. Benzer bir çizgiyle Türk toplumunda hamamlar; temizlenme, arınma ve aynı zamanda sefa yerleri olarak da bilinmektedir.

Tarihi kaynaklar incelendiğinde, Osmanlı döneminde evlerine hamam yaptıran zengin kesimin, bununla yetinmeyip toplumun kullanımına sunulmuş olan umumi hamamlara da eğlence ve sefa amaçlı katılım sağladığı görülmektedir. Ayrıca, geçmiş dönemde insanların toplumsal kültür anlamında kullandıkları bir sosyalleşme aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarihsel süreçte bakıldığında Anadolu'da çok sayıda hamam yapısına rastlamak mümkündür [2].

Malazgirt Savaşı tarihçiler açısından Türklerin Anadolu topraklarına girişi olarak kabul edilmektedir ve Malazgirt Savaşı'ndan sonra Harput ile çevresi Türklerin eline geçmiştir. Birçok uygarlığın bu topraklarda hüküm sürdüğü bilinen Harput, Anadolu tarihinde önemli bir yer tutmaktadır. 1516 Çaldıran Muharebesi'nden sonra Osmanlı iradesine geçen Harput, başlangıçta Diyarbakır eyaletine bağlı bir sancak halinde teşkilatlandırılmıştır. 1530 tarihli bir kayda göre Harput'ta 14 Müslüman, 4 Ermeni mahallesinin olduğu bilinmektedir. 19. yüzyılın sonlarında Harput'ta 2670 ev, 843 dükkân, 10 cami, 10 medrese, 8 kütüphane ve kilise, 12 han ve çeşitli büyüklükte 90 hamam bulunduğu Kamus-ül-'lam'da belirtilmektedir.

Hamamlarının fazlalığı ile göze çarpan bu tarihi kentte en göze çarpanlardan biri de Cimsit Bey Hamamı'dır. Yavuz Sultan Selim Han'ın sipahi beylerinden Cimsit Bey tarafından 16. yüzyılın ilk yarısında Harput'ta yaptırılmıştır. Günümüze kadar yapısal mimarisi bozulmadan ulaşan bu hamam şimdilerde yeniden işlevlendirme yapılarak restoran olarak kullanılmaktadır.

Tarihi, kültürel ve mimari mirasın, nesiller boyu devam ettirilerek yaşatılması ve aynı zamanda geçmiş, bugün ve gelecek zaman aralıklarıyla bağ kurabilmesi

kültürel miras noktasında farkındalığın kazanılması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda çalışmada ele alınan Cimsit Bey Hamamı'nın özgün işlevi sonrası nasıl kullanıldığı, yeni yüklenen işlevle geçmiş günümüze nasıl yansıttığı ve yaşamımıza ne şekilde dâhil olduğu yapının tarihi, konumu, çevresi ile olan ilişkisi, tasarlanma amacı ve mimari özellikleri gibi konularının üzerinde durularak çalışmanın önemi vurgulanmıştır.

Çalışmanın amacı; özgün işlevini kaybetmiş ve yeniden işlevlendirilmiş olan bir hamam yapısının uğradığı mekânsal değişim ve dönüşümlerin incelenmesi ve yeni işleve uygunluğunun sorgulanmasıdır. Bu kapsamda ele alınan ve Elazığ ili Harput Mahallesi tarihi dokusunun önemli bir parçası olduğu düşünülen Cimsit Bey Hamamı'nın; tarihsel süreç, uygun işlev seçimi, iç mekân organizasyonu ve yeniden işlevlendirme ilkelerine uygunluğu bağlamında değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışma için öncelikle literatür araştırmasına başlanmış, kütüphane, arşiv vs. gibi ana kaynaklar ziyaret edilerek yapıyla ve konuyla alakalı pek çok kaynak taranmıştır. Yapılan literatür çalışması kapsamında çeşitli kurumlardan (kamu, özel) ulaşılan kaynaklar incelenmiş, Cimsit Bey Hamamı'yla ilgili tarihten günümüze hem görsel hem de yazınsal bilgilere ulaşılmıştır. Daha sonraki aşamada sahaya inilerek yapının yerinde mevcut durum incelemesi yapılarak fotoğraflandırılmıştır.

Araştırma kapsamında Cimsit Bey Hamamı'nın, Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün yasal izni ile restorasyon teknikleri bağlamında yeniden işlevlendirilmesi sonucu, iç mekân işlevselliğinin sorgulanması, yapının fiziksel problemlerinin tespiti ve bölgede restoran olarak işlevlendirilecek diğer yapıların mimari/iç mimari tasarımlarına yansıtılması anlamında sağlayacağı faydalar büyük önem arz etmektedir.

2 Kültür Varlıklarını Koruma Yaklaşımları ve Yeniden İşlevlendirme Kavramı

Yaşayan toplumların gelişmişlik düzeylerini gösteren en önemli faktörlerden biri 'koruma kavramı'dır. Kentlerin gelişme süreçlerini göz önünde bulunduracak olursak, kentin önemli değerleri ve özgün niteliklerinin elde edilmesi açısından koruma kavramı büyük rol oynamaktadır [3].

Koruma kavramının en önemli sorunsalı 'neyin korunacağı?' sorusudur. Geçmişten günümüze kadar ayakta kalabilmeyi başaran işlevsel binalar, dini yapılar, mezar anıtları korunma altına alınması gerekli kültür varlıklarıdır. Yalnızca işlevsel olan ve geçmişten günümüze kadar varlığını devam ettirmiş yapılar anıtsal olmamalarına rağmen kendi yapıldıkları dönemin tarihini ve kültürünü yansıttığı için korunmaya alınmalıdır [4]. Venedik Tüzüğü'nün 3. Maddesi'nde; "Anıtların korunmasında ve onarılmasındaki amaç, onları bir sanat eseri olduğu kadar, bir tarihi belge olarak da korumaktır" şeklinde belirtilmektedir [5]. Bu bağlamda bir yapının geçmişin izlerini yansıttığı olması onun koruma altına alınması için geçerli bir sebeptir.

Kültür varlıklarının korunması amacıyla ülkeler ve ülke birlikleri nezdinde birçok anlaşma yapılmıştır. Bu anlaşmalardaki genel amaç eski çağlarda ülkelerin hükmettiği toprakların şimdiki zamanda başka ülkelerin elinde olmasından dolayı kültür varlıklarına sahip

çıkmasıdır. Genel olarak toplulukların amacı tarihin izlerini taşıyan kültür varlıklarını gelecek nesillere aktarabilmektir. Bu çerçevede de ülkeler pek çok anlaşma ve sözleşme imzalamışlardır.

Türkiye'nin de dâhil olduğu uluslararası sözleşmeler bulunmaktadır. Avrupa Birliği aday üyesi olan ülkemiz kültür varlıkları sözleşmelerinde yerini almaktadır. Genel olarak kültür varlıklarını koruma sözleşmelerinde belirli kriterler mevcuttur. Fakat tüm bunlara rağmen ülkelerin kriterleri yerine getirmediği durumlarda da yaptırımların yeteri kadar güçlü olduğu söylenemez [6].

Kültür varlıkları, geçmiş tarihimizin ve kültürümüzün günümüze ulaşabilmesinde en önemli rol oynayan varlıklardır. Bu sebeple bizlere miras bırakılan kültür varlıklarını gelecek nesillere aktarabilmek için doğru restorasyon çalışmaları ve işlevlendirme teknikleri ile bu varlıkların koruma altına alınmaları gereklidir. Sahip çıkılmayan ve kendi haline bırakılan her kültür varlığı tahrip olup zamanla yok olmaya mahkûm bırakılmış olur.

2.1 Yeniden İşlevlendirme Kavramı

Yeniden işlevlendirme bir restorasyon tekniğidir. Buradaki asıl amaç kültür varlığının özgün yapısının bozulmadan yenilenmesidir. Yeniden işlevlendirme kavramı günümüz tarihi yapılarında oldukça sık karşımıza çıkmaktadır. Yapıların zaman ile kullanılabilirliğini kaybetmesi, yeni yaşam biçiminde tercih edilmemesi buna bağlı olarak işlevini yitirmiş olmasından dolayı farklı işlevlere dönüştürülmesine yeniden işlevlendirme adı verilmektedir [7].

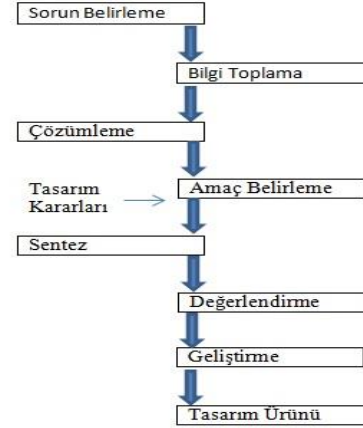
Yaşadığımız çağda birçok şey çok hızlı bir biçimde değişmektedir ve bu değişime ayak uydurabilmek için yeni biçim ve düzenlemeler zorunlu hale gelmektedir. Geçmiş dönemlerde inşa edilen yapıların işlevleri değişebilmekte ve farklı amaçla kullanılabilir. Özgün işlevlerini sürdüremeyen, han, hamam, medrese, kilise gibi yapılar işlev değişikliğine uğramış yapılar örnek verilebilir [8].

Kültürel değeri olan yapıların, sürdürülebilirlik açısından devamının gerçekleştirilmesi, bölge ile adaptasyonunun sağlanması ve tarihi değerlerinin yaşatılması adına önem arz etmektedir. Bu yapıların özgün durumlarının korunması ve günümüzün ihtiyaçları doğrultusunda kullanılması koruma işlevinin en önemli ögesidir [9]. Yapıların yeniden işlevlendirilerek faydalı hale getirilmesi, kullanılabilirlik bağlamında değer kazanması anlamına gelir [10].

Yapıların yeniden işlevlendirilmesi için tasarım sürecine başlamadan önce, nasıl bir tasarım sürecinin takip edileceği ve yaklaşım kararlarını belirlemek gereklidir. Takip edilmesi gerekli olan tasarım süreci aşamalarını Aksoy, Şekil 1' de görüldüğü gibi şöyle açıklamıştır: "Sorun belirleme, bilgi toplama, çözümleme, tasarım kararları, amaç belirleme, sentez, değerlendirme, geliştirme, tasarım ürünü" [11].

Tarihi yapıların devamlılıklarını sürdürebilmeleri açısından yeniden işlevlendirme büyük bir rol oynamaktadır. Çünkü geçmişten günümüze kadar gelebilen yapılar zamanla birtakım sebeplerden ötürü işlevlerini yitirmektedirler. Nüfus artışı, kentleşme ve konfor gibi etkenler tarihi yapıların işlevlerini

kaybetmelerine sebep olmaktadır. Sahipsiz kalan bu yapıların gerek doğal sebepler, gerek insan tahribatı dolayısıyla ayakta kalabilmeleri güç duruma gelmektedir. Yeniden işlev verilerek başka amaçlarla da olsa insanların kullanımına açılan yapıların doğru restorasyon teknikleri uygulanarak tarihi dokusuna zarar vermeden işlevlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.



Şekil 1. Aksoy'un tasarım süreci şeması [12].

3 Çalışma Alanı: Cimsit Bey Hamamı

3.1 Yapının Konumu

Yapı Elazığ ili, Harput Mahallesi'nde bulunmaktadır. Belediye caddesinde İpekhane çarşısının arasında, Sarıhatun Camii'nin yanında bulunan Cimsit Bey Hamamı'nın taş kemerli olarak yapılan bu kapılardan biri İpekhane çarşısına bakarken, diğeri Belediye caddesine açılmaktadır [13]. Yapının ada, parsel sorgulaması yapılarak konumu Şekil 2' de görülmektedir.



Şekil 2. Cimsit Bey Hamamı konum [14].

3.2 Yapının Tarihi

Cimsit Bey Hamamı'nın tarihi hakkında pek fazla bilgi bulunmamaktadır. Hamamın tarihi hakkında bilgi alınabilecek inşa kitabesi bulunmamaktadır. Hamamla ilgili en erken tarihlili bilgiyi Evliya Çelebi vermektedir. 16. yüzyılda "Palu sancağını" veya kaynaklardaki ifadeleriyle "Palu Hükümetini" yöneten Cimsit Bey'in hamamı yaptırdığı kabul edilmektedir. 385 Numaralı, 1042-1043-1632/33, 1633/34 Harput Şer'iyye Sicilinde ve 386 Numaralı Harput Şer'iyye Sicilinde yapıdan

bahsedilmektedir. 17. yüzyılın ikinci yarısına ait 1077-1666/67 tarihli Harput Şer'iyeye Sicili kaydında Cimşit Bey Hamamı'nın 24.000 akçe karşılığında kiraya verildiği belirtilmekle birlikte hamamın bağlı olduğu vakıftan bahsedilmemekte, sadece hamamın icaresine (kira) ait bir belgenin mevcut olduğu belirtilmektedir. 1310-1892/93 tarihli Mamuratü'l-Aziz Salnamesinde, hamamın Palu beylerinden, Cimşit Bey tarafından yaptırıldığı ifade edilmektedir.

Hamamın soyunmalığındaki sekilerin altında ayakkabı koymaya mahsus nişlerin yapılması, Anadolu'da 15. yüzyıl sonları ile 16. yüzyıl başlarında Osmanlı hamamlarında görülen bir uygulamadır. Hamamın ismini aldığı Cimşit Bey, Palu'da 60 yıla yakın beylik etmiş 1568 yılında yaklaşık 120 yaş civarında vefat etmiştir. Bu bilgiler ışığında hamamın 16. yüzyılın ilk yarısında inşa edilmiş olabileceği düşünülmektedir [13].

1965 yılında Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından ilk onarımı yapılan Cimşit Bey Hamamı tarihi dokusu bozulmadan günümüze kadar varlığını sürdürmüştür.

3.3 Mimari Özellikleri

Planı dört eyvanlı şekilde olan Cimşit Bey Hamamı soyunmalık, soğukluk, sıcaklık bölümleri ile su deposu ve külhandan oluşmaktadır [13].

Soyunmalık, soğukluk, sıcaklık bölümleri yapının batısından başlayarak sıralanmıştır. Su deposu ve külhan sıcaklık bölümünün güneyinde yer almaktadır. Hamamın önünde bulunan yol, yapım ve tamiratlar sonrasında yükselmiş olup, soyunmalık bölümüne batı ve güney tarafında bulunan merdivenlerle inilerek girilebilmektedir [13]. Yapının giriş kapısı Şekil 3' te görülmektedir.



Şekil 3. Cimşit Bey Hamamı giriş kapısı [10].

Yapının güney cephesinin batısına kaydırılmış yuvarlak kemerli kapıdan girilen soyunmalık, 7,25 x 7,25 m. ölçülerinde kare biçimindedir. Kapı açıklıkları hariç soyunmalığın bütün cepheleri 0,50 m. yükseklikte, 1.20 m. genişlikte sekilerle çevrilmiştir. Bu sekilerin altına ise ayakkabıları koymak için belirli aralıklarla nişler yerleştirilmiştir. Son zamanlarda ise bu sekilerin üzerine ahşap soyunma kabinleri konulmuştur. Soyunmalığın üzeri köşelerde tromplara oturan kubbe ile örtülüdür. Kubbe doğu ve batı cephelerinde birer adet dikdörtgen pencere bulunan yüksek bir kasnağa oturmaktadır ve tam ortasında bir aydınlık feneri bulunmaktadır. Soyunmalığın zemini sal taşı ile kaplanmıştır ve tam orta aksında on iki gen şeklinde, ortasında çanak ve kaidesi olan fiskiyeli şadırvan yerleştirilmiştir [13].

Soyunmalık bölümünün doğu cephesinin ortasına açılan basık kemerli kapı ile soğukluk bölümüne geçilmektedir. Soğukluk bölümü dikdörtgen şeklindedir ve kuzey-güney yönüne doğru uzanmaktadır [13]. Soğukluk 9,90 x 9,84 m. ebatlarında tek kubbe üzerinde yanlarda yarım kubbeler ile üst örtüye sahiptir. Kubbenin tepe bitiş noktasında sekizgen bir fener yer almaktadır [15].

Dikdörtgen yapının uzun kenarlarına boydan boya iki sivri kemer atılarak soğukluk üç eşit mekâna bölünmüş durumdadır. Bu üç bölümden kuzeyde olanın üzeri kubbe ile örtülmüş, kubbeye geçiş pandantiflerle sağlanmıştır. Yakın zamana kadar usturalık olarak kullanılan bu bölüme soğukluğun kuzey batı köşesine açılan kapıdan girilmektedir ve kubbenin üzerinde bulunan altı adet yuvarlak ışık gözü ile bu kısım aydınlatılmaktadır. Diğer iki bölümün aydınlatılması ise soğukluk bölümünün üzerinin örtüldüğü tonozun sırtına açılan değişik ölçülerdeki beş adet ışık gözü ile sağlanmaktadır. Seki ve kurna bulunan bu bölümde yıkanmak mümkündür. Soğukluğun güneyinde önceleri tuvaletler bulunurken, tuvaletler daha sonra yıkılmış ve ortadan kalkmıştır [13].

Soğukluğun doğu cephesinin kuzey köşesine açılan basık kemerli kapıdan sıcaklık bölümüne girilmektedir. Sıcaklık bölümünün planı dört eyvanlı, köşe halvet hücreli şeklindedir. Merkezdeki bölümle halvet hücrelerinin üzeri kubbe, eyvanların üzeri ise hafif sivri beşik tonozla örtülmüştür. Merkezi kubbe halvet kapılarının biraz üzerinden başlayan üçgen bingiler üzerine oturtulmuştur. Sıcaklık bölümü, Şekil 4' te görüldüğü üzere, kubbenin tam tepesine açılan bir adet tepe penceresi ve kubbenin sırtına iki sıra halinde simetrik olarak açılan toplam 22 adet yuvarlak formlu ışık gözü ile aydınlatılmaktadır [13].



Şekil 4. Cimşit Bey Hamamı'nın doğal aydınlanmasını sağlayan ışık gözleri iç görünüm [16].

Merkezi kubbenin tam altında 0,50 m. yüksekliğinde, sekizgen formlu göbek taşı ile sıcaklığın zemininin tamamı ile duvarlarının 1.30 m.'ye kadar olan kısmı ve sekilerin üstü mermerle kaplanmıştır [13].

Giriş eyvanı dışındaki diğer üç eyvanın tümünde üç yönde yıkanma sekileri yer almaktadır. Her cephenin ortasına gelecek şekilde Şekil 5' de görüldüğü üzere bir adet kurna yerleştirilmiştir. Sıcaklığa girilen eyvanın sadece güney cephesi boyunca uzanan bir adet sekisi bulunmaktadır. Bu sekinin tam ortasına gelecek şekilde bir kurna bulunmaktadır. Hamamda bulunan kurnalardan hiçbirisi orijinal değildir ve kurnaların önünde ayna taşı da bulunmamaktadır. Sıcaklıkta bulunan bütün halvet hücrelerinin girişi basık kemerli köşe kapılarındadır. Kare şeklindeki halvet hücrelerinin hepsi ölçü olarak birbirinin aynısıdır ve tamamının üzeri kubbe ile örtülüdür. Kubbeye geçiş pandantiflerle sağlanmıştır.

Halvet hücrelerinin aydınlatması kubbenin sırtına açılan değişik ölçülerdeki altışar adet ışık gözleriyle sağlanmaktadır. Özel yıkanma bölümleri olan halvet hücrelerinin zemini düz bırakılmıştır ve burada seki ve kurna bulunmamaktadır [13].

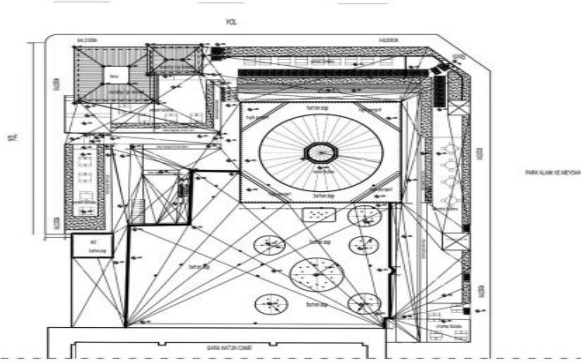


Şekil 5. Cimşit Bey Hamamı seki ve kurnalar [15].

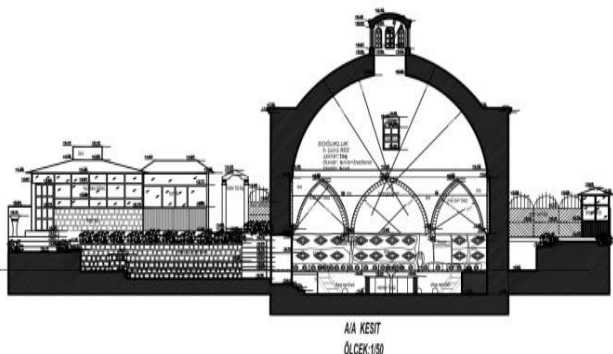
Sıcaklığın güneyindeki eyvanın, güney duvarı üzerine açılan 0,45 m. genişlikteki açıklıkla su deposu birbirine bağlanmıştır. Üzeri beşik tonoz ile örtülü olan su deposu, sıcaklık, soğukluk ve soyunmalığın bir kısmının cephesini içine alacak şekilde uzanmaktadır.

Külhan, su deposunun güney cephesi boyunca uzanmaktadır ve üzeri beşik tonoz ile örtülmüştür. Külhana giriş batı cephesinin ortasına açılan basık kemerli bir kapı ile sağlanmıştır. 3,54 x 8,66 m. ölçülerindeki külhan bölümünün kuzey cephesi ortasına gelecek şekilde 0,60 x 1,80 m. ölçülerinde üzeri sivri kemerle örtülü bir niş açılmıştır. Bu nişin kuzey duvarı ortasına gelecek şekilde düzenlenen 0,50 m. genişliğindeki açıklık katı yakıt maddelerinin atıldığı ocak ağızıdır [13].

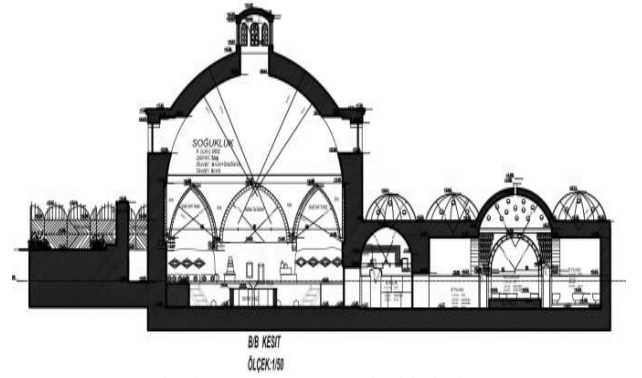
Aşağıda ki şekillerde Vakıflar Genel Müdürlüğü arşivinden elde edilen, yapının vaziyet planı ve kesitleri görülmektedir.



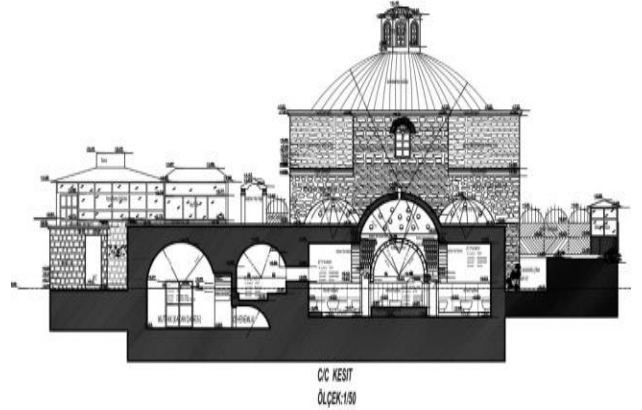
Şekil 6. Cimşit Bey Hamamı vaziyet planı ölçek: 1/100 [15].



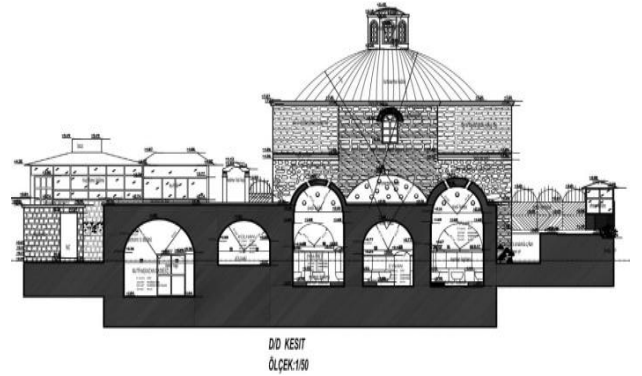
Şekil 7. Cimşit Bey Hamamı A-A kesiti ölçek: 1/50 [15].



Şekil 8. Cimşit Bey Hamamı B-B kesiti ölçek: 1/50 [15].



Şekil 9. Cimşit Bey Hamamı C-C kesiti ölçek: 1/5 [15].



Şekil 10. Cimşit Bey Hamamı D-D kesiti ölçek: 1/50 [15].

4 Cimşit Bey Hamam'ının Restorasyon Çalışması ve Yeniden İşlevlendirilmesi

Mülkiyeti Vakıflar Müdürlüğü'ne ait olan taşınmaz, Diyarbakır Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun 30.05.1985 tarih ve 1089 no.lu kararı ile Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür Varlığı olarak tescil edilmiştir [15]. Tescil fişi Şekil 11' de görülmektedir.

Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün izni ile 2003 yılında gerçekleştirilen revize restorasyonu çalışmaları esnasında çekilen fotoğraflar ve yazılı tutanaklar, Vakıflar Genel Müdürlüğü'nden izin alınarak elde edilmiştir. Mevcut restoran işletmesi 2003 yılında yapılan restorasyon sonrası Vakıflar Genel Müdürlüğü ile kira kontratı yaparak yapıyı kullanmaya devam etmiştir.

Vakıflar Genel Müdürlüğü 15.04.2003 tarih ve 272-257 sayılı rapor tutanağında yapının restorasyon çalışmalarına başlamadan önceki durumu aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Anıtsal Kültür Varlıkları:

AVRUPA KONSEYİ		DİĞAL VE KÜLTÜREL VARLIKLARI KORUMA ENKANTERİ (E.Ü.V.K.E.)		ANIT		ENVANTER NO:	
T Ö R K İ Y E		KÜLTÜR VARLIKLARI VE MÜZELER GENEL MÜDÜRLÜĞÜ		HARİTA NO: 191.		ANTİTAL	
İli	Elazığ	İlçe	Merkez	Mahalle/ Köy/ Meydan	Harput Mahallesi	ANTİTAL	1
SIRAK VE KAPY NO:		KADASTRO	Pafta 12/A	Ada	Parcel: 474	ROBAMA DERECEKİ	ANTİTAL
Adı		YAPITIRAN		YAPAN:		CEVRESSEL	1
Cimşit (Cimsit) Hamamı		Yapı Tanımı		KİTAPTE:		ÇEVREYE UYGUN	1
GENEL TANIM:		Sara Hatun Caminin batısında ve bitişliğinde yer almaktadır. Klasik Osmanlı hamamı tipindedir.		KİTAPTE:		YAKITTE:	
ROBAMA		İTİ	A	TASFIKCI	A	DEĞ	A
SÜRME:		GRFA	B	YAP	B	YAP	B
RÖTU:		C	C	C	C	C	C
BAKIMINDAN SORUMLU OLARAK GEREKEN KURULUŞ:		Yakular Genel Müdürlüğü		TEKNİK BİLGİLER		SU	ELEKTRİK
YAPILAN ONARIMLAR: 1965 yılında Yakular Genel Müdürlüğüce onarılmıştır.		BAKIMINDAN SORUMLU OLARAK GEREKEN KURULUŞ:		SİMA		KANALİZASYON	
AYRINTILI TANIM:		Klasik Osmanlı hamamı tipindedir. Sırtına yerli kare planlı olup dört kubbe ile örtülmüştür. Kubbeye açısı trapezoidal yapılmıştır. Sırtına kısmında arka tarafta, kenarlarında sırtına emelleri bulunur. Yüzüne kısırlı dört eyvan ve bitişlikler her birer kare planlıdır. Orta kısmı kare planlıdır.		ORJİNAL KULLANIM:		Hamam	
YAVIN DEZİNE:		Ferhan Memişoğlu - 1977 - Elazığ Kütüphanesi		ROZİTİON KULLANIMI:		Lokanta-Çay Bahçesi	
KARAR NO: A-3562		KARAR TARİHİ: 09.04.1982		HAZIRLAYANLAR:		Hamam	
KARAR NO: A-3562		KARAR TARİHİ: 09.04.1982		FERHAN MEMİŞOĞLU		Adnan ERKİTİ	
KARAR NO: A-3562		KARAR TARİHİ: 09.04.1982		İ. Hakan BEYELİ		SÜREK: GİZLİ	
KARAR NO: A-3562		KARAR TARİHİ: 09.04.1982		KARAR NO: A-3562		REVİZYON:	
KARAR NO: A-3562		KARAR TARİHİ: 09.04.1982		KURUL KARARLARI:		9. Temel KTYNK 30.05.1985 / 1989	
KARAR NO: A-3562		KARAR TARİHİ: 09.04.1982		RAPOR		BOLOVE PROJESİ	
KARAR NO: A-3562		KARAR TARİHİ: 09.04.1982		FOTOĞRAF		RESTORASYON PROJESİ	
KARAR NO: A-3562		KARAR TARİHİ: 09.04.1982		HARİTA		KİTAPTE	
KARAR NO: A-3562		KARAR TARİHİ: 09.04.1982		KİTAPTE		YAKITTE	

Şekil 11. Cimşit Bey Hamamı tescil fişi [15].

“Yapı uzun süre bakımsız kalmasından, camların kırılıp, çörtlenlerin tahrip olmasından ve yoğun kış şartlarından içeriye su almış kubbelerden, camlardan ve çatlaklardan sızan su ve nemle oldukça tahrip olmuştur. Oldukça tahrip olmuş olan yapının doğusundaki Külhan kısmının, güneyde yıkık olan pencere duvarı yapıya uygun olarak tamir edilerek cam takılması, tavandan içeriye sızan suların çatlaklarının bulunup silikon veya harçla kapatılması, aynı işlemin kubbelerdeki çatlaklarda da yapıлып içeriye su almalarının önlenmesi gereklidir. Soğukluk bölümünde üst kubbe yapısı içeriye su aldığı için nemden sıvaları patlayıp dökülmüş, batıda ve kubbeye yer alan pencerelerin camları kırılmıştır. Bunların temizlenerek yapıya uygun camların takılması ve su sızıntılarının önlenerek içerisinin tekrar sıvanarak kullanılabilir hale getirilmesi, hamamın sıcaklık bölümünde de aynı sorunlar gözlemlenmekte olduğundan bu bölümde de yapıya uygun onarımların yapılması gereklidir. Hamamın bahçesinde batıda yer alan betonarme kulübenin kaldırılarak yerine bahçede herhangi bir değişiklik yapılmadan ahşaptan sökülüp takılabilen bir servis kulübesinin yapılması da ihtiyaçtır. Yapının dıştaki çörtlenler ve saçakları oldukça tahrip olduğu için bu kısımların ve suyun aktığı alt kısımdaki tretuar kısmındaki patlayarak dökülmüş ve çatlamış kısımların da tekrar onarılması yapının su ve nem almaması için gerekmektedir” [15].

Yukarıda belirtilen hususlar doğrultusunda Harput Mahallesi’ndeki Cimşit Bey Hamamı’nın özgün dokusunun korunarak revize restorasyonu için Diyarbakır Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulundan izin alınarak onarıma başlanmıştır.

Yapının bahçe sınırları demir korkulukla çevrilidir. Ayrıca demir korkuluklar üzerinde birçok reklam tabelaları bulunmaktadır. Kuzey cephesine bakan kısımda betonarme kulübe bulunmaktadır. Yapılan restorasyon

çalışması ile bu betonarme kulübe kaldırılmış ve demir korkuluklar üzerinde bulunan reklam tabelaları temizlenmiştir. Yapının dış görüntüsü Şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 12. Cimşit Bey Hamamı restorasyon sonrası dış görünüş [16].

Yapının dış cephe duvarlarının az hasarlı olmasından dolayı restorasyon sırasında fazla müdahale edilmemiştir. Nem ve rutubetten dolayı dökülen bazı kısımdaki sıvalar onarılmış ve saçaklar tamir edilmiştir. Tamir edilmiş güney cephenin görüntüsü, Şekil 13’de görülmektedir.



Şekil 13. Cimşit Bey Hamamı restorasyon sonrası güney cephe görünümü [16].

Sıcaklık bölümüne ait kubbelerin yüzeyinde bulunan çatlaklar giderilmiş ve boyası yapılmıştır. Ayrıca ortadaki kubbenin tepesine görüntüyü bozmayacak şekilde Şekil 14’te görüldüğü üzere, baca eklenmiştir.



Şekil 14. Cimşit Bey hamamı restorasyon sonrası kubbe görünümü [16].

Yapılan onarım sonrası yapının büyük kubbeli soyunmalık bölümünün üzerinde bulunan ışıklık (aydınlatma) bölümünde dıştan saçaklar ve pencereler yenilenmiş, pencere kenarları sıva ile çerçeve içerisine alınıp üzerine hem üstte, hem aralarda baklava dilimi kabartmalar eklenmiştir. Ana kubbedeki çatlaklar kapatılıp saçaklar kırmızı renkli tuğla ile yenilenmiştir. Şekil 15’te soyunmalık bölümünün üst kısmında bulunan ışıklık görülmektedir.



Şekil 15. Cimsit Bey Hammamı restorasyon sonrası ışıklık görünümü [16].

Yapının soyunmalık bölümü temizlenmiş ve badana yapılmıştır. Fakat kubbede orijinal yapıda olmayan kalem işi süsleme yapıp tüm kubbe ve pencere kenarları bu bitkisel süslemelerle tanzim edilmiştir. Pencere kenarlarına ‘‘S’’, kemer aralıklarına terazi ve kitap motifi süslü bir madalyon içerisinde işlenmiştir. Kemerlerin belli kısımları da kahverengi boya ile belirginleştirilmiştir.

Hamamın soyunmalık kısmının ortasında bulunan şadırvanın işlevselliği yitirilmiş ve içerisine kömür sobası yerleştirilmiştir. Mekanın ısıtılması bu soba ile sağlanmaktadır. Şadırvan etrafına ve yerden 0.70 m. yüksekliğindeki seki kısımlarına masa ve sandalyeler konularak müşterilerin yemek yemelerine olanak sağlanmıştır. Şekil 16’ da, restorasyon sonrası soyunmalık alanında bulunan şadırvan görülmektedir.



Şekil 16. Cimsit Bey Hammamı restorasyon sonrası şadırvan görünümü [16].

Yapının sıcaklık ve halvet bölümü de Şekil 17’ de görüldüğü üzere, soyunmalık bölümü gibi temizlenmiş ve badana yapılmıştır. Kemer kısımları ve sütunların üzerinde kaplı olan doğal taşlar sıva kalıntılarında temizlenmiştir. Duvar ve zeminde kaplı olan mermerlerin tadilatları yapılmış ve onarılmıştır. Orta kısımda bulunan göbek taşının üzerindeki mermer kaplama daha sağlamlaştırılarak onarımı yapılmıştır.



Şekil 17. Cimsit Bey Hammamı restorasyon sonrası sıcaklık görünümü [16].

4.1 Cimsit Bey Hammamı'nın Yeniden İşlevlendirilmesi

Cimsit Bey Hammamı Sarahatun Camii ile birlikte toplamda 1922 m² alana sahip bir alan içerisinde bulunmaktadır. Toplam metrekaareye bahçe alanı dahil değildir. Cimsit Bey hamamının 2003 yılında yeniden işlevlendirilmesi ile Ensar Mangal Vadisi adı altında bir restoran faaliyete girmiştir. İşletme hamam bölgesinde 500 m² bahçe alanında ve 200 m² kapalı alanda olmak üzere toplam 700 m²'yi kaplamaktadır.

Yeniden işlevlendirme ile restoran haline getirilen Cimsit Bey Hammamı'nda tarihi dokulara kesinlikle zarar verilmemekte ve genel olarak bahçe kısmında tarihi dokuya dokunmadan işletme faaliyetini yürütmektedir. Hamamın tarihi dokusunda iki giriş bulunurken yeniden işlevlendirme neticesinde her iki kapı da kullanılmaktadır. Şekil 18’de yapının kuzey cephesine bakan bahçe kapısı görülmektedir.



Şekil 18. Cimsit Bey Hammamı kuzey bahçe girişi [15].

Kapalı alanda, Şekil 19’da görüldüğü üzere, restoran tarafından sadece hamamın giriş (soyunmalık) kısmı kullanılmış olup, sıcaklık, ılıklik ve külhan bölümlerinde restoran faaliyet göstermemektedir.



Şekil 19. Cimsit Bey Hammamı restorasyon sonrası soyunmalık görünümü [16].

Yaz aylarında faaliyet çoğunlukla bahçe alanında, kış aylarında ise bahçe kısmı kapatılarak yalnızca kapalı mekânda sağlanmaktadır. Bahçe kısmının batı ve kuzey cephesi işletme tarafından kullanılmaktadır. Şekil 20' de bahçenin batı cephesinde kullanılan alan görülmektedir. Bu alanın bir kısmının üzeri güneş ve yağmurdan korunmak amaçlı germe membran ile kapatılmıştır. Germe membran kullanılması yapının mimari dokusuna zarar vermemek adına sağlıklı olmuştur. Masa, sandalyeler yapının duvar kısmında ve karşı tarafında yer almaktadır.



Şekil 20. Cimsit Bey hamamı bahçe görünümü batı cephesi [14].

Yapının güney bahçe kısmına iki ayrı kapalı alan inşa edilmiştir. Kış aylarında müşterilerin ağırlandığı ve yemeklerin hazırlandığı mutfak kısmı bu alanlarda bulunmaktadır. Şekil 21' de görülen mekânda tavan kaplaması olarak lambiri, zemin döşemesi olarak ise kahverengi seramik kullanılmıştır. Şekil 22' de görülen mekânda ise yine tavanlarda lambiri kullanılmıştır, fakat zemin döşemesi olarak ahşap parke tercih edilmiştir. Mekânın aydınlatması tavandan ipe sarkıtılmış ahşap kaplamalı aydınlatma elemanları ile yapılmıştır. Her iki mekânın cephelerinde açılabilir cam balkon kullanılmış ve iç kısmın daha ferah ve aydınlık olması sağlanmıştır. Ayrıca yaz aylarında cam balkonlar açılarak müşterilerin serin bir şekilde dinlenmelerine ve yemek yemelerine olanak sağlanmıştır. Isıtma sistemi olarak kömür sobaları kullanılmaktadır. Ahşap masa ve sandalyeler tercih edilmiştir.



Şekil 21. Cimsit Bey Hamamı güney cephesi kapalı alan [16].



Şekil 22. Cimsit Bey Hamamı güney cephesi kapalı alan [16].

4.2 Bulgular

Mekân performansına dayalı olarak sosyal, kültürel, ekonomik, mimari ve çevresel açıdan işlevin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmek gerekirse aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca Tablo 2'de çıkan sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.





4.2.1 Yapıya Yüklenen Yeni İşlevin Avantajları

- İşlevini yitirmiş hamam yapısının atıl kalmaması ve gelecek nesillere aktarılması bakımından yerinde bir uygulama olmuştur.
- Yapının etrafındaki doğal çevre, organik yapısını muhafaza etmiş ve çevrede yarattığı etki bozulmamıştır.
- Yapının yeniden işlevlendirme sonucu işlevselliğini kaybetmemesi ve kullanılabilir durumda olması, etrafında bulunan diğer tarihi yapılar ile aralarında ziyaretçi sirkülasyonu bulunması sebebiyle çevresindeki tarihi yapılara da katkı sağlamıştır.
- Yeniden işlevlendirme sonucu restoran olarak kullanılan yapı, tarihi bölgeye ziyaret amaçlı gelen turist ve yerel halkın yeme-içme, dinlenme gibi gereksinimlerini karşılamaktadır.
- Yeniden işlevlendirme sonucu restoran olarak kullanılan tarihi yapı, bölgede yaşayan yerel halk için istihdam kaynağı oluşturmaktadır.

4.2.2 Yapıya Yüklenen Yeni İşlevin Dezavantajları

- Tarihi yapının yalnızca soyunmalık kısmının restoran olarak kullanılması ve geri kalan (ılıkılık, sıcaklık ve halvet gibi) kısımlarının kullanılmaması yeniden işlevlendirme ilkelerini tam olarak karşılamamaktadır.
- Yapının bahçe kısmına yapılan prefabrik yapıda kullanılan malzemeler ve tercih edilen donatılar, tarihi Cimsit Bey Hamamı'nın tarihi dokusuyla örtüşmemektedir.

Tablo 1. Cimsit Bey Hamamı'nın tasarım, yapı malzeme ve sistemleri tablosu [17]

Yapı Adı: Cimsit Bey Hamamı		İl/İlçe/Mahalle: Elazığ/Merkez/Harput		Özgün İşlev: Hamam	
		Özgün Hali	Yeniden İşlevlendirilmiş Hali		
Tasarım	Mekân Özellikleri	1965 yılına ait restorasyon bilgileri yoktur. 2000 yılına ait revize restorasyon bilgileri mevcuttur. Soyunmalık, ılıklik, sıcaklık, halvet ve külhan bölümlerinden oluşmaktadır. Bahçe alanı mevcuttur.	İşlevlendirme bilgileri Vakıflar Genel Müdürlüğünde vardır. Plan, kesit ve görünüş çizimleri vardır. Yapıya yapılan müdahaleler ile ilgili raporlar mevcuttur. Yapının plan özelliklerine herhangi bir müdahale yapılmamıştır.		
	Biçimsel Özellik	Dikdörtgen planlı yapıdır. Tek katlıdır. İlave yapı yoktur.	Dikdörtgen planlı yapıdır. Tek katlıdır. İlave yapı bahçe kısmında vardır. İlave yapı tarihi yapıdan bağımsızdır.		
Yapı Sistemleri ve Malzemeleri	Yapı Sistemleri	Vakıflar Genel Müdürlüğü raporlarına göre dış cephenin bazı kısımlarında nem ve rutubetten dolayı sıva dökülmeleri vardır.		Revize restorasyonu ile dış duvarlarda bulunan nem ve rutubetten dolayı oluşmuş hasarlar onarılmıştır.	
	Yapı Malzemeleri	Vakıflar Genel Müdürlüğü raporlarında yapı ile ilgili malzemeler fotoğraflandırılmış ve yazıya dökülmüştür.	İç Mekânda duvarlar ve tavan sıva üstü boya yapılmıştır. Sıcaklık kısmının zemin ve duvarları mermer kaplama ile kaplanmıştır. Dış cephede ise duvarlarda oluşan hasarlar onarılmıştır. Hasar gören pencereler ve camlar değiştirilmiştir.		
Çevre	Yapının Yakın Çevresi	Yapının çevresi trafiğe açık durumdadır ve zeminde asfalt malzeme kullanılmıştır.		İşlevlendirme sonrası yapının çevresi trafiğe kapatılmış ve zemine parke taşı döşenmiştir.	
Yapıya Yeni Ek	İlave Birim (Açık Alan)	İşlevlendirme öncesi yapıda ve bahçe kısmında ek yapı yoktur.	İşlevlendirme sonrası bahçe kısmına ek yapı yapılmıştır.		

Tablo 2. Cimsit Bey Hamamı çok yönlü değerlendirme tablosu

	Olumlu Yönler	Olumsuz Yönler
Çevresel Açıdan	*Harput'un tarihi konumundan dolayı turistik bir konumdur. * Etrafındaki doğal çevre, organik yapısını muhafaza ettiğinden ötürü çevrede yarattığı etki bozulmamıştır. * Çevresindeki tarihi yapılara katkı sağlamıştır.	*Yeniden işlevlendirmenin çevresel açıdan herhangi bir olumsuz yönü tespit edilmemiştir.
Sosyal Açıdan	*Yeniden işlevlendirilen tarihi yapılar her açıdan yöre halkına maddi ve manevi katkı sağlamaktadır. *Yeniden işlevlendirilen yapılar insanların sosyalleşmesine katkı sağlayarak bölgenin canlanmasına katkıda bulunurlar.	*Yeniden işlevlendirmenin sosyal açıdan herhangi bir olumsuz yönü tespit edilmemiştir.
Mimari Açıdan	*Yapının plan şemasına herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır. *Yapıya zarar vermeden hasar gören kısımlar onarılmıştır. * Bahçe kısmına yapılan ek yapı, tarihi yapıdan bağımsız inşa edilmiştir.	*Yapının dış cephesine ahşap destekler ve soba borularının monte edilmesi, tarihi yapının dokusuna zarar vermektedir.
Ekonomik Açıdan	*Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne kira ödeyen işletmenin devlete katkısı bulunmaktadır. *Yöre halkı için istihdam oluşturmaktadır. *Tarihi yapı etrafında bulunan ticari işletmeler bölgeye ziyaret amaçlı gelen ziyaretçiler tarafından maddi kazanç elde etmektedirler.	*Yeniden işlevlendirmenin ekonomik açıdan herhangi bir olumsuz yönü tespit edilmemiştir.
Kültürel Açıdan	*Tarihi Cimsit Bey Hamamı'nın restore edilerek yeniden işlevlendirilmesi, tarihimizin ve kültürümüzün gelecek nesillere aktarılması bakımından önem arz etmektedir.	*Yapının sadece soyunmalık kısmı işlevlendirilmiş ve diğer kısımları atıl bırakılmıştır. *Kısmi işlev verilmesi, işlevlendirme ilkelerini karşılamamaktadır.
Estetik ve Görsel Açıdan	*İç mekânda restorasyon çalışması sonucu hasar gören kısımların onarılması ve boya yapılması görsel açıdan olumludur. *Dış mekânda tarihi yapının aslına uygun restorasyon çalışması yapılması estetik ve görsel açıdan olumludur.	*Yeniden işlevlendirilerek restoran olarak kullanılan soyunmalık bölümü estetik ve görsel açıdan yetersizdir. Mekânda kullanılan malzemeler yapının tarihini yansıtmamaktadır. *Bahçe kısmına yapılan prefabrik yapı estetik ve görsel açıdan yetersizdir.

5 Sonuç

Hamamlar tarih boyunca insanların temizlik gereksinimleri nedeniyle birçok kültürde önemli yer tutmuştur. Bu yapılar yalnızca temizlik ihtiyacını karşılamak amaçlı değil aynı zamanda sosyal amaçlı kullanımlar için de inşa edilmiştir. Özellikle Osmanlı Dönemi'nde hamamlar sohbet ve eğlence mekânları olarak kullanılmışlardır.

Yeniden işlevlendirme sonucu restoran olarak kullanılan Cimsit Bey Hamamı'nın, restorasyon tekniklerine uygun bir şekilde tasarlanıp tasarlanmadığı sorgulanarak, yapının iç mekân işlevselliği ve fiziksel problemlerin tespiti amaçlanmıştır.

Geçmişte maddi amaç ile inşa edilen birçok hamam yapısı ilginin azalması sonucu kaderine terk edilmiştir. Bir kısmı zarar görüp tamamen yok olmuş, bir kısmı ise restorasyon ve yeniden işlevlendirme ile günümüze kadar

ulaşmıştır. Bu bağlamda yeniden işlevlendirme metodunun tarihi yapıya zarar vermeden doğru bir biçimde uygulandığında, tarihi yapıları koruduğu ve gelecek nesillere aktarılması konusunda katkısı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada restore edilip yeniden işlevlendirilen Cimşit Bey Hamamı'nın işlevlendirme sonrası zarar görüp görmediği, gelecek nesillere aktarılması açısından avantajları, ayrıca bölgeye sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan sağladığı katkılar değerlendirilmiştir.

Cimşit Bey Hamamı'na bakıldığında bölgede bulunan diğer hamamlara göre insan tahribatının önüne geçildiği düşünülmektedir. Tarihi bütünlüğünü koruyarak günümüze kadar ulaştığı görülmüştür. Kısmi yapılan yeniden işlevlendirme sonrası hamam kısmının sadece soyunmalık kısmı restoran tarafından kullanılmakta olup; ılıkılık, sıcaklık ve halvet gibi diğer kısımlar kullanılmamaktadır. Ancak kullanılmayan kısımlar, restorasyon çalışması yapılarak, misafirlerin ve müşterilerin ziyaretine açık bulunmaktadır. Yapının kullanılmayan kısımlarının Harput'un ve tarihi Cimşit Bey Hamamı'nın tarihini yansıtan eserlerin ve kalıntıların sergilendiği bir müzeye çevrilmesinin daha yerinde olacağı ve bölgeye ziyaret amaçlı gelen turistlerin daha fazla ilgisini çekeceği düşünülmektedir.

Tarihi Cimşit Bey Hamamı yeniden işlevlendirme yöntemiyle restoran işletmesi olarak, günümüzde bölge halkına ve bölgedeki turistlere hizmet etmektedir. İşletme yaz aylarında yoğun bir şekilde yapının bahçe kısmını kullanmaktadır. Kış aylarında ise kısmi olarak tarihi yapıyı ve bahçenin bir kısmında ek yapılmış olan prefabrik yapı kullanılmaktadır. Sonradan yapılan bu prefabrik yapının Cimşit Bey Hamamı'nın tarihi dokusunu yansıtmadığı ve bununla beraber bahçe kısmında geniş alanların kaybolmasına sebebiyet verdiği görülmüştür. İlave olan bu yapı daha küçük hacimde inşa edilmiştir fakat dış cephe, zemin, tavan vb. kısımlarda tarihi yapıya uyumlu olacak şekilde malzeme seçimi yapılmış olsaydı şu anki durumuna kıyasla daha yerinde uygulanmış kararlar olabilirdi. Ayrıca restoran tarafından kullanılan reklam tabelaları da tarihi yapıya uygun değildir.

Daha doğal ve görsel açıdan tarihin izlerini yansıtan tabelalar kullanmak yerinde olurdu. Tarihi yapının dış cephesi ve bahçe kısmının aydınlatması yetersiz olup, tarihin izlerini ön plana çıkaracak yapay aydınlatma yapılması gereklidir.

Harput'ta yaşayan yerli halkın birçoğunun geçim kaynağı bölgeye gelen ziyaretçiler ve turistlerdir. Toplumsal ve çevresel açıdan değerlendirilecek olunursa, bölgeyi pek çok turistin ve özellikle yerel halkın yoğun ziyaret ettiği Harput'ta yeme ve içme gereksiniminin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bu yüzden hizmet sektörü çok gelişmiştir ve birçok yapı yeniden işlevlendirilerek özellikle restoran olarak, bunun dışında kafe ve otel gibi ticari amaçlarla kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, geçmiş dönemlerden günümüze ulaşan tarihi yapıların bir takım sebepler ile işlevini yitirmesi ve ihtiyaçlar doğrultusunda yeniden işlevlendirilerek, farklı amaçlarla da olsa kullanılabilir hale getirilmesi, yapının gelecek nesillere aktarılması açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda tarihi Cimşit Bey Hamamı'nın yeniden işlevlendirilmesi değerlendirildiğinde; tam

anlamıyla yeniden işlevlendirme ilkelerine uygun olarak işlevlendirildiği söylenemese de bölgenin kalkınmasına sağlamış olduğu katkılar göz ardı edilemez.

Açıklamalar

Bu çalışma Dr. Öğr. Üyesi Neslihan YILDIZ danışmanlığında, birinci yazarın "Harput Cimşit Bey Hamamı'nın Yeniden İşlevlendirme Ölçütleri Bağlamında Değerlendirilmesi", (Tangülü, K.) Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2021 künyeli tezinden üretilmiştir.

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Yegül, F. (2011). Roma Dünyasında Yıkınma, *Koç Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, s. 265.
- [2] Bozok, D. (2006). Türk Hamam ve Geleneklerinin Turizmde Uygulanışı. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(13), 62-86.
- [3] Zeren, M. (2010). Tarihi Çevrede Yeni Ek ve Yeni Yapı Olgusu, *Yalın Yayıncılık*.
- [4] Ahunbay, Z. (2004). Tarihi Çevre Koruma Ve Restorasyon. İstanbul: *Yapı Endüstri Merkezi Yayınları*.
- [5] Venedik Tüzüğü. (1964). Madde 3.
- [6] Yılmaz, B. (2006). *Avrupa Birliği'ne Üye Bazı Ülkelerdeki Kültür Varlıklarını Koruma Yaklaşımı, Örgütlenme Ve Türkiye*. (Master's dissertation, İzmir Dokuz Eylül University).
- [7] Ahunbay, Z. (2011). "Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon", *Yapı Endüstri Merkezi Yayınları*, İstanbul.
- [8] Altınoluk, Ü. (1998). Binaların Yeniden Kullanımı. İstanbul: *Yapı Endüstri Merkezi Yayınları*.
- [9] Tapan, M. (2007). Soru ve Cevaplarla Koruma, *TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi Yayını*, İstanbul.
- [10] Özgüven, S. (1994). *Tarih-Kültür Varlıkları, Eski Yapıların Korunması, Yeniden Kullanımı ve Turizm Açısından Önemi, Özgün Bir Örnek Soğukçeşme Sokağı ve Evleri*. (Master's dissertation, İstanbul Technical University).
- [11] Veliöğlu, A. (1992). *Tarihi Çevre İçinde Mimari Tasarım Ve Süreci Üzerine Bir Araştırma*. (Doctoral dissertation, Karadeniz Technical University).
- [12] Aksoy, E. (1987). Mimarlıkta Tasarlama, *Hatiboğlu Yayınevi*, Ankara.
- [13] Arslan, C. (2003). *Elazığ'daki Türk Devri Yapıları*. (Doctoral dissertation, Selçuk University).
- [14] Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü. (2021). Retrieved January 5, 2021 from <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/>
- [15] Vakıflar Genel Müdürlüğü. (2020). Retrieved January 4, 2021, from <https://www.vgm.gov.tr/>
- [16] Tangülü, K. (2021). *Harput Cimşit Bey Hamamı'nın Yeniden İşlevlendirme Ölçütleri Bağlamında Değerlendirilmesi*. (Master's dissertation, Maltepe University).
- [17] Güney, E. A. (2020). *Bakırköy Baruthanesi ve İspirohanesi'nin Yeniden İşlevlendirme Açısından Karşılaştırmalı Analizi* (Master's dissertation, Bahçeşehir University).
- [18] Mazlum, F. (2018). *Türk Hamamında Yeniden İşlevlendirme* (Master's dissertation, Selçuk University).



PREDICTION OF BLAST-INDUCED GROUND VIBRATION WITH ANN AND PREDICTION PERFORMANCE

Serdar Ercins*¹ 

¹Sivas Cumhuriyet University, Sivas Technical Sciences Vocational School, Mining Dept., Sivas-Turkey

Abstract

Original scientific paper

In this study, ground vibrations caused by blasting applications in a quarry were recorded and these values were evaluated and estimated by using an artificial neural network (ANN) model. Of the 28 vibration data measured, 20 were used for ANN training, 4 for validation and the remaining 4 for testing. In the model, peak particle velocity (PPV) was used as the output parameter, and the maximum explosive amount per delay and scaled distance were used as input parameters. In addition, MAPE, RMSE and R^2 performance criteria were calculated from the realized, predicted by ANN and PPV values obtained from the field equation. The maximum amount of explosives used per delay and the sensitivity analysis of the scaled distance on the highest particle velocity were also determined. As a result, when the vibration data calculated from the field equation and estimated from the ANN model were compared with the realized vibration data, it was seen that the values obtained by the ANN model had a higher correlation.

Keywords: Artificial neural network, vibration, blasting, quarry, sensitivity analysis, MAPE, RMSE, R^2 .

PATLAMA KAYNAKLI YER TİTREŞİMİNİN YSA İLE TAHMİNİ VE TAHMİN PERFORMANSI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada bir taş ocağında gerçekleştirilen patlatma uygulamalarından kaynaklanan yer titreşimleri kaydedilmiş ve bu değerler yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılarak değerlendirilmiş ve tahmin edilmiştir. Ölçümü alınan 28 titreşim verisinin 20 tanesi YSA'nın eğitimi, 4'ü doğrulama ve geriye kalan 4'ü de test için kullanılmıştır. Modelde çıktı parametresi olarak PPV, girdi parametresi olarak ise gecikme başına en fazla patlayıcı miktarı ve ölçekli mesafe kullanılmıştır. Ayrıca MAPE, RMSE ve R^2 performans kriterleri, gerçekleşen, YSA ile tahmin edilen ve saha denkleminde elde edilen PPV değerlerinden hesaplanmıştır. Gecikme başına kullanılan en fazla patlayıcı madde miktarı ve ölçekli mesafenin, en yüksek parçacık hızı üzerindeki duyarlılık analizi de belirlenmiştir. Sonuçta, saha denkleminde hesaplanan ve YSA modelinden tahmin edilen titreşim verileri, gerçekleşen titreşim verileri ile karşılaştırıldığında, YSA modeli ile elde edilen değerlerin daha yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağı, titreşim, patlatma, taş ocağı, duyarlılık analizi, MAPE, RMSE, R^2 .

1 Introduction

The further development of both explosives and ignition systems has led to significant advances in the mining and construction sectors. Blasting operations are one of the most important and economical procedures at the beginning of the methods applied especially in mines and quarries. However, blasting applications have some negative effects such as vibration and air shock. Feeling the earthquake-like effects from long distances causes psychological disturbances on humans and animals and some environmental problems. For this reason, measuring the vibration level continuously and being able to predict it using these data is very important in evaluating the design of blasting operations. Ground vibrations that

occur during blasting are dependent on controllable parameters such as hole diameter, hole length, charge per delay, total charge, stemming, slice thickness, distance between holes, and uncontrollable parameters such as rock properties, environmental and geological conditions. Ground vibration is measured in mm / sec or inch / sec and is defined by peak particle velocity (PPV), which is the highest velocity at which a particle moves through the ground relative to its initial stationary state.

Since the number of parameters affecting ground vibration is high, estimating the PPV value with artificial neural network (ANN) is now frequently applied instead of experimental methods in pre-determination. ANN is considered as one of the smart tools in complex structured calculations. ANN learns and is trained from examples

* Corresponding author.

E-mail address: sercins@cumhuriyet.edu.tr (S. Ercins)

Received 03 August 2021; Received in revised form 17 October 2021; Accepted 10 December 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.978343>

previously taught, described. The appropriately trained network can be used to predict or decide on known instances of a problem and subsequent events about it. However, the network has no ability to explain how it makes these decisions.

Some of the studies carried out using neural networks are given below.

Özyurt has developed a model that determines the most suitable production method for a mineral deposit [1].

Khandelwal and Singh estimated the excessive air pressure based on distance and sound pressure level using the artificial neural network. They compared their findings with the USBM and MVRA equations. As a result, they found better results with ANN compared to USBM and MVRA predictive values [2].

Liu modeled the change in methane concentration [3].

Özer et al. modeled the blasting and environmental outcomes [4].

Tawadrous used ANN for blasting design and achieved very good results [5].

Khandelwal and Singh estimated the PPV by taking into account the measurement distance and the amount of explosive per delay with ANN. They compared their findings with commonly used vibration estimation equations. They found that ANN estimation obtained much more effective results compared to vibration prediction equations [6].

Khandelwal and Singh conducted studies on blast vibration and frequency by using blast design and parameters in ANN. He compared his results with multivariate regression analysis [7].

Mohamed developed and successfully implemented an ANN model for the prediction and control of blast vibration in the limestone quarry [8].

In this study, the highest particle velocities resulting from blasting applications in a quarry were recorded and an ANN model was created with these values. The estimated values obtained from ANN and the realized velocity values were compared. In addition, in determining the performance of the network, the results obtained from mean absolute percentage error (MAPE), root mean square error (RMSE) and R^2 performance criteria were interpreted.

2 Artificial Neural Networks

With the development of technology and computer infrastructure, the usability of numerical methods in solving complex problems has increased.

Thanks to the partnership of numerical methods with computers and increased computing power, a solution is reached without the need for assumptions and time-consuming techniques [9].

Artificial neural network is a branch of artificial intelligence that can make decisions based on sample data, including expert systems and genetic algorithms. Information society has taken the place of the industrial society, especially with the artificial intelligence studies that gained momentum thanks to ANN [10]. ANN is an information processing system that imitates the structure and functions of our brain. ANN is a structure consisting of many neurons that can make many joints connected to each other in data processing. In the training of the neural

network, a large number of input data is introduced to the network and the most appropriate output is processed according to the structure of the problem. It can recognize similarities when a new input data is presented to the neural network that predicts the most appropriate training and output model. [11].

2.1 Artificial Neural Network Model

ANN needs to be trained before making predictions about examples. A number of algorithms are available to perform this training. The most versatile and reliable one of these algorithms is the back propagation algorithm, which is also used in the solution of prediction problems. This algorithm provides a highly efficient learning procedure for neurons and thus error minimization is achieved [12].

Optimizing the weights with the back propagation of error information obtained from each new sequential process to the next sequential process is the main reason for the success of the algorithms. The most important backpropagation algorithms are Levenberg Marquadt (LM), Scaled Conjugate Reduction (SCG) and Bayes (BR) algorithms [13], [14].

In this study, Levenberg Marquadt backpropagation algorithm was run with Matlab program licensed at our university. The LM algorithm in the form of the sum of error squares has been developed specifically to work with loss functions. Here, the loss functions indicate the difference between the estimated values made by the model and the realized values. It is desirable that this difference is close to zero.

The back propagation algorithm in ANN consists of at least three layers as input layer, hidden layer and output layer. Each layer is made up of a series of basic processing units called neurons. Neurons in the input layer send their output as input to the neurons in the hidden layer. Neurons in the input layer send their output as input to neurons in the hidden layer. The connection between the hidden layer and the output layer is similar to this. Depending on the type of problem, the number of neurons in the hidden layer changes. The number of input and output neurons is the same as the number of input and output variables [11].

3 Material and Method

3.1 Highest Particle Velocity Prediction

The highest PPV, which is an important indicator in determining the damage caused by blasting applications; depends on scale distance, maximum amount of explosives used per delay, rock and environmental characteristics. There are many experimental approaches to estimating the highest particle velocity. Equation-1, which is the most accepted, used and developed to estimate the highest particle velocity depending on the scaled distance in the literature, is as follows [15].

$$PPV = k * (SD)^{-\beta} \quad (1)$$

PPV: Peak particle velocity (mm / sec)
k: Ground transmission constant
SD: Scaled distance (m)

β : The damping coefficient of the rock (Geological constant)

The scaled distance is a value that takes into account the distance between the blasting zone and the measurement point and the highest amount of explosive used per delay and is calculated with Equation-2 [16].

$$SD = R / W^{0.5} \tag{2}$$

SD: Scaled distance

R: Distance between blasting zone and measurement point (m)

W: Maximum amount of explosives used per delay (kg)

The distance between the blasting area and the point where the vibration measuring device is installed was measured and the scaled distance was determined using Equation 2. The average measurement distance of all explosions was determined as 267 meters.

3.2 Geology of the Study Area and Blasting Data

Crushed stone (limestone) is produced in the enterprise located near Kayapınar Village in Ulaş District of Sivas Province.

It is represented by gray, blackish colored, medium-thick bedded limestone in the Tecer Mountain region. Its thickness is variable and it looks like a level without lateral continuity. This limestone, which unconformably deposited on the ophiolite mixture, gained its present position as a result of the second transfer of ophiolites in the Eocene. The age range of Upper Maastrichtian - Thanetian has been given to the unit. [17].

Information on 28 blasting applications measured and PPV values determined by vibration measuring device are given in Table 1.

Table 1. Information on blasting applications

W	SD	PPV
52	37,17	5,691
45	40,40	4,303
52	37,03	5,107
48	38,39	4,991
50	38,33	4,994
42	42,74	3,191
45	35,93	4,587
40	43,17	3,712
45	37,86	3,218
60	27,24	4,012
50	40,31	3,413
48	41,14	3,421
60	29,31	8,000
53	34,75	3,697
40	40,79	3,925
43	51,55	3,182
48	44,46	3,318
48	61,02	2,365
51	46,02	2,925
50	28,33	6,118
40	47,65	2,718
35	55,62	2,108
38	45,08	3,081
48	36,03	4,459
52	28,22	5,877
48	31,12	4,887
45	28,74	5,504
45	29,35	6,411

Regression analysis was performed for the study area by using the data in Table 1. The recommended field constant value to be used in particle velocity estimation for blasting applications to be carried out in the field was determined as $R^2 = 0.71$. This value can be used to estimate the PPV value according to the scaled distance when the vibration measuring device is not used in blasting applications in the field.

3.3 Network Structure Developed for PPV Prediction

In this study, the vibration of a total of 28 explosion applications was recorded. 20 data were used for training of ANN model and obtaining field constants, 4 data for validation of ANN model and 4 data for testing. In the study aiming to estimate the highest particle velocity with the help of different explosion design parameters and related parameters such as measurement distance, PPV was used as the output parameter, and the maximum explosive amount per delay and scaled distance as the input parameter. In the training model initiated with the Levenberg Marquadt learning algorithm, network structure with 5, 10, 15 and 20 neurons were tested. The results obtained for each number of neurons tested, it is presented as in Figures 2, 3, 4 and 5. In each of these trials, high correlation was observed with minimum error. The network structure with the highest correlation between the realized and predicted values and the lowest deviation rate was reached with an architecture of 10 neurons (Figure 1).

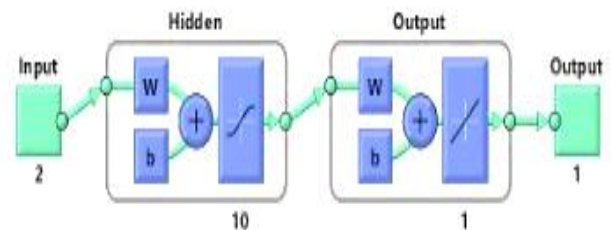


Figure 1. Artificial Neural Network model developed for PPV prediction

PPV outputs obtained from the network trained with the recorded PPV values are given in Table 2. The high correlation values between the estimated and realized results obtained with the model showed that when the vibration meter device cannot be used in field blasting applications, the ANN model can be used to estimate the value of the vibration velocity generated by the explosive used per delay at a certain distance.

The results in Figures 2, 3 and 4 belong to the network architectures of the training model with 5, 15 and 20 neurons.

As can be seen, in the training model using 10 neurons, values with higher correlation and less deviation between realized and predicted values were obtained compared to models using 5, 15 and 20 neurons. The relationships between realized and ANN predicted values are given in Figure 5.

Table 2. PPV outputs from the realized and trained network

Realized PPV	Estimated PPV in ANN model
5,691	4,982
4,303	4,365
5,107	4,929
4,991	4,675
4,994	4,955
3,191	3,238
4,587	4,083
3,712	3,367
3,218	3,670
4,012	4,013
3,413	3,529
3,421	3,336
8,000	7,994
3,697	3,777
3,925	3,763
3,182	3,219
3,318	3,234
2,365	2,357
2,925	2,933
6,118	6,042
2,718	3,561
2,108	2,109
3,081	3,084
4,459	3,863
5,877	6,106
4,887	5,174
5,504	5,495
6,411	5,379

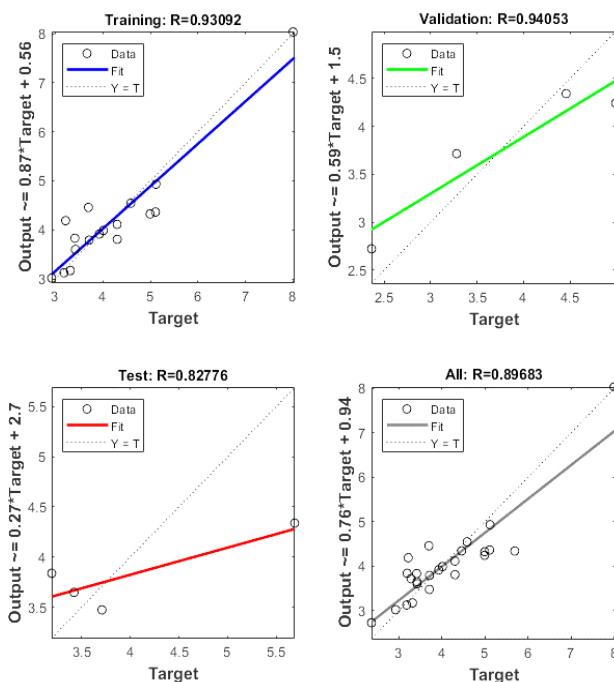


Figure 2. Relationships between actual and predicted values using 5 neurons

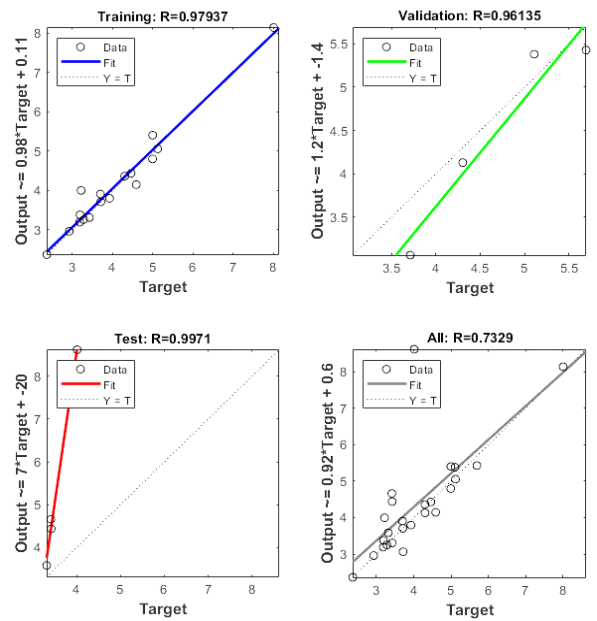


Figure 3. Relationships between actual and predicted values using 15 neurons

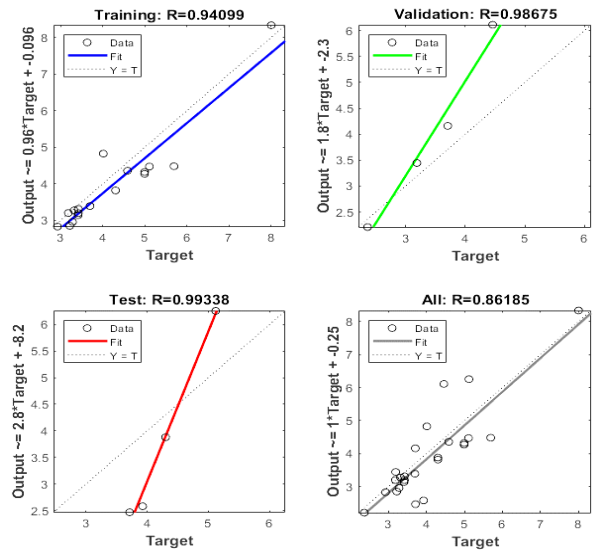


Figure 4. Relationships between actual and predicted values using 20 neurons

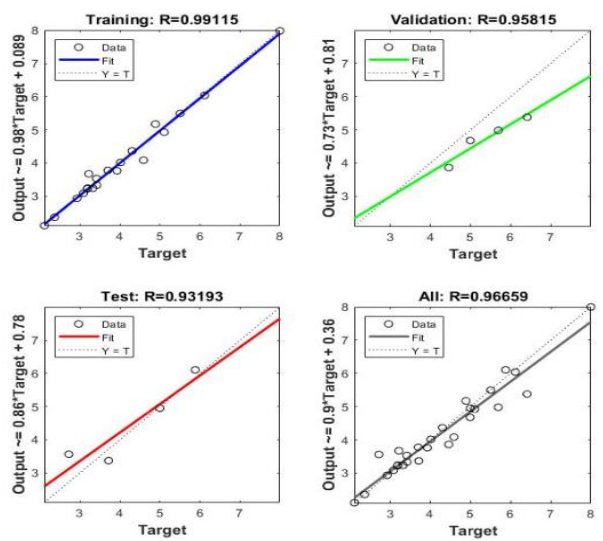


Figure 5. Relationships between realized and predicted values using 10 neurons

In the graph of Training ($R = 0.99115$) in Figure 5, it is expressed by the dashed line $Y = T$, that the output value and its estimate should be equal. Here, the horizontal axis shows the realized PPV values and the vertical axis shows the estimated PPV values. In addition, the values obtained from the artificial neural network are shown with the blue line. As a result, it is desired that both values are as equal as possible to each other and that all points are collected on the dashed line. However, Validation and Test graphs can be interpreted in the same way. When looking at the graphs given in Figure 5, it is seen that the deviations between the realized and estimated values are the least and the modeling is successful.

The PPV values realized in the blasting applications in the field, the PPV values estimated by the ANN model and the PPV values obtained by the field equation are as in Table 3.

Table 3. Realized PPV and predicted values

Realized PPV	Estimated PPV in ANN model	PPV calculated with the field equation
5,691	4,982	4,221
4,303	4,365	3,797
5,107	4,929	4,241
4,991	4,675	4,051
4,994	4,955	4,059
3,191	3,238	3,535
4,587	4,083	4,407
3,712	3,367	3,490
3,218	3,670	4,124
4,012	4,013	6,266
3,413	3,529	3,808
3,421	3,336	3,710
8,000	7,994	5,709
3,697	3,777	4,598
3,925	3,763	3,751
3,182	3,219	2,785
3,318	3,234	3,362
2,365	2,357	2,248
2,925	2,933	3,218
6,118	6,042	5,961
2,718	3,561	3,078
2,108	2,109	2,529
3,081	3,084	3,303
4,459	3,863	4,392
5,877	6,106	5,991
4,887	5,174	5,290
5,504	5,495	5,853
6,411	5,379	5,699

When Table 3 is examined, it is seen that the ANN model gives more successful results in the estimation of vibration propagation in PPV estimation determined according to the scaled distance and the maximum amount of explosives used per delay.

Approaches developed to predict PPV have been widely used since the 1960s. However, instead of these traditional approaches in PPV estimation, more effective

results can now be obtained with ANN developed with today's modern information and technologies.

Uyar G., and Aksoy C. [18] stated that the traditional hypotheses proposed in the criteria of USBM RI 8507 [15] in PPV estimation should be abandoned in favor of modern blast vibration analyzes based on modern scientific approach and technology, taking into account today's changing conditions.

PPV values obtained from ANN model and field equation were compared against PPV values measured during blasting applications. In the comparison, the main performance criterion R^2 , mean absolute percentage error (MAPE) and root mean square error (RMSE) error criteria values were calculated and presented in Table-4.

MAPE is a very important evaluation criterion in evaluating the performance of the network created. According to the literature, if the MAPE value is below 10%, it means that the measured performance value is high [19].

RMSE is another criterion used in determining the error rate between realized and predicted values. The fact that its value is close to zero means that the created model is so close to perfection.

The R^2 criterion is widely used to show the relationship between realized values and estimated values. If its value is close to 1, it means that the accordance is close to perfect.

Table 4. Performance evaluations of vibration measurement results

Error Criteria	Realized PPV- Estimated PPV in ANN model	Realized PPV- PPV calculated with the field equation
MAPE	0,053	0,134
RMSE	0,356	0,819
R^2	0,930	0,630

When Table 4 is examined, it is seen that the developed ANN model gives better results than the field equation.

4 Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis is a method that examines the effects of the change in the input parameters on the optimal solution parameter in the linear programming model. In this study, the maximum amount of explosive per delay and scaled distance were used as input parameters, while the highest particle velocity value was used as output parameter.

Sensitivity analysis equation is given in Equation-3 [20].

$$R_{ji} = \frac{\sum_{k=1}^m (X_{ik} * X_{jk})}{\sqrt{\sum_{k=1}^m X_{ik}^2 \sum_{k=1}^m X_{jk}^2}} \tag{3}$$

X_{i-1} : Maximum amount of explosives used per delay

X_{i-2} : Scaled distance

X_j : Highest particle velocity

The effect of each input parameter on the highest particle velocity is shown in Figure 6.

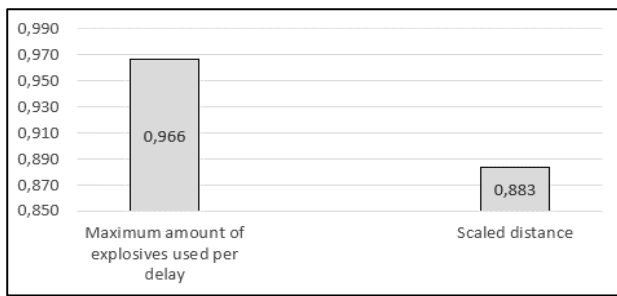


Figure 6. Sensitivity analysis showing the effect of input parameters on peak particle velocity

5 Conclusions

In this study, an artificial neural network model has been developed by using the ground vibration data measured from the blasting applications performed in the quarry. Evaluation and estimation of PPV data obtained from this model, measurement of performance of prediction models and sensitivity analysis were performed. In addition, the PPV values calculated from the field equation were compared with the realized and estimated PPV values.

Of the 28 recorded blasting applications, 20 were used in the training of the ANN model, 4 were used in the verification of the model and 4 were used in the testing of the model. The correlation between the realized vibration values and the training data obtained from the trained model was determined as 0.99115, the verification correlation as 0.95815 and the test correlation as 0.93193. The total correlation value including the training, verification and test data between the vibration values realized and the vibration data estimated from the ANN was determined as 0.96659. These results show that there is a very high correlation between realized and estimated PPV values with ANN.

The results of the performance criteria between the PPV values measured in the field and the PPV values estimated from the model and calculated from the field equation are given in Table 4. According to these results, the performance value (MAPE) of the ANN, which is desired to be below 10%, was determined as 5.3% and the performance value (MAPE) of the field equation was determined as 13.4%. The error rate (RMSE) of ANN data was determined as 0.356, and the error rate (RMSE) of the data obtained from the field equation was determined as 0.819. The correlation level (R^2) between realized and predicted PPV values with ANN was 93%, and the correlation level (R^2) between realized PPV values obtained from the field equation was 63%. All these data obtained showed that the ANN model produced more effective results than the field equation.

The effects of W and SD on PPV were examined by sensitivity analysis. In the results, it was determined that the maximum amount of explosive used per delay was 96.6% and the scaled distance was 88.3% effective on PPV.

In the light of the obtained results, it was seen that the model created with artificial neural network represented the field better. In blasting applications where vibration measurement cannot be taken, it has been revealed that the ANN model is a very powerful alternative in predicting the value of the vibration velocity at a certain distance

with the explosive material used per delay. In addition, by adding the next blast data to the network, it will be provided to create a model that learns better and can predict vibration even better.

Declaration

The authors declare that the ethics committee approval is not required for this study.

References

- [1] Özyurt, M.C. (2018). *The Investigation of Using Artificial Neural Networks and Game Theory on Underground Mining Method Selection*. (Doctoral dissertation, Istanbul University).
- [2] Khandelwal, M., & Singh, T. N. (2005). Prediction of blast induced air overpressure in opencast mine. *Noise & Vibration Worldwide*, 36(2), 7-16.
- [3] Liu, Q. L., & Li, X. C. (2014). Modeling and evaluation of the safety control capability of coal mine based on system safety. *Journal of cleaner production*, 84, 797-802.
- [4] Ozer, U., Karadogan, A., Ozyurt, M. C., Sahinoglu, U. K., & Sertabipoglu, Z. (2019). Environmentally sensitive blasting design based on risk analysis by using artificial neural networks. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(2), 60.
- [5] Tawadrous, A. (2006). Evaluation of artificial neural networks as a reliable tool in blast design. *In proceedings of the annual conference on explosives and blasting technique* (Vol. 32, No. 1, p. 71). ISEE; 1999.
- [6] Khandelwal, M., & Singh, T. N. (2007). Evaluation of blast-induced ground vibration predictors. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(2), 116-125.
- [7] Khandelwal, M., & Singh, T. N. (2006). Prediction of blast induced ground vibrations and frequency in opencast mine: a neural network approach. *Journal of sound and vibration*, 289(4-5), 711-725.
- [8] Mohamed, M. T. (2009). Artificial neural network for prediction and control of blasting vibrations in Assiut (Egypt) limestone quarry. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(2), 426-431..
- [9] Chapra, S.C., Canale, R.P. (2015). *Software and Numerical Methods for Engineers with Programming Applications*. Literature Publishing, Translators: Hasan Heperkan, Uğur Kesgin, Istanbul, Turkey.
- [10] Öztemel, E. (2016). *Artificial Neural Networks*, (4th Edition). Daisy Publishing, Istanbul, Turkey.
- [11] Khandelwal, M., & Singh, T. N. (2009). Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(7), 1214-1222.
- [12] Meulenkamp, F., & Grima, M. A. (1999). Application of neural networks for the prediction of the unconfined compressive strength (UCS) from Equotip hardness. *International Journal of rock mechanics and mining sciences*, 36(1), 29-39.
- [13] Lv, C., Xing, Y., Zhang, J., Na, X., Li, Y., Liu, T., ... & Wang, F. Y. (2017). Levenberg-Marquardt backpropagation training of multilayer neural networks for state estimation of a safety-critical cyber-physical system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(8), 3436-3446.
- [14] Baghirli, O. (2015). *Comparison of Lavenberg Marquardt, Scaled Conjugate Gradient and Bayes Regularization Backpropagation Algorithms for Multistep Ahead Wind Speed Forecasting Using Multilayer Perceptron Feedforward Neural Network*. (Master dissertation, Uppsala University)

- [15] Siskind, D. E. (1980). *Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting* (Vol. 8507). US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- [16] Dowding, C. H. (1985). *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice-Hall, 297s.
- [17] Inan, S., Öztürk, A., & Gürsoy, H. (1993). Stratigraphy of Ulas-Sincan (Sivas) area. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 2, 1-15.
- [18] Uyar, G. G., & Aksoy, C. O. (2019). Comparative review and interpretation of the conventional and new methods in blast vibration analyses. *Geomechanics and Engineering*, 18(5), 545-554.
- [19] Yadav, V., & Nath, S. (2017). Forecasting of PM 10 using autoregressive models and exponential smoothing technique. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 14(4), 109-113.
- [20] Duvall, W. I. (1963). *Vibrations from instantaneous and Millisecond-delayed quarry blasts* (No. 6151). US, Department of the Interior, Bureau of Mines.



THE IMPACT EFFECT ON STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH DIFFERENT STEEL FIBER RATIO

M. Fatih Şahan¹ , İsmail Ünsal^{*1} 

¹Adıyaman University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Adıyaman, Turkey

Abstract

Original scientific paper

In this study, the effect of steel fiber ratio on the flexural impact behavior of concrete beams was investigated. An instrumented drop weight system was used to determine the relationship between steel fiber ratio and impact behavior in flexure. In addition to the control mixture, steel fiber added concrete mixtures were produced in the ratios of 0.25% (19.5 kg / m³), 0.50% (39 kg / m³) and 0.75% (58.5 kg / m³) of the concrete volume for the study. Beams with the dimension of 100x100x500 mm were produced for the experiments. Pressure, flexural, and instrumented drop weight tests were performed on the beams. In addition, the width of the cracks formed in the middle of the beam because of the drop weight tests was measured. In the low-velocity impact tests performed using an instrumented drop weight system, it was observed that the steel fiber-reinforced concretes were more resistant to sudden fracture compared to the control sample. In addition, because of the low-velocity impact test, it was determined that as the amount of steel fiber increases, the crack widths decrease. As a result of the study, it has been observed that steel fiber has positive effects on the static and dynamic properties of concrete.

Keywords: Impact behaviour, instrumented drop weight test, steel fiber reinforced concrete.

FARKLI LİF ORANINA SAHİP ÇELİK LİF TAKVİYELİ BETON KİRİŞLERDE ÇARPMA ETKİSİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada çelik lif takviyeli beton kirişlerde lif oranının eğilmede çarpma davranışına etkisi araştırılmıştır. Çelik lif oranı ile eğilmede çarpma davranışı arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla aletli ağırlık düşürme sistemi kullanılmıştır. Çalışma için kontrol karışımının yanı sıra beton hacminin % 0.25 (19.5 kg/m³), % 0.50 (39 kg/m³) ve % 0.75 (58.5 kg/m³) oranlarında çelik lif takviyeli beton karışımları üretilmiştir. Deneyler için 100x100x500 mm boyutlarında kirişler üretilmiştir. Kirişler üzerinde basınç, eğilme ve aletli ağırlık düşürme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca ağırlık düşürme deneyleri sonucunda kiriş ortasında meydana gelen çatlak genişliği ölçümü yapılmıştır. Aletli düşen ağırlık sistemi kullanılarak yapılan düşük hızlı darbe deneylerde ise çelik lif takviyeli betonların kontrol numunesine kıyasla ani kırılmaya karşı daha dirençli olduğu görülmüştür. Ayrıca çelik lif miktarının artması ile düşük hızlı darbe deneyi sonucunda kirişlerde oluşan çatlak genişliklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda çelik lifin betonun statik ve dinamik özelliklerine olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Darbe davranışı, aletli ağırlık düşürme deneyi, çelik lifli beton.

1 Giriş

Beton, inşaat mühendisliği açısından ekonomiklik, güvenlik ve estetik olma felsefelerini aynı anda kolayca taşıyabildiği için yaygınca kullanılan bir yapı malzemesidir. Betonun uygulama alanları düşünüldüğünde beton yapı ömrü boyunca pek çok farklı yüklere maruz kalmaktadır. Bu yüklerden olan darbe etkileri pek çok yapının bazı elemanları için kritik öneme sahiptir. Bu kritik öneme sahip darbe etkilerine kıyı liman yapıları taşıyıcı elemanlarına gemi vb. deniz taşıtlarının düşük hızlarda çarpması, sanayi yapılarında gerek döşemeye ağırlık düşmesi gerekse krenler ile taşınan ağırlıkların kolonlara çarpması, otoparklarda veya sanayi yapılarında taşıtların

kolonlara çarpması gibi pek çok darbe etkisi örnek olarak verilebilir. Statik etkiler ve dinamik etkiler birlikte düşünüldüğüne betonun çekme mukavemetinin basınç dayanımına oranla çok düşük olması sebebiyle zaman içerisinde betonun zayıf özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Rastgele yönelimli süreksiz lifler içeren betona Lif Takviyeli Beton (LTB) denir. Rastgele yönlendirilmiş lifler, çimento matrisinde çatlak yayılmasına ve genişlemeye etkili bir şekilde direnebilir ve hem statik hem de darbe yükleri altında betonun çatlama sonrası sünekliliğini iyileştirir [1]. Betonun zayıf yönü olan çekme mukavemetini geliştirmek aynı zamanda betonun dinamik

* Corresponding author.

E-mail address: ismailunsal@gmail.com (İ. Ünsal)

Received 24 August 2021; Received in revised form 06 December 2021; Accepted 14 December 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.986369>

yüklere karşı dayanımını arttırmak ve malzemenin parçalanmasını veya dağılmasını engellemek, oluşabilecek çatlakların büyümesini durdurmak amacıyla beton karışımı içerisine ilave edilen lifler çok farklı kimyasal yapılara ya da geometrik özelliklere sahip olabilmektedir. Beton karışımı içerisine ilave edilen lifler çelik, polipropilen, polietilen, polyester, karbon, cam vb. liflerdir. LTB üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde Çelik Lif Takviyeli Betonların (ÇLTB) günümüzde çok popüler olduğu görülecektir.

ÇLTB üzerinde günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Song vd. [2] yaptığı çalışmada betona beton hacminin %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 oranında çelik lif ilave etmiştir. Yaptıkları basınç ve eğilme deneyleri sonucuna göre beton hacminin %1.5'a kadar eklenen çelik lifin beton basınç dayanımına katkı sağladığını, %1.5'dan sonra ise basınç dayanımında hafif düşüşler olduğunu görmüşlerdir. Eğilme deneylerinde ise çelik lif miktarına bağlı olarak eğilmede çekme dayanımında artış olduğunu belirlemişlerdir. Tokluk indisinin ise çelik lif oranının artışı ile arttığını tespit etmişlerdir. Korkut vd. [3] çelik ve sentetik lifli betonun mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Hazırladıkları sentetik lifli ve çelik lifli karışımlarla basınç mukavemetini, çekme mukavemetini ve yarma deneylerini yapmışlardır. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre en yüksek dayanım artışı 60 mm makro lifli beton karışımında olmuştur. Çalışmalarında çelik lifin çekme ve yarma deneylerinde betona katkı sağladığı sonucuna varmışlardır. Nataraja vd. [4] yaptıkları çalışmada beton karışımı içerisine betonun hacminin 0.5%, 0.75% ve 1.0% (39, 59, 78 kg/m³) oranlarında çelik lif ilave etmişlerdir. Deney numunelerin birim gerilme eğrilerini çizmiş ve basınç altındaki durumlarını incelemişlerdir. Tokluk oranları çelik lif miktarının artışı ile doğru orantılı olmuştur. Geliştirdikleri formüller ile ÇLTB betonun tokluk oranı belirlenmesi ve birim gerilme eğrisini çizmesini kolaylaştırmaya çalışmışlardır. Yoo vd. [5] yaptıkları çalışmada ÇLTB ve tekstil elyaf takviyeli beton kırış numuneler üzerinde hem statik hem dinamik çalışmalar yapmışlardır. Farklı çimento dozajları (490, 680 kg/m³) ve farklı su çimento(0.40, 0.23) oranı kullanmışlardır. Statik olarak dört noktada eğilmede çekme mukavemeti testi ve dinamik olarak aletli ağırlık düşürme testi yapmışlardır. Eğilmede çekme mukavemeti testinde tekstil elyafı ilavesi çekme mukavemetinin artırdığı yük taşıma kapasitesinde önemli artışlar tespit etmişlerdir. Çelik lif ilavesinde de yük taşıma ve çekme mukavemetini artırdığını görmüşlerdir. Aletli ağırlık düşürme testinde darbe darbeye karşı gösterilen tepki en yüksek ÇLTB betonlarda olduğunu görmüşlerdir. Darbe kuvvetinin hem çelik lif ilavesinde hem tekstil elyaf ilavesinde artış yaptığını gözlemlemişlerdir. Abid vd. [6] yaptıkları çalışmada farklı mikro çelik lif oranlarında (0, 0.5, 0.75 ve 1.0%), farklı ağırlıktaki topları serbest bir şekilde numuneler üzerine tekrarlı olarak düşürerek deneyler yapmışlardır. Karışımlarda farklı çimento dozajları kullanmışlardır. En yüksek basınç dayanımını 0.75% çelik lif oranında bulmuşlardır. En yüksek çekme mukavemetini ise 1.0% oranında bulmuşlardır. 0, 0.5, 0.75 ve 1.0% oranlarında ÇLTB numunelere 5 kg ağırlığındaki topun 450 mm yükseklikten düşürülmesi sonucunda oluşan ilk çatlak sırasıyla 79, 350, 498 ve 672'nci düşürüşte meydana gelmiştir. Lifli numunelerin darbe sünekliğinin yalın

numunelere göre% 24'e kadar daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Kang vd. [7] çalışmalarında çelik lif takviyeli betonların basınç ve eğilme dayanımlarını tahmin etmek üzere bir makine öğrenimi algoritması geliştirmişlerdir. Temel değişkenler olarak su-çimento oranı, ince-kaba agrega oranı, kaba agrega boyutları, süper akışkanlaştırıcı, silis dumanı, lif oranı ve lif en-boy oranı esas alınmıştır. Su-çimento oranı ile silis dumanının basınç dayanımı tahminleri için en önemli değişken olduğunu saptamışlardır. Eğilme dayanımı tahminleri için ise lif oranı ile yine silis dumanı en etkili değişkenler olarak belirlenmiştir. Geliştirdikleri algorithmadan bağımsız olarak, çelik lif takviyeli betonların basınç dayanımını tahmin etme performansı eğilme dayanımı tahminlerine nazaran daha başarılı bulunmuştur.

Rai vd. [8] çelik ve polipropilen lifler içeren Hibrit takviyeli betonların darbe dayanımları ile ilgili olarak deneysel ve istatistiksel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel bulgular çelik ve polipropilen liflerin Hibrit olarak kullanımının betonun gerek mekanik özelliklerini gerekse darbe davranışını iyileştirdiğini göstermiştir. Önerdikleri regresyon modelleri ile gerek çelik lif takviyeli gerekse Hibrit lif takviyeli betonların tekrarlı ağırlık düşürme test verilerindeki değişimlerin değerlendirilmesine yönelik olarak literatüre katkıda bulunmuşlardır.

Yukarıda verilen çalışmalardan da anlaşılacağı üzere betona çelik lif ilavesi ile betonun özelliklerini geliştirmek üzere pek çok çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte ÇLTB kırışlar üzerinde aletli ağırlık düşürme testlerinin yapıldığı çalışmalar çok kısıtlıdır. Bu çalışmada bu zamana kadar yoğun olarak sadece statik deneylerle incelenen ÇLTB, hem statik hem dinamik deneyler yardımı ile incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada 350 kg çimento dozajlı ve su-çimento oranı 0.55 olacak şekilde beton karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan bu beton karışımı içerisine beton hacminin %0.25, %0.5 ve %0.75 'i kadar (19.5, 39, 58.5 kg/m³) oranlarında çelik lif eklenerek ÇLTB karışımları oluşturulmuştur. Hazırlanan bu karışımlar kullanılarak 100x100x500 mm boyutlarında beton kırış numuneleri üretilmiştir. Beton numuneleri 28 gün boyunca kür'e tabi tutulmuştur. Elde edilen bu beton numuneleri üzerinde basınç testi, üç nokta eğilme testi ve aletli ağırlık düşürme testi yapılmıştır.

2 Materyal ve Metot

Bu çalışmada beton karışımında 350 kg/m³ çimento dozajı seçilmiştir. Çimentonun %4'ü kadar (1 m³ için 1.4 kg) akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Beton karışımları çimento, su, agrega (%40 ince, %30 orta, %30 iri), akışkanlaştırıcı oranları standart olup tüm karışımlarda aynı oranlar kullanılmıştır. 1 m³ beton karışımında yer alan bileşenler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Beton karışım oranları

Malzeme	Miktar	
	(kg)	(%)
Çimento	350	11.25
Su	192.5	19.25
İnce agrega (0-4 mm)	747.27	27.4
Orta agrega (4-11.2)	538.12	20.5
İri agrega (11.2-22.4)	539.48	20.6

Bu çalışmada beton karışımına ilave edilen çelik lif Dramix firmasına ait 60 mm uzunluğunda 0.75 mm çapında çelik lif olup narinlik oranı 80'dir. Tablo 2'de karışıma ilave edilen çelik lifin mekanik özellikleri verilmiş olup Şekil 1'de ise çelik lifin resmi verilmiştir.

Tablo 2. Çelik lifin mekanik ve geometrik özellikleri

Özellik	Büyükük
Çekme Mukavemeti (MPa)	1225
fiber uzunluğu (mm)	60
Çap (mm)	0.75
Narinlik oranı	80
Elastisite modülü (N/mm ²)	210000



Şekil 1. Betona ilave edilen çelik lif

Hazırlanan beton karışımına üç farklı oranda (beton hacminin %0.25 (19.5 kg/m³), %0.5 (39 kg/m³) ve %0.75 (58.5 kg/m³)'i kadar çelik lif ilave edilmiş ve çelik lif eklenmeyen kontrol karışımı ile birlikte toplamda 4 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. TS EN 12390-1'e [9] göre hazırlanan 100 mm'lik küp numuneler ve 100x100x500 mm'lik kiriş numuneler 28 gün kür edilmiştir. Her bir karışımdan 3 noktalı eğilme deneyi için 3 numune ve aletli ağırlık düşürme deneyi için 3 numune üretilmiştir.

Darbe testleri kendi içerisinde düşük hızda yapılan testler ve yüksek hızlı testler olarak ikiye ayrılır. Düşük hızda yapılan testler 1-10 m/s arasında gerçekleştirilen deneylerdir. Yüksek hız olarak ifade edilen darbe testi 74.1 m/s'ye kadar gerçekleştirilen testlerdir [10]. Bu testlerden Pendulum, Izod ve Charpy, ankastre edilmiş kiriş ve ağırlık düşürme testleri düşük hızlı darbe testleri grubundadır. Split-Hopkinson basınçlı çubuk test ve basınçlı hava ile darbe testleri ise yüksek hızlı darbe testleridir. Yüksek hızlı darbe testleri hafif bir ağırlığın basınçlandırılarak numune üzerine darbe uygulanmasıyla yapılır. Ağırlık düşürme testi ise belirli bir ağırlığın belirli bir yükseklikten numune üzerine bırakılmasıyla yapılan bir deneydir. Ağırlık

düşürme deneyi aletli ve aletsiz olarak iki türü vardır. Aletli ağırlık düşürme darbe test yöntemi malzemenin dinamik özelliklerini belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Diğer yöntemlerden farklı olarak, yükseklikte farklı ağırlık ve farklı uçlar ile elde edilmek istenen enerji ve hız değiştirilebilmektedir. Ayrıca aletli ağırlık düşürme darbe testi ile numuneye saplanma, delinme ve tekrarlı darbe testleri de yapılabilmektedir. Bu çalışmada aletli ağırlık düşürme test sistemi kullanılmıştır. Aletli ağırlık düşürme testi ACI 544.2R'ye [11] göre yapılmıştır. Bu çalışmada Instron Ceast 9350 marka cihaz kullanılarak ağırlık düşürme deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

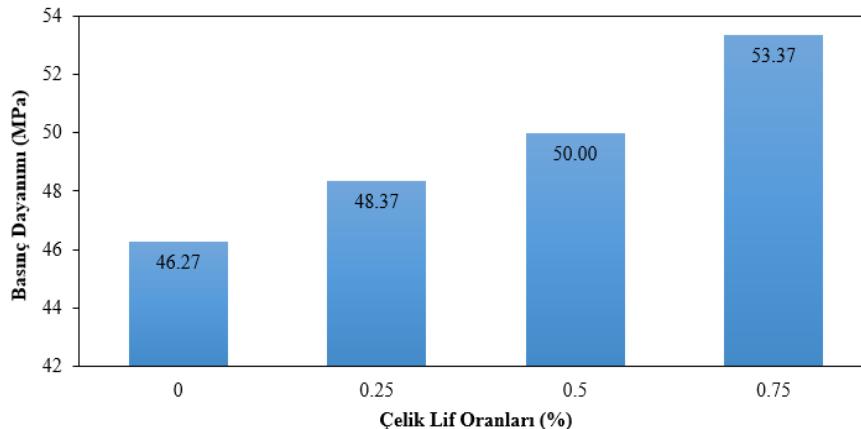
Bu çalışmada ağırlık düşürme deneylerinde kiriş numune üzerine kiriş ortasına enine çizgisel olacak şekilde 6.235 kg ağırlık 736 mm yükseklikten serbest düşürülerek 45 J enerji uygulanmıştır.



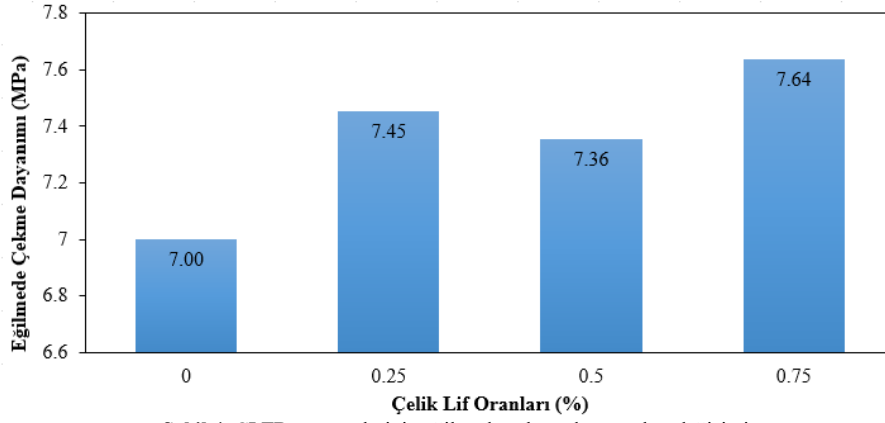
Şekil 2. Ağırlık düşürme deneyinde kullanılan aletli ağırlık düşürme test cihazı

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Hazırlanan numuneler üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Küp ve kiriş numuneleri üzerinde TS EN 12390-5'e [12] göre yapılan basınç ve 3 nokta eğilme deneyleri sonuçları sırasıyla Şekil 3'te ve Şekil 4'te grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 3. ÇLTB numunelerinin basınç dayanımları değişimi

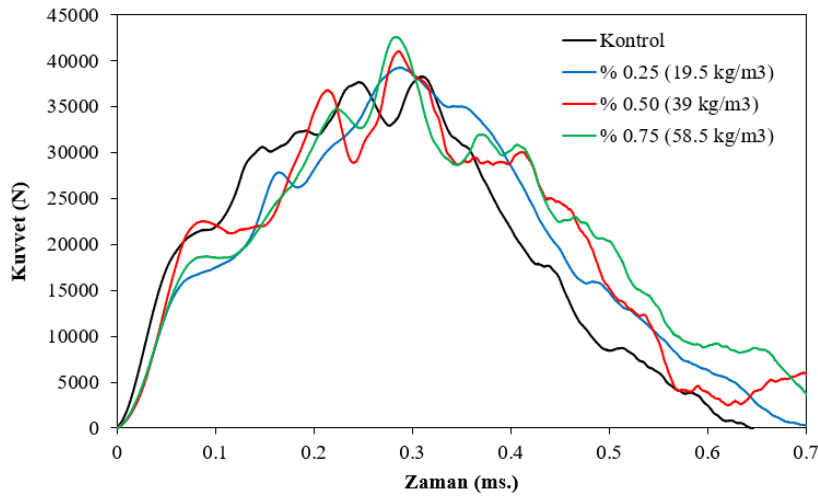


Şekil 4. ÇLTB numunelerinin eğilmede çekme dayanımları değişimi

Şekil 3'ün incelenmesi sonucunda beton karışımına çelik lif eklenmesi ile betonun basınç dayanımlarında artışın devam ettiği görülmektedir. Görüldüğü üzere çelik lif basınç dayanımına olumlu katkıda bulunmuştur. Bu sonuçlar çalışmada esas alınan 0.25, 0.50 ve 0.75% lif oranları için elde edilmiş olup literatür ile uyum içerisindedir. Abid vd. [6] 0, 0.50, 0.75 ve 1.0% oranlarını esas aldıkları çalışmada en yüksek basınç dayanımı değerini 0.75% oranı için elde etmişler ve 1.00% lif oranında basınç dayanımı değerinin düştüğünü belirtmişlerdir. Song vd. [2] %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 lif oranlarını esas aldıkları çalışmalarında beton hacminin %1.5'a kadar eklenen çelik lifin beton basınç dayanımına katkı sağladığını, %1.5'dan sonra ise basınç dayanımında hafif düşüşler olduğunu bildirmişlerdir. Şekil 4'ün incelenmesi sonucunda beton karışımına çelik lif eklenmesi ile eğilmede çekme dayanımının kontrol numunelerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Çelik katkılı betonlarda ilk çatlak sonrasında matriste bulunan gelişigüzel dağılmış olan çelik lifler köprülleme etkisi oluştururlar. Bu köprülleme sayesinde çelik liflerin matristen sıyrılması sırasında, çatlakların ilerlemesi geciktirilmiş olur [13]. Çelik lif katkılı betonların eğilmede çekme dayanımları kendi aralarında

karşılaştırıldığında en büyük dayanımların ise %0.75 çelik lif oranlı karışımlarda olduğu görülmektedir.

Şekil 5'te ÇLTB kirişlerin eğilmeli darbe testleri elde edilen kuvvet-zaman grafikleri verilmiştir. Kirişlere 3 nokta ağırlık düşürme testleri yapılması sonucunda elde edilen grafiklerdeki tepe değerlere bakıldığında en düşük değer 38.31 kN ile kontrol numunesine ait olduğu ve çelik lif oranı arttıkça tepe değer de arttığı (%0.25 çelik lif için 39.30 kN, (%0.5 çelik lif için 41.07 kN, (%0.75 çelik lif için 42.64 kN) görülmektedir. Eğrilerin göstermiş olduğu bu karakter Yoo vd. [5] tarafından yapılan çalışmaya benzer şekilde ortaya çıkmıştır. İlk çatlaklar oluştuğunda, eğilme davranışına matris yumuşatma ve elyaf köprülleme hakimdir. Tepe yükü FRC kirişlerindeki ilk çatlama yükünü gösterir. İlk çatlağın meydana gelmesinden hemen sonra, darbe yükü büyük ölçüde azalır. Matriste lif yoksa darbe yükü sıfır değerine ilerler. Bununla birlikte, matriste lifler varsa, darbe yükü, fiber köprülleme etkisine bağlı olarak yük kademeli olarak azalır [5]. Şekil 5'te verilen eğriler incelendiğinde çelik lif katkı oranı arttıkça tepe sonrasındaki eğri kolunun kısmen genişlediği ve kontrol eğrisine göre sıfıra yaklaşma eğiliminin azaldığı görülmektedir.



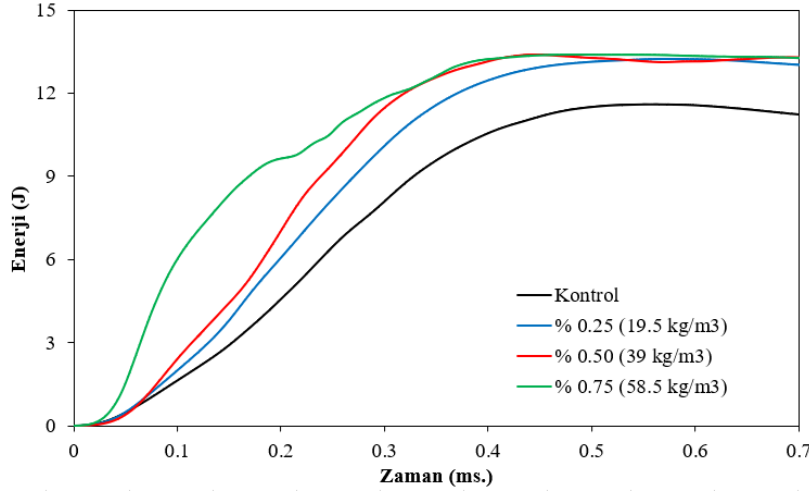
Şekil 5. ÇLTB kirişlerin eğilmeli darbe testleri elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

ÇLTB kirişlerin eğilmeli darbe testleri elde edilen enerji-zaman grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Enerji değerleri kontrol numunelerinde 11.61 J değerlerinde ortaya çıkarken %0.25 çelik lif için 13.14 J, %0.5 çelik lif için 13.38 J, %0.75 çelik lif için ise 13.39 J olarak ortaya

çıkılmaktadır. Çelik lif takviyeli betonlarda ulaşılan nihai enerji değerleri birbirlerine yakın iken kontrol numunesinde enerji değeri diğerlerine göre daha düşük olarak ortaya çıkmıştır. Burada çelik lif ilavesi ile birlikte %15.33 kadar bir enerji artışı ortaya çıkmaktadır. Çelik

liflerin eklenmesi, darbe altında enerji emilimini arttırmada oldukça etkili olmaktadır. Benzer şekilde Suaris ve Shah [14] da çalışmalarında eğilmeye darbe testleri sonucunda çelik lifler içeren kirişlerde emilen enerjinin, yalın beton kirişlerde emilen enerjiden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Şekil 6'da verilen

eğrilerin genel karakteri incelendiğinde ise çelik lif oranı arttıkça enerji değerinin zaman içerisindeki artış hızının da daha fazla olduğu görülmektedir. Bu artış hızının en fazla olduğu numuneler %0.75 çelik lif oranlı numuneler olup bu hızın en düşük olduğu numuneler ise kontrol numuneleridir.



Şekil 6. ÇLTB kirişlerin eğilmeli darbe testleri elde edilen enerji-zaman grafikleri

Ağırlık düşürme deneyi sonucunda numunelerde oluşan hasar durumlarına ait resimler Şekil 7'de verilmiştir. Darbeye maruz kalmış numunelerin hasar durumları karşılaştırıldığında kontrol numuneleri darbe aldıkları yerden iki parçaya bölünürken çelik lif katkılı kirişlerde darbe alınan yerin diğer yüzünde en büyük olmak üzere darbe alınan yüze doğru küçülerek ilerleyen çatlaklar oluşmuştur.

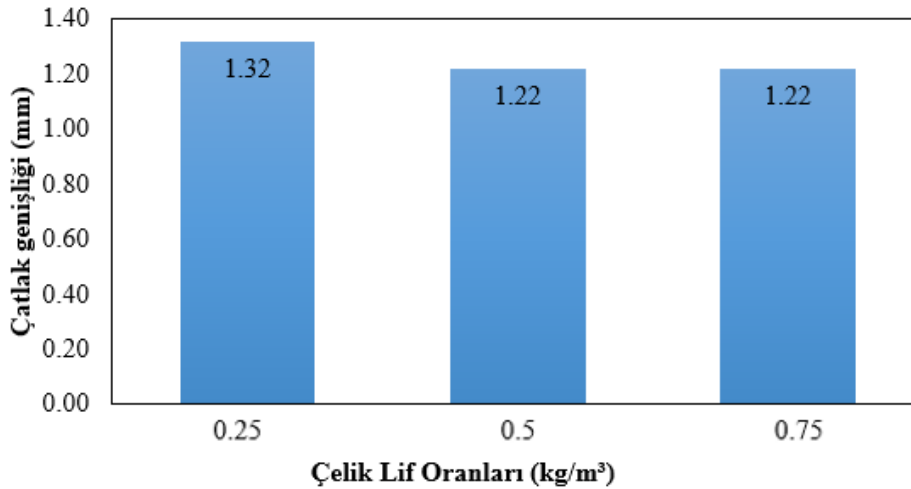
Ağırlık düşürme deneyi sonucunda ÇLTB kirişlerde darbe sonrası oluşan çatlak genişlikleri Şekil 8'de verilmiştir. Yalın beton darbe sonrası iki parçaya ayrılırken çelik lif oranının artırılması sonucunda darbe ile oluşan çatlakların küçüldüğü bununla birlikte % 0.5 ve % 0.75 oranında çelik lif takviyeli kirişlerde oluşan çatlakların ortalama genişliklerinin aynı olduğu ortaya çıkmaktadır. ÇLTB'ler, yalın betona kıyasla önemli ölçüde geliştirilmiş darbe direnci sergiler.

Çatlak yüzeylerinde lif köprüleme etkisi nedeniyle, lifler, betonun darbe altındaki enerji yutma kapasitesinin

iyileştirilmesinde etkilidir [1]. Pek çok araştırmacıda [15,16] benzer şekilde çelik lif takviyesinin çatlak büyüme direncini arttığını bildirmiştir.



Şekil 7. Ağırlık düşürme deneyi sonunda kirişlerde oluşan hasar



Şekil 8. Ağırlık düşürme deneyi sonunda çelik lif katkılı kirişlerde meydana gelen çatlak genişlikleri

4 Sonuçlar

CLTB kirişlerde lif oranının eğilmede darbe davranışına etkisini araştıran bu çalışma için kontrol karışımının yanı sıra beton hacminin % 0.25 (19.5 kg/m³), % 0.50 (39 kg/m³) ve % 0.75 (58.5 kg/m³) oranlarında çelik lif takviyeli beton küpler ve kirişler üretilmiştir. Küpler üzerinde basınç, kirişler üzerinde eğilme ve aletli ağırlık düşürme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca ağırlık düşürme deneyleri sonucunda kiriş ortasında meydana gelen çatlak genişliği ölçümü yapılmıştır.

Düşük hızlı darbe etkilerine maruz kalan yapı elemanlarında oluşabilecek davranışı ortaya koymak amacıyla yapılan bu çalışmada deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Çelik lif ilave edilmesi ile betonun eğilmede çekme mukavemetinin arttığı görülmüştür. Çelik lif takviyeli betonlar içerisinde en yüksek eğilmede çekme dayanımı % 0.75 (58.5 kg/m³) oranında çelik lif ilave edilen betonda olmuştur.

•Çelik lif olmaksızın hazırlanan kontrol numunelerinin darbe etkisinde aniden kırıldığı görülmüştür. Ağırlık düşürme deneyleri sonucunda çelik liflerin betonda ani kırılmayı önlediği anlaşılmıştır.

•Kirişlere 3 nokta ağırlık düşürme testleri yapılması sonucunda elde edilen grafiklerdeki tepe değerlere bakıldığında en düşük değer 38.31 kN ile kontrol numunesine ait olduğu ve çelik lif oranı arttıkça tepe değeri de 42.64 kN'ye kadar arttığı görülmektedir.

•Darbe testlerinde kuvvetlerin zamanla değişimi karşılaştırıldığında kontrol numunelerinde çelik lif katkılı numunelere oranla ilk çatlakın daha düşük kuvvetlerde meydana geldiği anlaşılmıştır. Çelik lif oranı arttıkça kuvvet-zaman eğrisindeki tepe değerler de artış göstermektedir.

•Darbe testlerinde kuvvet-zaman eğrilerinde tepe değerden sonraki bölgeler incelendiğinde kontrol numunesi eğrisinin hızla sifıra doğru ilerlediği fakat çelik lif katkılı numunelerde çelik lif katkı oranı arttıkça tepe sonrasındaki eğri kolunun kısmen genişlediği ve kontrol eğrisine göre sifıra yaklaşma eğiliminin azaldığı görülmektedir.

•Darbe testlerinde enerjini zamanla değişimi karşılaştırıldığında çelik lif katkılı numunelerde enerji 13.14, 13.38 ve 13.39 J olarak ortaya çıkarken kontrol numunelerinde ise 11.61 J olarak ortaya çıkmaktadır. Çelik liflerin eklenmesi, darbe altında enerji emilimini arttırmada oldukça etkili olmaktadır.

•Darbeye maruz kalmış numunelerin hasar durumları karşılaştırıldığında kontrol numunelerinin darbe aldıkları yerden aniden kırılarak iki parçaya bölündüğü görülürken çelik lif katkılı kirişlerde darbe ile sadece çatlak oluştuğu görülmüştür. Çelik lif oranı ile darbe sonrasında oluşan çatlak genişlikleri ilişkisine bakıldığında çelik lif oranının arttırılmasının darbe etkisinde oluşacak çatlak genişliklerini azalttığı ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında; çelik lif katkılı betonların darbe etkisine maruz kalabilecek; askeri yapılarda, havalimanlarında, yollarda, kıyı liman yapılarında, sanayi yapılarında otopark olarak kullanılan yapıların taşıyıcı elemanlarında vb. yapılarda kullanılmasının avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilgilendirme

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. Etik kurul onayı gerekmemektedir.

References

- [1] Yoo, D.-Y., & N. Banthia. (2019). Impact resistance of fiber-reinforced concrete – A Review. *Cement and Concrete Composites*, 104, 103389.
- [2] Song, P.S., & Hwang, S. (2004). Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18(9), 669-673.
- [3] Korkut, F., Türkmenoğlu, Z. F., Taymuş, R. B., & Güler, S. (2017). Çelik ve sentetik liflerin kendiliğinden yerleşen betonların taze ve mekanik özellikleri üzerine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 560-570.
- [4] Nataraja, M.C. Dhang, N., & Gupta, A.P. (1999). Stress-strain curves for steel-fiber reinforced concrete under compression. *Cement & Concrete Composites*, 21 (5-6), 383-390.
- [5] Yoo, D.-Y., Gohil, U., Gries, T., & Yoon, Y.S. (2015). Comparative low-velocity impact response of textile-reinforced concrete and steel-fiber-reinforced concrete beams. *Journal of Composite Materials*, 50(17), 2421-2431
- [6] Abid, S.R., Abdul-Hussein, M.L., Ayoob, N.S., Ali, S.H., & Kadhum, A.L. (2020). Repeated drop-weight impact tests on self-compacting concrete reinforced with micro-steel fiber. *Heliyon*, 6(1) e03198.
- [7] Kang, M.C., Yoo, D.-Y., Gupta, R. (2021). Machine learning-based prediction for compressive and flexural strengths of steel fiber-reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, 266, Part B, 121117.
- [8] Rai, B., Singh, N.K., (2021). Statistical and experimental study to evaluate the variability and reliability of impact strength of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete, *Journal of Building Engineering*, 44, 102937.
- [9] Turkish Standards Institution. (2014). *Beton – sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri* (TS EN 12390-1).
- [10] Sayer, M. (2009). Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi. (Doctoral dissertation, Pamukkale University).
- [11] American Concrete Institute. (2009). *Measurement of properties of fiber reinforced concrete* (ACI 544.2R).
- [12] Turkish Standards Institution. (2010). *Beton – sertleşmiş beton deneyleri – bölüm 5: deney numunelerinde eğilmede çekme dayanımının tayini* (TS EN 12390-5).
- [13] Banthia, N., & Trottier, J. F. (1995). Concrete reinforced with deformed steel fibers, Part II: Toughness characterization. *ACI Materials Journal*, 92(2), 146-154.
- [14] Suaris, W., & Shah, S. P. (1982). Strain-rate effects in fibre-reinforced concrete subjected to impact and impulsive loading. *Composites*, 13(2), 153-159.
- [15] Bindiganavile, V., & Banthia, N. (2005). Generating dynamic crack growth resistance curves for fiber-reinforced concrete. *Experimental mechanics*, 45(2), 112-122.
- [16] Bindiganavile V. (2003). *Dynamic Fracture Toughness of Fiber Reinforced Concrete* (Doctoral dissertation, University of British Columbia).



AN EFFICIENT SUDOKU SOLVER APPLICATION BASED ON GRAPH THEORY

Mustafa Batar*¹ 

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, 15030 Burdur, Turkey

Abstract

Original scientific paper

This article has explained in detail what the puzzle of Sudoku is – the meaning of Sudoku –, where it comes from – the origin of Sudoku – and how it can be solved – the solution way of Sudoku. Especially, this paper has analyzed the solution of the problem – Sudoku can be taken as a problem – based on the graph theory. This theory consists of several algorithms, methods, rules and principles which are about the graph in general. In addition, this study has focused on the Welsh-Powell algorithm – greedy coloring algorithm – and Karger’s algorithm – contraction algorithm – among those graph algorithms by trying to give explanations about them (these two methods). Also, based on the rules and principles of those two algorithms, “Sudoku Solver Application” has been designed and developed in order to solve the puzzle of Sudoku. Moreover, the paper has presented a specific solution way of the puzzle Sudoku, and has showed its efficiency and usability by showing complexity and run time of the application among several available solutions based on the graph theory. So, the study has offered “Sudoku Solver Application” to the game world, science world, and education world as well for its use.

Keywords: Graph theory, sudoku, Welsh-Powell algorithm, Karger’s algorithm.

GRAFİK TEORİSİNE DAYALI ETKİN BİR SUDOKU ÇÖZÜCÜ UYGULAMASI

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu makale, Sudoku bulmacasının ne olduğunu (anlamını), nereden geldiğini (kökenini) ve nasıl çözülebileceğini (çözüm yolunu) açıklamaktadır. Özellikle, problemin çözümünü – Sudoku bulmacası bir problem olarak ele alınabilir – grafik teorisine dayalı olarak analiz etmektedir. Bu teori, genel olarak grafiklerle ilgili çeşitli algoritmalar, yöntemler, kurallar ve ilkelerden oluşmaktadır. Ayrıca, grafik algoritmalarından Welsh-Powell (açgözlü renklendirme algoritması) ve Karger (daraltma algoritması) algoritmaları üzerinde durularak bu iki yöntem hakkında bu çalışmada detaylı bir bilgilendirme yapılmıştır. Bununla birlikte, bu iki algoritmanın kural ve prensipleri dikkate alınarak, bu makalede, “Sudoku Çözücü Uygulaması” tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Ayrıca, uygulamanın çalışma süresi hesaplanıp etkinliği ve kullanılabilirliği ortaya konmuştur. Buna ek olarak, bu çalışma, Sudoku bulmacasının belirli bir çözüm yolunu grafik teorisine dayalı algoritmalar yardımıyla bulup, kullanımı için hem oyun dünyasına, hem bilim dünyasına, hem de eğitim dünyasına sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Grafik teorisi, sudoku, Welsh-Powell algoritması, Karger algoritması.

1 Giriş

Sudoku bulmacası, gazetelerin ve bulmaca web sitelerinin çoğunda bulunabilen dünya çapında popüler bir oyundur. Ayrıca, Google Play ve Apple Store’daki çok sayıda Sudoku uygulamasında açıkça görülen mobil uygulamalar dünyasına da yayılmıştır. Bu nedenle, günümüzde milyonlarca web sitesinin Sudoku sunduğu doğrudur. Bir Sudoku bulmacasını çözenin genellikle bilinmezler için çok tatmin edici olmasının tipik bir sonucu olarak çeşitli ücretsiz oluşturucu yazılımlar mevcuttur [1]. Ayrıca, Avrupa ve ABD’de parasal ödül kazanma olasılığı olan sosyal turnuvalar da vardır [2].

Sudoku popülaritesinin birçok nedeni vardır; en önemlisi harf veya kelime kullanan diğer bulmacalara

karşı sayıları kullanmasıdır ve böylece, bir bulmacanın yapılması ve onun farklı ülkelerdeki farklı dillere sahip insanlar arasında paylaşılması oldukça kolay bir hale gelmektedir. Diğer önemli bir neden ise, Sudoku bulmacasının kolay kuralları olması ve her yaştan kişinin öğrenim geçmişine bakılmaksızın hızlı bir şekilde oyunu öğrenebilmesidir [3].

Sudoku bulmacası, son yıllarda dünyanın her yerinden birçok insanın tutkusu haline gelmiştir. Aslında, Sudoku ile ilgili ilginç gerçek, çözülmesi gereken önemsiz bir bulmaca olmasıdır. Çözümünün önemsiz olmasının nedeni, Sudoku çözümleri için bir algoritmanın mevcut olmasıdır. Bu algoritma, bir çözüm yolu bulana ve bulunana kadar bir ağaçta geriye doğru izlemeye dayanan ağaç tabanlı bir arama algoritmasıdır [4]. Bir kişinin

* Corresponding author.

E-mail address: mbatar@mehmetakif.edu.tr (M. Batar)

Received 14 August 2021; Received in revised form 22 November 2021; Accepted 09 December 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.982908>

sadece tek yapması gereken şey, kişisel bilgisayarının karşısında oturup, bulmacada verilen sayıları tuşlamak ve ardından bir bilgisayar programının çözümü hesaplamasını ve bulmasını beklemektir. Fakat insanlar bunu yapmak yerine, Sudoku bulmacalarını çözmek için uğraşmaktadırlar. Bunun nedeninin, insanların Sudoku çözümlerini bulmak için kalem ve kâğıtla uğraşmaktan hoşlanmaları olduğu belirtilmektedir. Bu sayede, bulmacayı yapmaya çalışan biri için ciddi bir zihinsel meydan okuma yerine gelmekte ve bu, çözücüyeye ısrar etmesi için gerekli cesaret vermektedir [5].

Öte yandan, araştırmacıların bakış açısından, Sudoku bulmacalarını çözerken akıllara birçok soru gelmektedir: Benim bulmacamın bir çözümü var mı? Eğer öyleyse, benim bulmacam için tek mi? Daha az ipucu olsaydı bulmaca daha da zorlaşır mı? Benzersiz bir çözüm sağlamak için minimum ipucu sayısı nedir? En zorunu için bile, farklı Sudoku türlerini çözmek için etkili algoritmalar var mı? Bu ve benzeri sorular, araştırmacılara bu soruların yanıtlarını keşfetmelerini ve bu bulmacaları oluşturup çözmek için algoritmaları uygulamaları için çekici fırsatlar sunmaktadır [6]. Bunun doğal bir sonucu olarak, bu probleme yaklaşıldığı zaman, birçok sayıda strateji ve çözüm yolu olduğu ortaya çıkmaktadır.

2 Sudoku

Sudoku bulmacası 9x9'lük bir tahtada oynanmaktadır. Tahtada, örtüşmeyen dokuz adet 3x3'lük alt panoya bölünmüş seksen bir hücre bulunmaktadır. Bu alt panolar kutu olarak adlandırılabilir ve aşağıda Şekil 1'de görüldüğü gibi panonun sol üst köşesinden başlayarak klasik daktilo sırasına göre 1'den 9'a kadar numaralandırılmaktadır [7]. Tahtadaki belirli bir hücreye atıfta bulunma gösterimi, satır numarasının ardından sütun numarasını vermektir. Örneğin, C(6, 7) gösterimi; 6. satır ve 7. sütundaki C (cell-hücre) hücresini belirtmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2		1			2			3	
3									
4									
5		4			5			6	
6									
7									
8		7			8			9	
9									

Şekil 1. Sudoku tahtası.

Sudoku, mantık tabanlı, öğrenmesi kolay bir sayı yerleştirme bulmacasıdır. Sudoku kelimesi, "sayılar tek olmalı" anlamına gelen "Su-ji wa dokushin ni kagiru"nun kısaltmasıdır. Sudoku bulmacasının kökleri İsviçre'ye dayanmaktadır. Leonhard Euler, 18. yüzyılda Sudoku

bulmacasına benzeyen ancak tek tek bölgelerin içeriği üzerinde ek kısıtlamalar olmaksızın "carré latin"i yaratmıştır. Ancak, ilk gerçek Sudoku 1979'da yayınlanmış ve Amerikalı bir mimar olan Howard Garns tarafından icat edilmiştir. Dünya çapındaki gerçek popülerlik ise, 1986 yılında Japonya'da yayımlandıktan ve "Nikoli" tarafından Sudoku adı verildikten sonra başlamış ve ortaya çıkmıştır [8].

Bir Sudoku bulmacası dokuz sütuna, satıra ve bölgeye bölünmüş 81 hücreden oluşmaktadır. Görev, 1'den 9'a kadar olan sayıları boş hücrelere, her satır, sütun ve 3x3'lük bölgede, her sayı sadece bir kez görünecek şekilde yerleştirmektir. Bir Sudoku'da en az 17 tane verilen sayı vardır, ancak normalde 22'den 30'a kadar sayı verilmektedir. Sudoku, matematik tabanlı bir bulmaca değil, mantık tabanlıdır. Harfler ve hatta bazı semboller ile çözülmemiş bir Sudoku bulmacası yapmak oldukça mümkündür. Biraz ilginç bir nokta ise, olası Sudoku bulmacalarının "6.670.903.752.021.072.936.960" (altı seksilyon altı yüz yetmiş kentilyon dokuz yüz üç katrilyon yedi yüz elli iki trilyon yirmi bir milyar yetmiş iki milyon dokuz yüz otuz altı bin dokuz yüz altmış) tane olmasıdır [9]. Böylece, insanlar günde sayısız Sudoku bulmacası oynayabilmekte ve yine de yenileri yerine gelebilmektedir.

3 Sudoku Tarihçesi

Sayı bulmacaları, 19. yüzyılın sonlarında, Fransız bulmaca hazırlayıcılarının sayıları sihirli karelerden çıkarmayı denemeye başladıkları birkaç gazetede ortaya çıkmıştı. Paris gazetesi "Le Siècle" 19 Kasım 1892'de kısmen tamamlanmış 9x9'lük sihirli kareyi 3x3'lük alt karelerle yayınlamıştı. Bu bir Sudoku değildi, çünkü çift haneli sayılar içermekteydi ve mantıktan ziyade çözümünde aritmetik işlemler gerektirmekteydi. Ancak yine de temel özellikleri bakımından Sudoku'yu andırmaktaydı [10].

6 Temmuz 1895'te "Le Siècle'in rakibi" – La France – bulmacayı neredeyse modern bir Sudoku olacak şekilde geliştirmişti. 9x9'lük sihirli kare bulmacayı basitleştirdi ve böylece her satır, sütun ve kırık köşegenler yalnızca 1-9 sayılarını içermekteydi, ancak alt kareleri işaretlemedi. İşaretlenmemiş olmalarına rağmen, her 3x3'lük alt kareler gerçekten 1-9 sayılarını içermekteydi ve kırık köşegenler üzerindeki ek kısıtlamalar yalnızca bir yolla çözülebilmekteydi. Bu haftalık bulmacalar, yaklaşık on yıl boyunca "L'Echo de Paris" gibi Fransız gazetelerinin ortak ve eğlenceli bir özelliği idi, ancak I. Dünya Savaşı sırasında maalesef bu uygulama ortadan kalktı [11].

Modern Sudoku, çok büyük olasılıkla, Connersville, Indiana'dan 74 yaşındaki emekli bir mimar ve serbest bulmaca kurucusu olan Howard Garns tarafından anonim olarak tasarlandı ve ilk olarak 1979'da "Dell Magazines" tarafından "Number Place" olarak yayınlandı (bilinen en eski modern Sudoku örnekleri). Garns'ın adı, "Dell Kalem Yapbozları" ve "Sayı Yeri"ni içeren "Kelime Oyunları" sayılarında katkıda bulunanlar listesinde her zaman yer almaktaydı. Yaratılışını dünya çapında bir fenomen olarak görme şansını bulmadan 1989 yılında vefat etti. Garns'ın yukarıda listelenen Fransız gazetelerinden herhangi birine tanıdık olup olmadığı bilgisi ise hala belirsizliğini korumaktadır [12].

Bulmaca Japonya’da “Nikoli” tarafından Nisan 1984’te “Monthly Nikolist” gazetesinde “Sūji wa dokushin ni kagiru (数字は独身に限る)” olarak tanıtıldı, bu aynı zamanda “rakamlar tek olmalıdır” veya “rakamlar tek bir olayla sınırlıdır” (Japonca’da dokushin “evli olmayan kişi” anlamına gelmektedir) anlamlarına gelmektedir. Daha sonraki bir tarihte, isim Maki Kaji tarafından Sudoku (数独) olarak kısaltıldı ve daha kısa bir sürüm oluşturmak için bileşik kelimelerin ilk bölümünü kendi üzerine aldı [13].

Sudoku bulmacası Japonya’da tescilli bir ticari markadır ve bulmaca genellikle “Numara Yeri” veya daha gayri resmi olarak iki kelimenin bir portmantosu - “Num(ber) Pla(ce)” olarak adlandırılmaktadır. 1986’da “Nikoli” iki yenilik getirmişti: verilenlerin sayısı 32 ile sınırlandırılmış ve bulmacalar simetrik hale getirilmişti; yani verilenler rotasyonel simetrik hücrelere dağıtılmıştı. Böylece, “Asahi Shimbun” gibi ana akım Japon dergilerinde Sudoku bulması yayınlanmıştı [14].

“Times of London”, Wayne Gould’un çabalarından yola çıkarak yerel bir ABD gazetesinde başarılı bir görünümünden sonra 2004 yılının sonlarında Sudoku’ya yer vermeye başlamış ve düzenli olarak bu durum, hızla diğer gazetelere yansımış ve yayılmıştı. Gould, benzersiz bulmacaları hızla üretmek için bir bilgisayar programı tasarlayıp geliştirmişti [15].

Sudoku bulmacası, günümüzde hala popülerliğini korumakta ve 7’den 70’e herkes tarafından oynanmaya devam etmektedir.

4 Sudoku Çözümü

Sudoku bulmacasının çözüm yolu tek değildir ve birden fazla yol/yöntem mevcuttur [16]. Ancak, çözüme giden yolu göstermek için bir rehber hazırlamak mümkündür. Bu amaç doğrultusunda, aşağıdaki mevcut adımlar izlenerek Sudoku bulmacası çözülebilmektedir. Bununla birlikte, Sudoku çözümüne yeni başlayanlar için bir yol gösterici niteliği taşımaktadır. Toplam 9 adımdan oluşan bu çözüm stratejisi adım adım açık bir şekilde gösterilmiştir.

Adım 1								
			9			7	2	8
2	7	8			3		1	
	9				6	4		
	5			6		2		
		6				3		
	1			5				
1			7		6		3	4
			5		4			
7	4	9	1			8		5

Şekil 2. Sudoku çözümünün ilk adımı.

1. adımda (Şekil 2), Sudoku bulmacasının bir örneği yer almaktadır. Yeni başlayanlar için, anlaşılır olması bakımından seviyesi kolay bir örnek (Sudoku bulmacası) verilmiştir. Bulmacayı çözüme başlamak için ilk yapılması gereken en sık görünen sayı ve sayıları aramaktır.

Adım 2								
			9			7	2	8
2	7	8			3		1	
	9				6	4		
	5			6		2		
		6				3		
	1			5		4		
1			7		6		3	4
			5		4			
7	4	9	1			8		5

Şekil 3. Sudoku çözümünün ikinci adımı.

1. adımdan sonra 2. adıma (Şekil 3) geçildiğinde, en sık görünen sayı olarak “4” sayısı ele alınmıştır. Bununla birlikte, “4” sayısı olmayan bölgeler aranmış ve eleme işlemi ile “4” sayısının yerleştirilmesine çalışılmıştır. Bu amaçla hangi sütun ve satırların “4” sayısını içerdiği belirlenmiş, bu satır ve sütunlara “4” sayısının konulamayacağı tespit edilmiştir. Bunun sonucunda, hangi bölgede tek olası yer kalmışsa, “4” sayısı oraya yerleştirilmiştir. Şekil 3’de gösterilen iki tane “4” sayısı bu şekilde elde edilmiştir. Ortaya konan ve uygulanan bu strateji, çapraz tarama olarak isimlendirilmektedir.

Adım 3								
			9			7	2	8
2	7	8			3	5	1	
	9				6	4		
	5			6		2		
		6				3	5	
	1			5		4		
1		5	7		6		3	4
			5		4			
7	4	9	1			8		5

Şekil 4. Sudoku çözümünün üçüncü adımı.

2. adımdan sonra 3. adım (Şekil 4) için de, çapraz tarama işlemi “5” sayısı ile tekrarlanmıştır. Bu işlem neticesinde, 2. adımdaki “4” sayısından daha etkin bir sonuç ortaya çıkmış ve üç tane “5” sayısı bulmacaya yerleştirilmiştir.

Adım 4								
			9			7	2	8
2	7	8	6	4	3	5	1	9
	9					6	4	3
	5			6		2		
		6				3	5	
	1			5		4		
1		5	7		6	9	3	4
			5		4	1		
7	4	9	1			8		5

Şekil 5. Sudoku çözümünün dördüncü adımı.

4. adımda (Şekil 5) satırlar, sütunlar ve bölgeler sadece iki boş hücre ile tamamlanabilmiştir. Bu durumu ortaya çıkarabilmek oldukça kolaydır, çünkü her iki hücre grubundan bir hücre için yalnızca bir olası sayı geride kalmıştır. Bu uygulamanın anlaşılmasını kolaylaştırmak için ilgili sayılar Şekil 5’de verildiği gibi renklerle – “1” sayısı için kırmızı yuvarlak renk, “6” sayısı için mor yuvarlak renk ve “9” sayısı için yeşil yuvarlak renk – vurgulanmış ve yuvarlak içine alınmıştır. Bu işlemin sonucunda, sonraki adımlar için çapraz tarama ve sayma işlemlerini yapmak oldukça kolaylaşmıştır.

Adım 5								
			9			7	2	8
2	7	8	6	4	3	5	1	9
	9					6	4	3
	5			6		2		
		6				3	5	
	1			5		4		
1		5	7		6	9	3	4
			5		4	1	7	2
7	4	9	1			8	6	5

Şekil 6. Sudoku çözümünün beşinci adımı.

4. adımın ardından 5. adımda (Şekil 6) ise, sol alt bölgede, “6” sayısının tam konumu belirlenememiş, ancak hangi sıraya konması gerektiği – Şekil 6’da sol altta, üç kırmızı hücre ile gösterilen yer – ortaya çıkarılmıştır. Bunun neticesi olarak, “6” sayısı sağ alt bölgeye yerleştirilmiştir. Ardından ise, 4. adımda izlenen ve uygulanan boş hücre yolu ile “7” ve “2” sayıları elde edilmiştir.

Adım 6								
			9			7	2	8
2	7	8	6	4	3	5	1	9
	9					6	4	3
	5	7		6		2		
		6				3	5	
	1	2		5		4		6
1	2	5	7	8	6	9	3	4
			5	9	4	1	7	2
7	4	9	1			8	6	5

Şekil 7. Sudoku çözümünün altıncı adımı.

6. adımda (Şekil 7) ise, çapraz tarama yöntemi ile sayma işlemleri denenmiştir. Ayrıca, bir hücre için eksik sayıları belirlemek için bölgeler, satırlar ve sütunlar sayılmıştır. Sayıdan sonra tek bir olası sayı ile bir hücre bulunup, sayı hücreye yerleştirilmiştir. Sayım bulgularını ezberlemeye yardımcı olması bakımından ilgili hücrelere küçük sayılar yazılmıştır. Sayma sonucunda, bu adımda, Şekil 7 de görüldüğü gibi altı sayı – “2”, “2”, “6”, “7”, “8” ve “9” sayıları – elde edilmiştir.

Adım 7								
			9			7	2	8
2	7	8	6	4	3	5	1	9
	9					6	4	3
	5	7		6		2		1
		6				3	5	7
	1	2		5		4		6
1	2	5	7	8	6	9	3	4
			5	9	4	1	7	2
7	4	9	1	3	2	8	6	5

Şekil 8. Sudoku çözümünün yedinci adımı.

6. adımdan sonra 7. adımda (Şekil 8), 4. adımdaki boş hücre arama yolu ile Sudoku bulmacasının bir satırı ve bir sütunu daha tamamlanmıştır.

Adım 8								
			9	1		7	2	8
2	7	8	6	4	3	5	1	9
	5	9	1			6	4	3
	5	7		6		2		1
	8	6				3	5	7
	1	2		5		4		6
1	2	5	7	8	6	9	3	4
		3	5	9	4	1	7	2
7	4	9	1	3	2	8	6	5

Şekil 9. Sudoku çözümünün sekizinci adımı.

8. adımda (Şekil 9), 6. adımdaki gibi sayma yoluna gidilmiştir ve bu işlemin sonucunda, 5 yeni sayı – “1”, “1”, “3”, “5” ve “8” sayıları – daha bulmacada yerini almıştır.

Adım 9								
6	3	4	9	1	5	7	2	8
2	7	8	6	4	3	5	1	9
5	9	1	2	7	8	6	4	3
4	5	7	3	6	9	2	8	1
9	8	6	4	2	1	3	5	7
3	1	2	8	5	7	4	9	6
1	2	5	7	8	6	9	3	4
8	6	3	5	9	4	1	7	2
7	4	9	1	3	2	8	6	5

Şekil 10. Sudoku çözümünün son adımı.

Son olarak 9. adımda (Şekil 10), Sudoku bulmacasının geriye kalan tüm sayıları eldeki çapraz tarama, sayma ve boş hücre yollarından yararlanılarak doldurulmuş, işlenmiş ve çözüm yolu ve stratejisi tam olarak ortaya çıkmıştır. Bu geliştirilen rehber sayesinde 9 adımda Sudoku bulmacası çözülebilmekte ve yeni başlayanlar için bir başucu bilgisi oluşturmaktadır.

5 Yöntem

Sudoku bulmacasının çözüm yolunu (çözüm yaklaşımını) veren “Sudoku Çözücü Uygulaması” tasarlanırken ve geliştirilirken grafik teorisine dayalı iki özel algoritma kullanılmıştır. Bunlar, Welsh-Powell algoritması ve Karger algoritmasıdır.

Welsh-Powell metodu, grafik renklendirme problemi için bir algoritma uygulamaya ve çözüm bulmaya yöneliktir [17]. Statik bir grafik üzerinde çalışan ağgözlü bir algoritma sağlar ve bu yinelemeli bir ağgözlü algoritmadır [18]. Bu algoritmanın işleyiş, çözüm ve strateji adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Tüm köşeler, derecelerinin azalan değerine göre “V” (vertices-köşeler) listesinde sıralanır.

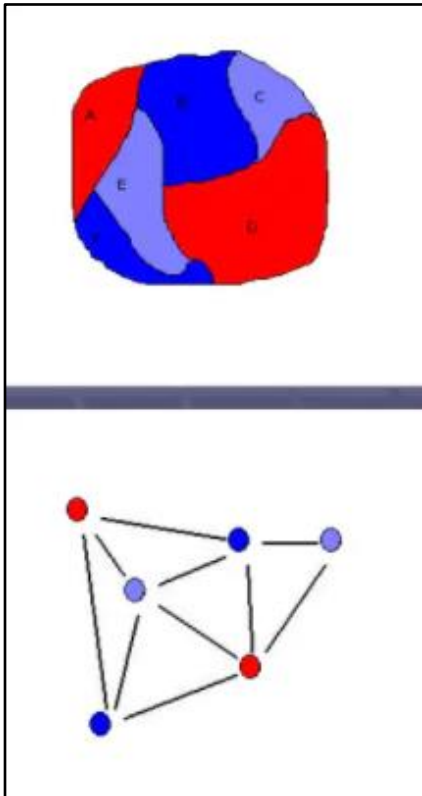
Adım 2: Renkler “C” (colors-renler) listesinde sıralanır.

Adım 3: “V”deki ilk renksiz “v” köşesi, “C”deki mevcut ilk renkle renklendirilir. Mevcut renk, algoritma tarafından daha önce kullanılmayan bir renk anlamına gelmektedir.

Adım 4: Sıralı “V” listesinin kalan kısmına geçilir ve aynı renk, komşu tepe noktalarının aynı renge sahip olmadığı her tepe noktasına atanır.

Adım 5: Tüm köşeler renklendirilene kadar 3. ve 4. adımlar tekrarlanarak uygulanır.

Ortaya konan bu adımların neticesinde, Şekil 11’de Welsh-Powell algoritmasının temelini oluşturan, işleyiş tarzını yansıtan, çalışma prensibini ortaya koyan ve daha iyi anlaşılmasını sağlayan grafik renklendirme ile ilgili yapılan çalışma gösterilmiştir.



Şekil 11. Welsh-Powell yöntemi ile grafik renklendirme.

Karger metodu en küçük kesimi bulmaya çalışır [19]. Bu kesim, verilen yönsüz ve ağırlıksız bir grafiğe dayalı olarak grafiği iki bileşene ayıran en küçük kenar sayısını

ifade etmektedir. Ayrıca, giriş grafiği paralel kenarlara sahip olabilmektedir. Çözüm olarak, minimum kesimi bulmak için “Max-Flow tabanlı s-t kesim algoritması” [20] kullanılır. Her köşe çifti kaynak “s” ve “t” havuzu olarak kabul edilmektedir ve “s-t” kesimini bulmak için minimum “s-t” kesme algoritması olarak adlandırılmaktadır. Ardından tüm “s-t” kesimlerinin minimumunu döndürmektedir. Bu algoritmanın mümkün olan en iyi zaman karmaşıklığı, bir grafik için $O(V^5)$ ’dir – V:vertices-köşeler. Aşağıda bu amaç için Karger yöntemi basit bir şekilde adım adım açıklanmıştır [21]. Bu algoritma $O(E) = O(V^2)$ – E:edges-kenarlar – zamanında uygulanabilmektedir [22].

Adım 1: “CG” (cell to graph) grafiğini orijinal grafiğin kopyası olarak başlatın.

Adım 2: 2’den daha fazla köşe varken;

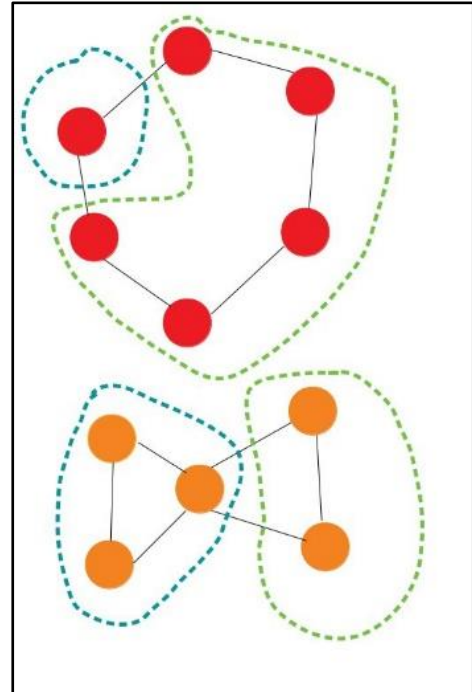
Büzülme grafiğinde rastgele bir kenar (u, v) seçin.

“u” ve “v” yi tek bir köşede birleştirin ve mevcut grafiği güncelleyin.

Kendi kendine döngüleri ortadan kaldırın.

Adım 3: İki köşe ile temsil edilen kısımlar kesilene kadar 2. adımı tekrar edin.

Ortaya konan bu adımların neticesinde, aşağıdaki Şekil 12’de Karger algoritmasının temelini oluşturan, işleyiş tarzını yansıtan, çalışma prensibini ortaya koyan ve daha iyi anlaşılmasını sağlayan kısaltma/daraltma ile ilgili yapılan çalışma gösterilmiştir.



Şekil 12. Karger algoritması ile kısaltma/daraltma.

6 “Sudoku Çözücü Uygulaması”

“Sudoku Çözücü Uygulaması” tasarlanıp geliştirilirken Yöntem bölümünde de açıklandığı gibi Welsh-Powell ve Karger algoritmaları kullanılmıştır. Uygulama ortaya çıkarılırken işin önemli noktası renklendirilecek tepe ve tepe noktalarını seçmektir [23]. Önerilen algoritmada, doymuş derece sıralaması (saturated degree order) [24] ve derece sıralamasının bir kombinasyonunu [25] kullanılmaktadır. Bir tepe

noktasının doygunluk derecesi, bitişik farklı renkteki köşelerinin sayısı ile ölçülmektedir. Köşeler doygunluk derecelerine göre sıralanmakta ve eğer iki köşe aynı dereceye sahipse, dereceleri karşılaştırılarak bağlar bozulup çözümüleme işlemi yapılmaktadır.

```

int colorNumber = 1; //number of used colors
int numberOfColoredNodes = 0;

while (numberOfColoredNodes < graph.Count)
{
    var max = -1;
    var index = -1;

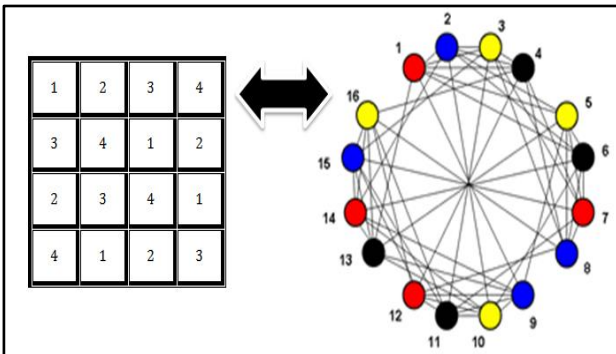
    for (int i = 0; i < graph.Count; i++)
    {
        if (!Colored(graph.Nodes[i], nodeSet))
        {
            var d = SaturatedDegree(graph.Nodes[i], nodeSet);
            if (d > max)
            {
                max = d;
                index = i;
            }
            else if (d == max)
            {
                if (Degree(graph.Nodes[i]) > Degree(graph.Nodes[index]))
                {
                    index = i;
                }
            }
        }
    }
    AssignColor(graph.Nodes[index], nodeSet, ref colorNumber);
    numberOfColoredNodes++;
}

```

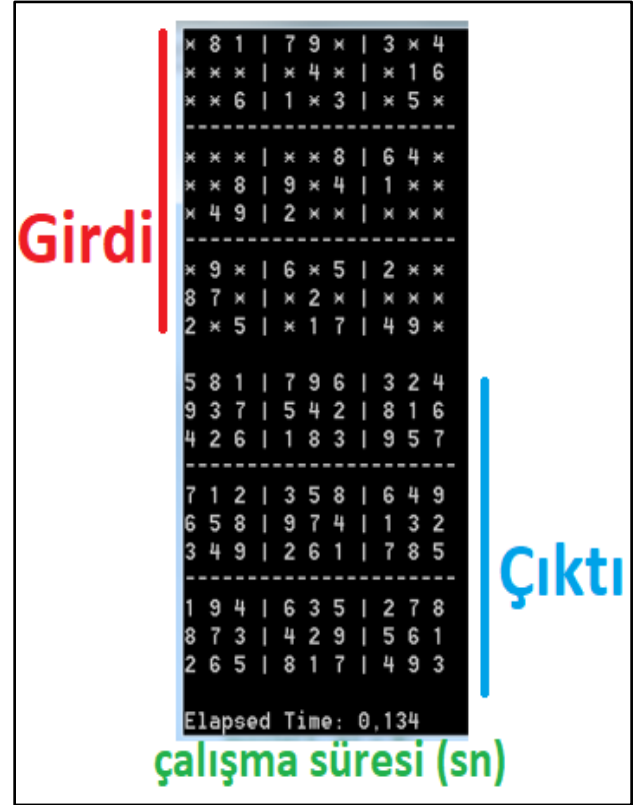
Şekil 13. Uygulamada kullanılan hibrit yöntemin kodu.

Şekil 13’de Welsh-Powell ve Karger algoritmalarına bağlı olarak geliştirilen etkin “Sudoku Çözücü Uygulaması”na ait hibrit yöntemin kaynak kodu verilmiştir.

Bir Sudoku bulmacası (9x9), her hücre için bir tane olmak üzere 81 köşeli bir grafik olarak düşünülebilir ve eğer aynı değere atanamıyorlarsa iki köşe bir kenarla bağlanmaktadır [26]. Örneğin, aynı satır, sütun veya bloktaki tüm hücreler, karşılık gelen köşeleri arasında kenarlara sahip olmaktadır. Buna ek olarak, verilen bir Sudoku bulmacası ile ilgili bir grafik oluşturulabilmektedir. Bulmacada verilen sayı, grafiğe ek kenarlar eklemek için kullanılabilir; daha sonra bu grafiğin 9 rengini bulmak için grafik boyamada söz sahibi olmaktadır (renkler 1-9). Bu renklendirme yöntemine bağlı olarak ortaya çıkartılan uygulama Şekil 14’de gösterilmiş ve “Sudoku Çözücü Uygulaması”na ait girdi ve çıktılar da “Şekil 15”te çalışma süresi ile birlikte ortaya konmuştur.



Şekil 14. Uygulamada kullanılan renklendirme işlemi.



Şekil 15. “Sudoku Çözücü Uygulamasının” etkin sonucu.

Ayrıca “Sudoku Çözücü Uygulaması”nın zorluk seviyeleri ile ilgili çıktılarına bakıldığı zaman oldukça iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Zorluk derecesi sudoku bulmacasında verilen ipucu sayısına göre değişmektedir [27]. Eğer bulmacanın başında verilen ipucu sayısı 19 ile 26 arasında ise zor, 27 ile 36 arasında ise orta, 36’dan fazla ise kolay olarak nitelendirilmektedir [28]. Aşağıda Tablo 1’de, geliştirilen “Sudoku Çözücü Uygulaması”nın bulmacanın zorluk seviyelerine göre verdiği cevapların çalışma süreleri listelenmiştir.

Tablo 1. Uygulamanın çalışma süresi

Zorluk Seviyesi	Çalışma Süresi (sn)
Düşük	~ 0,16 sn
Orta	~ 0,39 sn
Yüksek	~ 0,74 sn

7 Sonuç

Bu çalışma, tüm dünyada çok popüler bir oyun olan ve 7’den 70’e herkes tarafından oynanan Sudoku bulmacasını, anlamını, nereden geldiğini, gelişimini örnekleriyle beraber açıklamıştır. Bununla birlikte, Sudoku’nun çözümü (çözüm yolu) ile grafik teorisinin yaklaşımı ve içeriği arasındaki ilişkiyi açıkça göstermiştir. Ayrıca grafik yöntemleri içinde yer alan; grafiği renklendirmeyi amaçlayan Welsh-Powell algoritması ve grafiği daraltmayı amaçlayan Karger algoritması ile Sudoku bulmacası için yeni ve etkin bir çözüm yolu geliştirilmiş ve ortaya çıkarılmıştır. Bu etkin “Sudoku Çözücü Uygulaması” sayesinde, “Sudoku” ve “Grafik”in birbirine çok iyi uyduğu ve birbirini çok iyi tamamladığı bu çalışma ile açıkça gösterilmiştir. Oyun sektörüne, bilişime, bilime ve eğitime hizmet eden bir çalışma ortaya konmuştur.

Bilgilendirme

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine ihtiyaç bulunmamaktadır ve yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Maji, A., Roy, S., & Pal, R. (2013). A novel algorithmic approach for solving Sudoku puzzle in guessed free manner. *European Academic Research*, 1(6), 1126-1154.
- [2] Semeniuk, I. (2005). Stuck on you. *New Scientist*, 31, 45-47.
- [3] Mandal, S., & Sadhu, S. (2013). Solution and level identification of Sudoku using harmony search. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 5(3), 49-55.
- [4] Mandal, S., & Sadhu, S. (2011). An efficient approach to solve Sudoku problem by harmony search algorithm. *An International Journal of Engineering Sciences*, 4, 312-323.
- [5] Crook, J. F. (2009). A pencil-and-paper algorithm for solving Sudoku puzzles. *Notices of the American Mathematical Society*, 56(4), 460-468.
- [6] Majumder, A., Kumar, A., Das, N., & Chakraborty, N. (2010). The game of Sudoku-advanced backtrack approach. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 10(8), 22-33.
- [7] Herzberg, A. M., & Murty, M. R. (2007). Sudoku squares and chromatic polynomials. *Notices of the AMS*, 54(6), 708-718.
- [8] Deng, X., Li, J., & Li, G. (2013). Research on Sudoku puzzles based on metaheuristics algorithm. *Journal of Modern Mathematics Frontier (JMMF)*, 2(1), 25-32.
- [9] Crawford, B., Castro, C., & Monfroy, E. (2009). Solving sudoku with constraint programming. In *International Conference on Multiple Criteria Decision Making* (pp. 345-348). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [10] Yongda, L., & Xiuqin, D. (2011). Solving Sudoku puzzles based on improved genetic algorithm. *Computer Applications and Software*.
- [11] Lewis, R. (2007). Metaheuristics can solve Sudoku puzzles. *Journal of Heuristics*, 13(4), 387-401.
- [12] Pillay, N. (2012). Finding solutions to Sudoku puzzles using human intuitive heuristics. *South African Computer Journal*, 49, 25-34.
- [13] Soto, R., Crawford, B., Galleguillos, C., Monfroy, E., & Paredes, F. (2013). A hybrid AC3-tabu search algorithm for solving Sudoku puzzles. *Expert Systems with Applications*, 40(15), 5817-5821.
- [14] Boryczka, U., & Juszczak, P. (2012). Solving the Sudoku with the differential evolution. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Informatyka*, 9, 5-16.
- [15] Deng, X., & Li, Y. (2013). A novel hybrid genetic algorithm for solving Sudoku puzzles. *Optimization Letters*, 7(2), 241-257.
- [16] Rosenhouse, J., & Taalman, L. (2011). Taking sudoku seriously: *The math behind the world's most popular pencil puzzle*. OUP USA.
- [17] Olariu, S., & Randall, J. (1989). Welsh-Powell opposition graphs. *Information Processing Letters*, 31(1), 43-46.
- [18] Zhou, S. (1999). A sequential coloring algorithm for finite sets. *Discrete Mathematics*, 199(1-3), 291-297.
- [19] Karger, D. R., Klein, P. N., & Tarjan, R. E. (1995). A randomized linear-time algorithm to find minimum spanning trees. *Journal of the ACM*, 42(2), 321-328.
- [20] Neumayera, S., Efrat, A., & Modiano, E. (2015). Geographic max-flow and min-cut under a circular disk failure model. *Computer Networks*, 77, 117-127.
- [21] Karger, D. R., & Motwani, R. (1997). An NC algorithm for minimum cuts. *SIAM Journal on Computing*, 26(1), 255-272.
- [22] Karger, D. R. (1999). Random sampling in cut, flow, and network design problems. *Mathematics of Operations Research*, 24(2), 383-413.
- [23] Doumont, J., & Vandenberg, P. (2002). Choosing the right graph. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 45(1), 1-6.
- [24] Sharieh, A., & Sabri, K. E. (2008). Parallel graph colouring based on saturated degree ordering. *Basic Sci. & Eng.*, 17(2), 489-503.
- [25] Yamamoto, T., Brewster, R., & Safran, S. A. (2010). Chain ordering of hybrid lipids can stabilize domains in saturated/hybrid/cholesterol lipid membranes. *EPL (Europhysics Letters)*, 91(2).
- [26] Omari, H., & Sabri, K. E. (2006). New graph coloring algorithms. *American Journal of Mathematics and Statistics*, 2(4), 439-441.
- [27] Edgington, J. (2006). Solving sudoku puzzles: Nifty course assignments. *Journal of Computing Sciences in Colleges* 21(4), 90-91.
- [28] Najafian, M., Tadayon, M. H., & Esmaeili, M. (2020). Construction of strongly mutually distinct sudoku tables and solid sudoku cubes by cyclotomic cosets. *IEEE Transactions on Games*, 12(1), 54-62.



INVESTIGATION OF INVERTER TOPOLOGIES USED IN MEDIUM FREQUENCY DIRECT CURRENT RESISTANCE SPOT WELDING SYSTEMS

Can Özensoy¹ , Murat Uyar^{*2} 

¹Siff Elektromekanik San. Tic. Ltd. Şti, Minareliçavuş, Erguvan Cd. No:16, 16140, Nilüfer, Bursa

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh., 16059, Nilüfer, Bursa

Abstract

Review paper

Resistance spot welding (RSW) is a metal joining method that is widely used, especially in the automotive industry. Welding technologies are also developing in parallel with the developments in the industry. Traditional alternating current resistance spot welding systems (AC-RSW) are being replaced by new generation medium frequency direct current resistance spot welding (MFDC-RSW) systems. In addition, MFDC-RSW is one of the high energy efficient methods that can work in harmony with robots that have an important role in Industry 4.0. In this study, resistance welding methods, which have an important place in welding technology, are classified and the developments in the new generation MFDC-RSW systems are examined. The advantages and disadvantages of the stated welding method are compared with conventional AC-RSW systems. In addition, the inverter topology of MFDC-RSW systems based on power electronics technology has been examined.

Keywords: AC/DC/AC converter, resistance spot welding, h-bridge inverter, medium frequency direct current resistance spot welding.

ORTA FREKANS DOĞRU AKIM DİRENÇ NOKTA KAYNAK SİSTEMLERİNDE KULLANILAN EVİRİCİ TOPOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ

Özet

Derleme makale

Direnç nokta kaynağı (DNK), özellikle otomotiv sanayisinde yaygın bir şekilde kullanılan bir metal birleştirme yöntemidir. Endüstrideki gelişmelere paralel olarak kaynak teknolojileri de gelişmektedir. Geleneksel alternatif akım direnç nokta kaynak sistemleri (AA-DNK), yerini yeni nesil orta frekans doğru akım direnç nokta kaynak (OFDA-DNK) sistemlerine bırakmaktadır. Ayrıca, OFDA-DNK, Endüstri 4.0 içerisinde önemli role sahip robotlar ile uyumlu bir şekilde çalışabilecek, enerji verimliliği yüksek yöntemlerden biridir. Bu çalışmada kaynak teknolojisinde önemli yere sahip direnç nokta kaynak yöntemleri sınıflandırılarak yeni nesil OFDA-DNK sistemlerindeki gelişmeler incelenmiştir. İfade edilen kaynak yönteminin avantaj ve dezavantajları, geleneksel AA-DNK sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca güç elektroniği teknolojisine dayalı OFDA-DNK sistemlerinin evirici topolojisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA/DA/AA dönüştürücü, direnç nokta kaynağı, h-köprü evirici, orta frekans doğru akım direnç nokta kaynağı.

1 Giriş

Direnç kaynağı (DK) yöntemi, otomotiv, beyaz eşya, çelik eşya gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılan, düşük maliyetli ve kolay kullanılabilen bir metal birleştirme teknolojisidir. DK uygulamalarında, kaynatılmak istenen yüzeyleri temas edecek şekilde, iki metal üst üste yerleştirilir. Metallerin üzerine önce basınç, ardından elektrik akımı uygulanır. Metal parçaların uygulanan kaynak akımının akışına karşı gösterdiği direnç sonucunda bir ısı enerjisi oluşur. Ortaya çıkan ısı, iki metalin birleşmesini sağlar. Kaynak akımı, kaynak zamanı ve kaynak kuvveti, tüm bu sıralı süreçlerde kontrol

edilecek üç temel değişkendir. Ayrıca yoğun kullanımda elektrotların kapalı sistem su ile soğutulması gerektiğinden, soğutma suyu sıcaklığı da önemlidir. Elektrot malzemesi, elektrot uç tasarımı da önemli değişkenlerdir. Bu noktada uygulama türü ve iş parçasının gereksinimlerine göre DK işlemleri, direnç nokta kaynağı (DNK), direnç dikiş kaynağı (DDK), direnç projeksiyon kaynağı (DPK) ve direnç alın kaynağı (DAK) olarak bölümlere ayrılır [1].

DNK, en çok tercih edilen direnç kaynak yöntemlerinden biridir. Verimlilik, kullanım kolaylığı, maliyet konularındaki avantajlarının, bu yöntemin yaygınlaşmasında önemli etkisi vardır [2]. Kalifiye

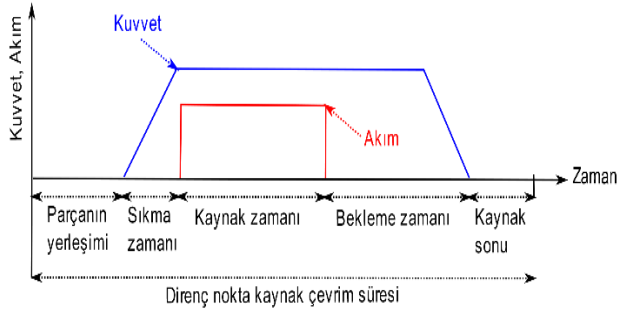
* Corresponding author.

E-mail address: muratuyar@uludag.edu.tr (M. Uyar)

Received 03 November 2021; Received in revised form 11 December 2021; Accepted 15 December 2021

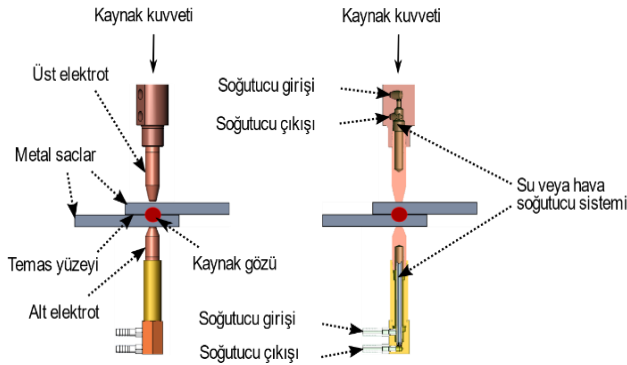
2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1018184>



Şekil 2. Nokta kaynak çevriminde kuvvet ve akım ilişkisine bir örnek

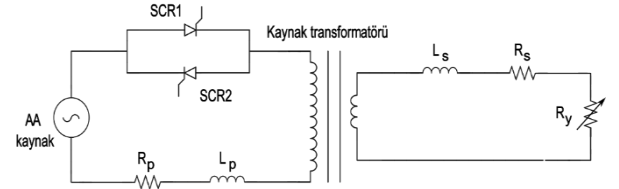
İş parçaları yerleştirildiğinde, kaynak kuvveti uygulanarak elektrotlar arasında sıkıştırılır. Sisteme enerji sağlayan elektriksel yapı tarafından üretilen kaynak akımı, parçaların üzerinden akıtılır. Temas yüzeyinde oluşan direnç sonucu, Joule yasası doğrultusunda ısı üretilir. Isı üreyen bölge eriyerek nokta benzeri bir bölgede birleşme sağlanır. Bu birleşme bölgesi, kaynak gözü olarak da adlandırılır. Kaynak tamamlandığında, ihtiyaç duyuluyorsa, parçalar bir süre daha baskı altında bekletilir. Son olarak, kaynak kuvveti kaldırılarak elektrotlar açılır. Açılma sırasında parçaların elektrotlara yapışmasını önlemek ve elektrotların daha hızlı soğumasını sağlamak için, Şekil 3'de örneği verilen su veya hava soğutmalı elektrotlar kullanılır.



Şekil 3. Direnç nokta kaynağı uygulama şeması

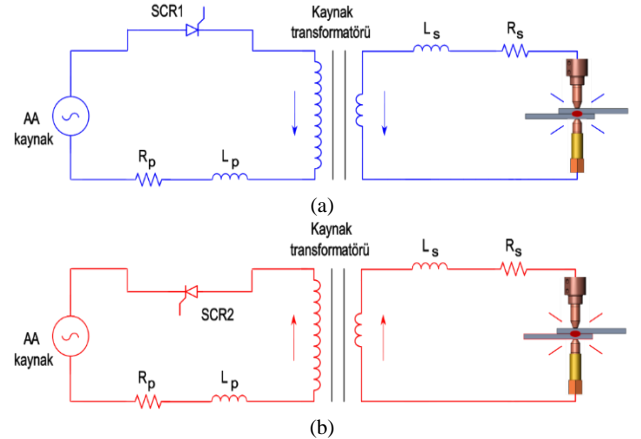
DNK elektrotlarında malzeme olarak, yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle, bakır alaşımlar veya bakır ve tungsten bazlı metaller seçilir. Elektrotların ucu düz veya kubbe şeklinde olabilir. Uç kısımdaki bu farklılık, elektrotlar ve parça arasındaki temas yüzeyini etkileyerek akım yoğunluğunu ve üretilen ısı miktarını değiştirir. Yoğun ısı ve basınç gerektiren ağır hizmet koşullarında ucu kubbe tipi elektrotlar seçilir [3, 10]. DNK sistemlerinde, kaynak akımının üretimi için farklı yöntemler kullanan çeşitli elektriksel yapılar oluşturulmuştur. Bu yapılardan ikisi, AA ve OFDA güç kaynaklarıdır [7]. DNK sistemleri, kullanılan güç kaynağına göre AA-DNK ve OFDA-DNK olarak iki gruba ayrılır.

AA-DNK sistemlerinde kaynak akımını kontrol eden güç kaynağı, ters paralel bağlı iki adet tristörden oluşur. Sisteme tek fazlı sinüzoidal şebeke gerilimi uygulanır. Sistem ayrıca bir kaynak transformatorü ve bir kaynak yükü içerir. Şekil 4'de bir AA-DNK sisteminin elektriksel yapısı verilmiştir.



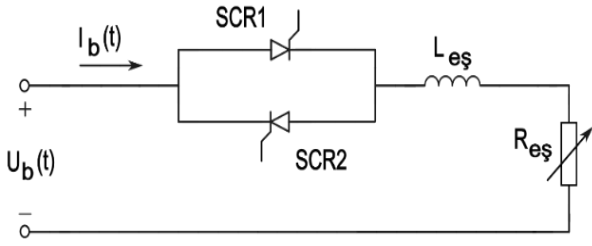
Şekil 4. AA direnç nokta kaynağının elektriksel yapısı

Devrede, kaynak transformatorünün primer ve sekonder bobininin eşdeğer dirençleri (R_p , R_s) ve endüktif reaktansları (L_p , L_s) kaynak akımını etkiler. Devrede bulunan tristör, bir ateşleme frekansında tetiklenerek, kontrollü bir kaynak çevrimi başlatır. Ateşleme frekansı, AA şebeke geriliminin frekansının iki katıdır. Bunun nedeni, tristörlerin, şebeke geriliminin pozitif yarı periyodunda ve negatif yarı periyodunda bir ateşleme açısında tetiklenmesidir. Bir diğer deyişle, Şekil 5 (a)'da gösterildiği gibi şebeke geriliminin pozitif alternansında bir tristör, Şekil 5 (b)'deki gibi negatif alternansında diğer tristör iletime geçirilir. Yapılan bu kontroldeki amaç, tristörlerin iletime geçtiği ateşleme açısını ayarlamaktır. Üretilen kontrollü gerilim, bir kaynak transformatorünün primer bobini ile etkileşime geçer. Kaynak transformatorü bir düşürücü transformatorüdür. Uygulanan yüksek gerilim ve düşük akımı, düşük gerilim ve yüksek akıma dönüştürür. Kaynak transformatorünün dönüştürme oranı doğrultusunda sekonder bobinde kaynak akımı elde edilir. Elde edilen kaynak akımı, DNK elektrotlarına gönderilerek parça üzerinden akım akışı sağlanır. Yük direncinin (R_y), kaynak akımına gösterdiği direnç sonucunda, parçalar ısı üretir ve AA-DNK oluşur.



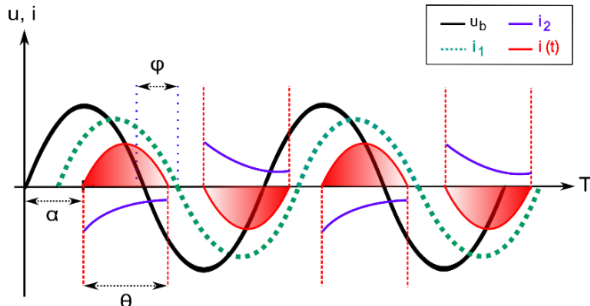
Şekil 5. AA-DNK sisteminde, a) pozitif alternans iletimi, b) negatif alternans iletimi

AA-DNK sistemlerinde hedeflenen kaynak akımının uygulanabilmesi, kapalı çevrim bir kontrolü gerektirir. Ancak sistem doğrusal olmayan ve zamanla değişen bir sistemdir. Sabit akım kontrolünün sağlanabilmesi ve tristörlerin hangi ateşleme açısında tetiklenmesi gerektiğinin belirlenebilmesi için literatürde çalışmalar yapılmıştır [10]. Bu çalışmalarda, kaynak transformatorünü devre dışı bırakan ve sekonder bobinindeki bileşenleri primer bobinine aktaran eşdeğer bir devre modeli kullanılmıştır [11]. Şekil 6'da verilen eşdeğer devre modelinde, şebeke geriliminin ve akımının etkin değeri (U_b , I_b), devrenin eşdeğer endüktansı ($L_{eş}$) üzerinden, eşdeğer dirence ($R_{eş}$) uygulanmıştır.



Şekil 6. AA-DNK sisteminin eşdeğer devresi

Tristörler iletme geçtiğinde, akımın şebeke geriliminin fazına göre sistemin faz farkı (φ) kadar gecikmeyle akacağıni değerlendiren çalışmalar, kaynak akımını iki farklı bileşen olarak incelemiştir. Buna göre, akımın birinci bileşeninin (i_1), tristör iletim yönünde sinüzoidal formda bir bileşen, ikinci bileşen (i_2) ise iletim yönüne ters yönde, üstel formda bir bileşen olduğu ifade edilmiştir. Kaynak sırasında, sistemde paralel ve ters bağlı tristörler, şebeke geriliminin uygun alternansında, sıralı olarak bir ateşleme açısında (α) tetiklenir. α , kaynak akımının miktarını ayarlayan açıdır. Tetiklenen açıda tristör iletime geçer. İletilen gerilimden φ kadar gecikmeyle, tristörde akım akışı başlar. İletim yönünde aktarılan i_1 , ters yöndeki i_2 tarafından düşürülür. İki bileşenin etkisinde oluşan akım, kaynak işleminin etkili olduğu süreyi belirten bir iletim açısı (θ) kadar sürede iletilir. Uygulanan gerilimin sıfır geçişinde tristör kesime gider. Kesime gidildiğinde, yine φ açısı kadar gecikmeyle kaynak akımı kesilir. AA-DNK sistemlerinde kaynak akımı üretiminin dalga formları Şekil 7'de verilmiştir [10].



Şekil 7. AA-DNK sisteminde akım dalga formları

AA-DNK sistemleri basit yapıda ve düşük maliyetli olmasına rağmen, çalışma frekansının şebeke frekansında olması kaynak akımının tepe değerlerini önemli derecede büyötmektedir. Bu durum, akımın etkin değeri açısından kaynak sırasında önemli ölçüde dalgalanmalara neden olur [5]. Günümüzde ise kaynak akımında daha hassas değerlerin hedeflenmesi, kaynak verimliliğinin artırılması, güç kayıplarının azaltılması gibi talepler söz konusudur. AA-DNK sistemlerinin bu talepleri karşılayamaması sonucunda OFDA-DNK sistemleri yaygınlaşmıştır [4].

3 OFDA-DNK Sistemi

OFDA-DNK sistemleri, üç faz besleme gerilimine AA/DA dönüşümü yapan bir giriş doğrultucusu, DA gerilimde bulunan yüksek frekans bileşenlerini sönmöleyebilen bir filtre devresi, doğrultulan DA gerilim

için besleme geriliminden daha yüksek frekansta DA/AA dönüşümü yapan bir dönüştürücü ve çıkışında tam dalga doğrultucuya sahip bir OFDA kaynak transformatöründen oluşur. Sistem tarafından üretilen, bir DA seviyenin üzerine bindirilen 2000 Hz frekanslı dalgalanmalar içeren kaynak akımı, DNK yüküne uygulanır. Şekil 8'de temsili bir OFDA-DNK sisteminin blok şeması gösterilmiştir [13].

Sistemdeki giriş doğrultucusu, uygulanan AA şebeke geriliminin üç fazını (u_R, u_S, u_T), DA bara gerilimine (U_{DA}) dönüştürür. Doğrultulan gerilim, bir filtre devresi ile iyileştirilebilir. U_{DA} , DA/AA dönüştürücüye iletilir. Burada dönüştürücü, 4 adet IGBT yarı iletken güç anahtarları ve karşılığında 4 adet ters paralel diyot bulunan bir H-köprü evricisidir. Evricide, IGBT güç anahtarlarının darbe genişlik modülasyonu (DGM) yöntemiyle ikili gruplar halinde açılıp kapanmasının sonucunda, U_{DA} , 1000 Hz frekanslı kare dalga formuna çevrilir. Üretilen çıkış gerilimi (U_{OF}), kaynak transformatörünün giriş gerilimi olarak primer bobinine iletilir. Kaynak transformatörü, bir düşürücü transformatördür. Düşük akımlı yüksek gerilimi, dönüştürme oranında, düşük gerilimli yüksek akıma çevirir. Sekonder bölümünde üretilen OF, kare dalga formundaki yüksek akım, transformatörün iki sekonder bobinine bağlı, iki diyottan (D_5, D_6) oluşan tam dalga doğrultucuda doğrultulur. Doğrultucu çıkışında OFDA kaynak akımı üretilir [14]. Şekil 9'da bir OFDA-DNK sisteminin basit eşdeğer devresi verilmiştir [14-15].

Kaynak yükünün endüktansı (L_y) ve R_y üzerinden akan i 'ye karşı üretilen ısı sonucunda OFDA-DNK elde edilir. Eşdeğer devredeki değişkenlerle birlikte, manyetik alan şiddeti (H), vakum geçirgenliği (μ_0), transformatörün manyetik histerezis kaybı (i_h), transformatör demir çekirdeğinin kesit alanı (S_d), manyetik akı yoğunluğu (B), manyetik akı hattının ortalama uzunluğu (l_{ort}) ve hava boşluğu (δ) değerleri de kullanılarak oluşturulan dört denklem ile sistem matematiksel olarak tanımlanmıştır [15].

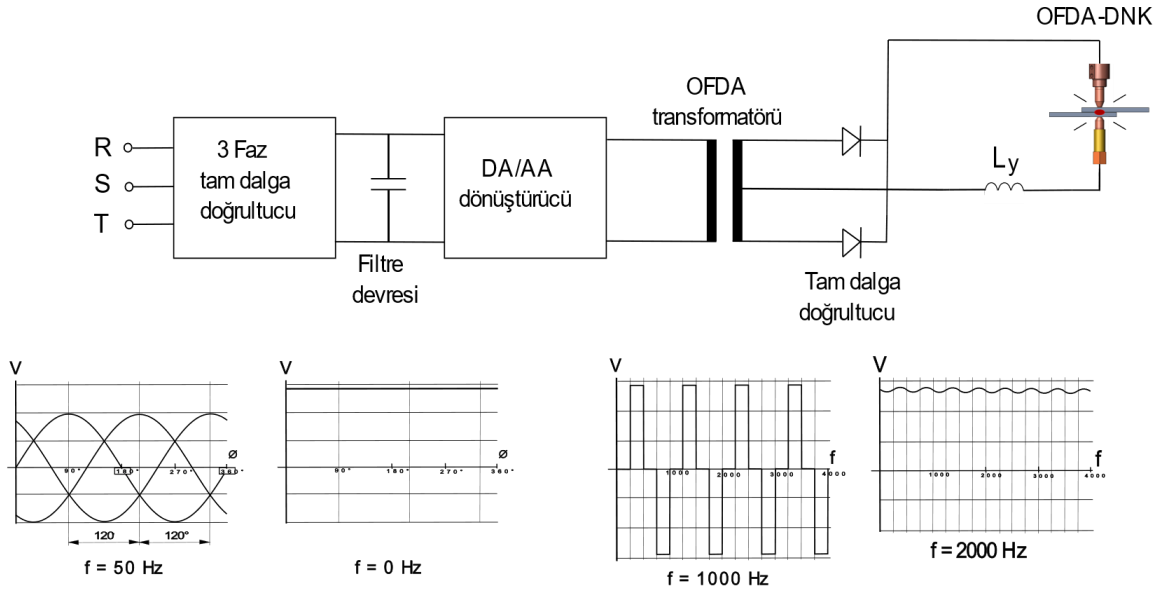
$$u = i_{N1}R_1 + L_{k1} \frac{di_{N1}}{dt} + N_1 S_d \frac{dB}{dt} \quad (2)$$

$$N_2 S_d \frac{dB}{dt} = -i_{N2}R_2 - L_{k2} \frac{di_{N2}}{dt} - u_{D5}(i_{N2}) - iR_y - L_y \frac{di}{dt} \quad (3)$$

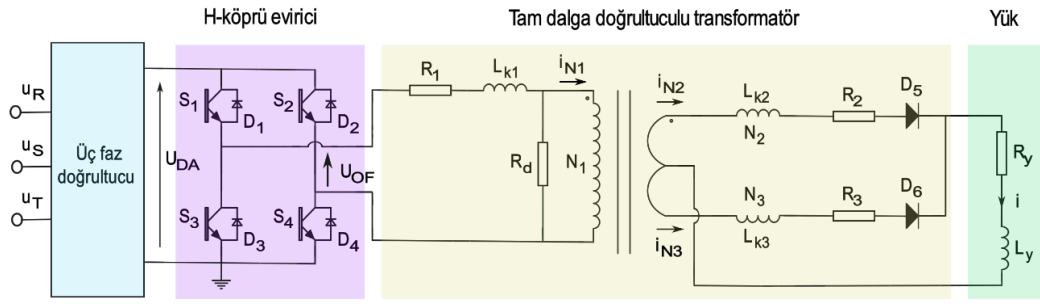
$$N_3 S_d \frac{dB}{dt} = i_{N3}R_3 - L_{k3} \frac{di_{N3}}{dt} + u_{D6}(i_{N3}) + iR_y + L_y \frac{di}{dt} \quad (4)$$

$$N_1 i_{N1} + N_2 i_{N2} - N_3 i_{N3} = H(B)l_{ort} + \frac{B}{\mu_0} 2\delta + \frac{N_1^2 S_d}{R_d} \frac{dB}{dt} + i_h \quad (5)$$

Sistemde, kaynak transformatörünün primer ve sekonder bölümlerinin manyetik alan dengesi, (5) nolu denklem ile tanımlanır. Kaynak akımı, kaynak transformatörünün demir çekirdek kayıpları (R_d), primer ve sekonder bobininin sarım sayıları (N_1, N_2, N_3), kaçak endüktansları (L_{k1}, L_{k2}, L_{k3}), dirençleri (R_1, R_2, R_3) ve bobinlerine karşılık gelen akımlar (i_{N1}, i_{N2}, i_{N3}) tarafından etkilenir. Öte yandan, kaynak transformatörünün neredeyse aynı yapıdaki iki sekonder bobinine karşılık gelen (3) ve (4) denklemleri için benzerlik söz konusudur. Bu iki denklemden, i , sekonder bobinlerinden akan akımların toplamı olarak belirlenir [15].



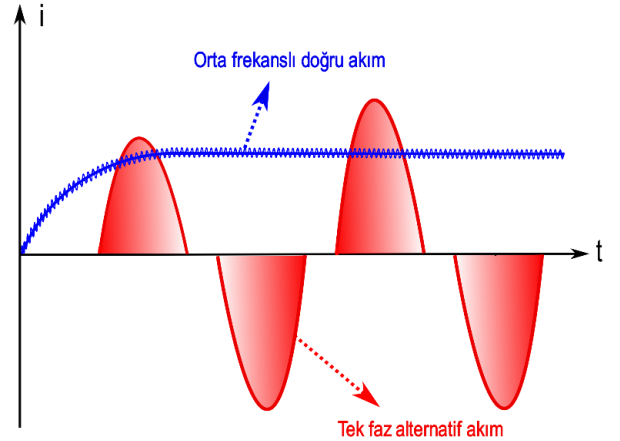
Şekil 8. OFDA-DNK sisteminin blok şeması



Şekil 9. OFDA-DNK sisteminin elektrikselsel yapısı

AA-DNK ve OFDA-DNK çalışmalarında, uygulanan akımın etkin değeri dikkate alınır. Kaynak sırasında akımın etkin değeri ile tepe değerleri arasındaki farkın artması, elektrotlarda ve iş parçasında kaynak problemlerine neden olabilir. AA-DNK sistemlerinde kaynak akımının frekansı, şebeke frekansına eşittir ve akım sadece şebeke geriliminin yarım periyotlarında ayarlanabilir. Kaynak akımı, transformatorün doyuma gitmemesi şartıyla, yaklaşık 10 ms'lik zaman dilimlerinde güncellenir. Frekansın düşük olması sonucunda, tepe değerleri ile etkin değeri arasındaki fark oldukça yüksektir. OFDA-DNK sistemi, şebekenin üç fazından dengeli akım çeker. Giriş doğrultucusunun ardından kullanılan filtre kondansatörleri, gerilim dalgalanmalarını sönümler. Sistemin frekansı 1000 Hz olduğunda, hem daha küçük boyutlu kaynak transformatorü kullanılabilir hem de kaynak akımında daha hızlı ayar yapılabilir. Bu faktörler, akımın tepe değerlerini düşürür. OFDA-DNK akımının tepe değeri ile etkin değeri arasında önemli bir fark yoktur. AA-DNK ve OFDA-DNK akım dalga formları, Şekil 10'da karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur [16].

Standart olarak OFDA-DNK sistemleri üç fazlı AA hat gerilimiyle beslenir. Hat gerilimi giriş doğrultucusuna iletilir. Doğrultucuda üretilen DA bara geriliminin üzerindeki dalgalanmalar bir filtre devresinde giderilir ve eviricinin H-köprüsüne gönderilir. Sisteme uygulanan üç fazlı AA gerilimi DA gerilime dönüştüren giriş doğrultucusu, bir üç fazlı köprü doğrultucusudur.



Şekil 10. AA ve OFDA direnç nokta kaynak akımlarının dalga formları

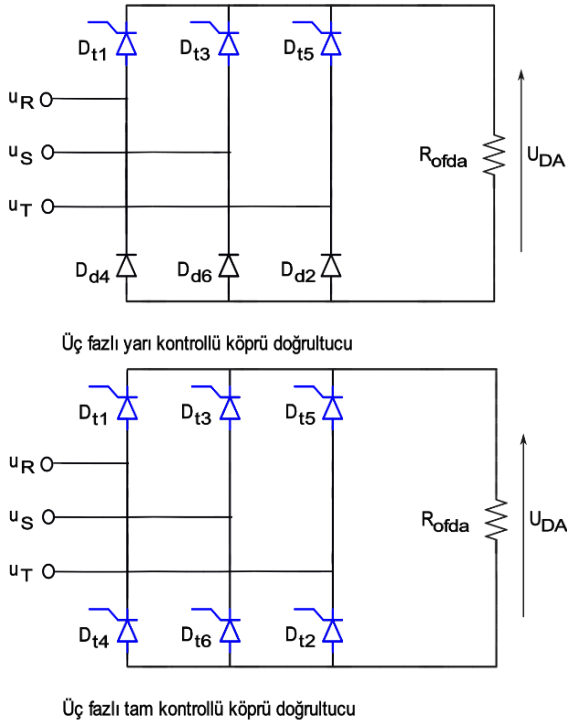
3.1 Üç Fazlı Köprü Doğrultucu

Üç fazlı köprü doğrultucular, üç fazlı tam dalga doğrultma işleminde kullanılır. Kontrollsüz, yarı kontrollü ve tam kontrollü olmak üzere üç gruba ayrılır [17].

Üç fazlı kontrollsüz köprü doğrultucular, diyotlu doğrultuculardır. Dışarıdan herhangi bir kontrol komutu uygulanmaz. İkili olarak seri bağlanmış üç diyot grubunun paralel bağlantısından oluşur. Bu üç diyot grubunun seri bağlantı noktalarına, karşılık gelen AA faz gerilimleri uygulanır.

Üç fazlı yarı kontrollü doğrultucular, tristör ve diyot karışımı bir yapıdan oluşur. Üç fazlı tam kontrollü

doğrultucular ise tamamen tristörlerden oluşur. Her iki doğrultucu grubunda da tetikleme açısı kontrol edilerek DA gerilim ve akım ayarlanabilir. Şekil 11’de üç fazlı yarı kontrollü ve tam kontrollü köprü doğrultucu devreleri verilmiştir.

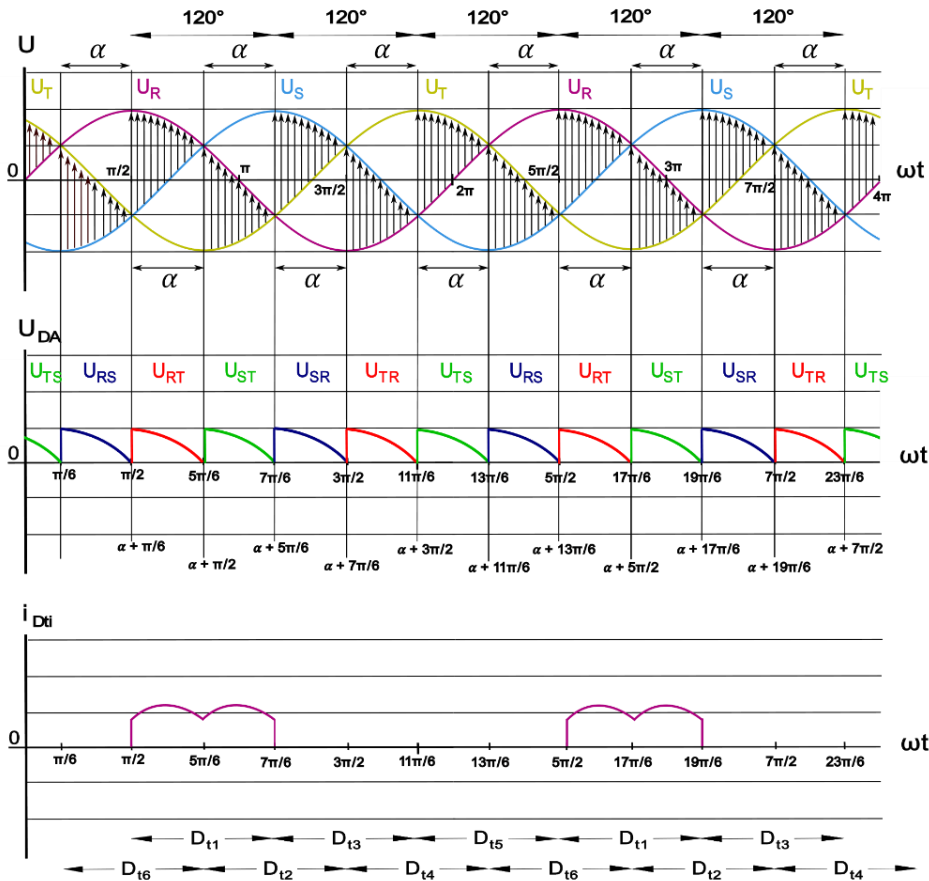


Şekil 11. Üç fazlı yarı kontrollü ve tam kontrollü köprü doğrultucu devreleri

Üç fazlı yarı kontrollü doğrultucular, üç tristör ve üç diyottan oluşur. Pozitif DA gerilim ve akım üretir. Rejeneratif dönüştürücü değildir. Uygulanan üç faz geriliminin sıfır geçişleri takip edilerek, pozitif yarı periyotlarda, tristörler uygun bir α değerinde sırayla tetiklenir. Tetikleme işlemi her $2\pi/3$ 'te bir tekrarlanır. Negatif yarı periyotlar, tetikleme kontrolü olmadan, diyotlar üzerinden iletilir [18]. Üç fazlı yarı kontrollü doğrultucular, çift yönlü dönüştürücü kullanımının gerekli olmadığı uygulamalarda, dönüştürücü devresini ve kontrolünü sadeleştirmek için kullanılır.

Üç fazlı kontrolsüz köprü doğrultucular, diyotlardan oluştuğundan, gerilim veya akım kontrol edilemez. Doğrultucuya dışarıdan bir kontrol sinyali uygulanamaz. Gerilimi veya akımı kontrol edebilmek için, diyotların yerine tristör gibi anahtarlama yapılabilen, kontrol edilebilen cihazların kullanılması gerekir. Tristör, uygun α değerinde tetiklenerek, çıkış gerilimini ve akımını kontrol edebilir [19].

Üç fazlı tam kontrollü köprü doğrultucular, altı adet tristörden oluşur. Rejeneratif dönüştürücüdür, her iki yönde güç akışı sağlayabilir. Üç fazlı yarı kontrollü köprü doğrultuculardan daha az filtreleme gereksinimi vardır. Uygulanan üç faz geriliminin sıfır geçişleri takip edilerek, pozitif yarı periyotlarda anot ucu en pozitif, negatif yarı periyotlarda katot ucu en negatif gerilime sahip olan tristör, uygun bir α değerinde tetiklenir. Tristörleri tetikleme işlemi, numaralandırma sırasıyla her $2\pi/3$ 'te bir tekrarlanır [18]. Şekil 12’de üç fazlı tam kontrollü köprü doğrultucunun gerilim ve akım grafikleri verilmiştir [17-18].



Şekil 12. Üç fazlı tam kontrollü köprü doğrultucuda gerilim ve akım ilişkisi

Şekil 12’de görüldüğü gibi, D_{t1} , $\pi/6 + \alpha$ ile $5\pi/6 + \alpha$ aralığında iletimdedir. İletime geçtiği anın $\pi/6$ ’lık zaman dilimi sonrasında D_{t2} , $\pi/2 + \alpha$ ile $7\pi/6 + \alpha$ aralığında iletime geçer. Sürecin tamamı değerlendirildiğinde, iletim süreçleri bu sırayla devam eder. Tetikleme 60° ve sonrasında yapılırsa, U_{DA} grafiğinde sıfıra düşmeler ve süreksizlikler başlar. Bu durumda, tam kontrollü köprü doğrultucunun çıkışında endüktif yük bağlıysa, U_{DA} grafiğinin işareti değişir. Bu durumda doğrultucu artık bir ters çevirici olarak çalışır. Çıkışta U_{DA} ’nın negatif olmasını önlemek veya sıfır olduğunda da akımın yükü akmasını sağlamak sağlanmaktadır, devreye paralel bir diyot eklenir.

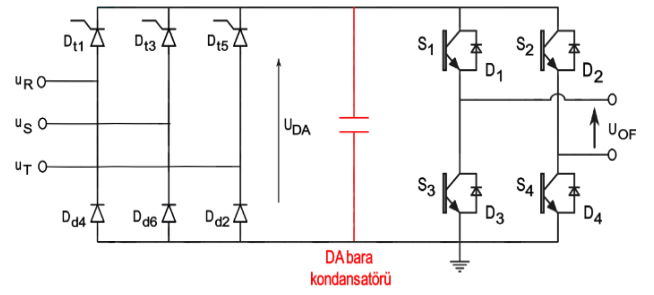
Uygulanan şebeke geriliminin fazları, nominal çalışma şartlarında saf sinüs fonksiyonlarından oluşur. OFDA-DNK sistemine enerji verildiğinde, şebekeden doğrultucuya bir anda gerilim uygulanması, geçici durumda kararsız ve anlık yüksek gerilimin çekilmesine neden olur. Geçici durum sürecinde, üç fazlı köprü doğrultucunun kontrollü olarak düşük bir θ ile iletime geçirilmesi, α açısının yavaşça düşürülerek, θ açısının maksimum değer için artırılması, bu probleme bir önlem olarak uygulanabilir. Bu süreç yaklaşık 1-2 s sürer. Enerji verildiğinde θ açısına müdahale edebilmek için, yarı kontrollü veya tam kontrollü doğrultucu kullanılmalıdır.

Doğrultucudan eviriciye gönderilen U_{DA} gerilimi pozitif işaretlidir. Gerilimin işaretini değiştiren bir çift yönlü dönüştürücünün kullanımına ihtiyaç duyulmaz. Aksine, yükten şebekeye güç aktarımı, kaynak sırasında şebekeyi olumsuz etkileyebileceğinden, önlenmesi gereken bir durumdur. Daha basit yapısının yanı sıra, tek yönlü güç akışına izin vermesi nedeniyle, üç fazlı yarı kontrollü köprü doğrultucunun tercih edilmesi uygundur. Öte yandan, yarı kontrollü doğrultucularda, tam kontrollü doğrultuculara göre daha fazla filtreleme gerektiğinden, U_{DA} çıkışı bir filtre devresinden geçirilerek iyileştirilmelidir.

3.2 Doğru Akım Bara Filtresi

OFDA-DNK sistemlerinde, eviriciye gönderilen U_{DA} geriliminin yapısı, eviriciden sonraki birimleri ve kaynak kalitesini etkiler. Doğrultucunun çıkışında üretilen düşük frekans bileşenleri (v_{DF}) ve H-köprüsünün anahtarlamaları sonucunda oluşan yüksek frekans bileşenleri (Δv), U_{DA} geriliminde dalgalanmalara neden olur. Gerilim dalgalanmalarını yumuşatmak için DA bara kondansatörünün DA gerilim kaynağına Şekil 13’deki paralel bağlantısı, yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir [20].

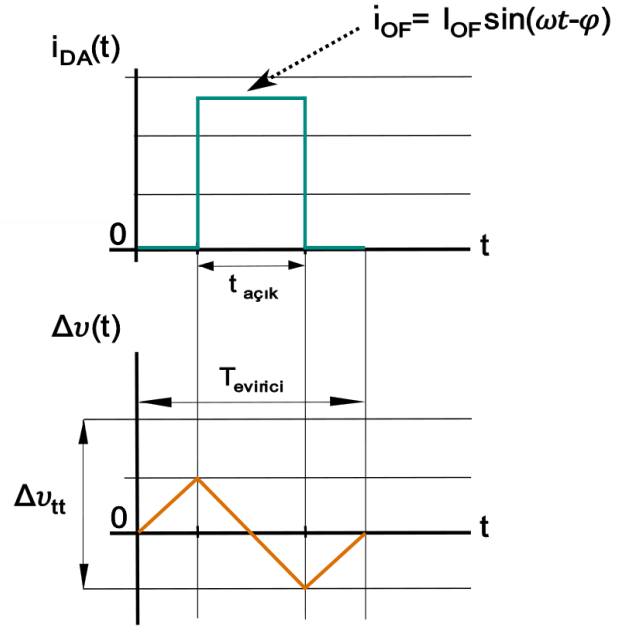
Evirici, doğrultucudan aldığı U_{DA} gerilimini, bir DGM modülasyon yöntemiyle dönüştürür. H-köprüsünde çapraz olarak eşleştirilen iki IGBT grubu, aralarında φ değeri 180° olarak tetiklenir. IGBT grupları aynı anda tetiklenemez. Anahtarlama periyodunun ($T_{evirici}$) açma süresinde ($t_{açık}$) açılıp, kapatma süresinde ($t_{kapalı}$) kapanan IGBT grupları, OF kare dalga gerilim çıkışı üretir. Eviricinin ürettiği U_{OF} ile girişine uygulanan U_{DA} gerilimlerinin oranı, modülasyon indeksi (m) olarak adlandırılır. Çalışmaya göre U_{DA} gerilimindeki dalgalanmanın genliği, eviricinin çıkış akımının genliği (I_{OF}) ve φ ile m ’nin bir fonksiyonudur.



Şekil 13. Doğru akım bara kondansatörü

Yüksek frekans bileşeninin genliği, kullanılan DA bara kondansatörünün değerine göre değişir. Bunun nedeni, bileşenin frekansının kHz değerlerinde olması sonucunda, kapasitif reaktansının DA kaynağın empedansından çok daha küçük olmasıdır. Dalgalanmanın genliği, tepeden tepeye maksimum genliğine veya etkin değerine göre belirlenebilir [20].

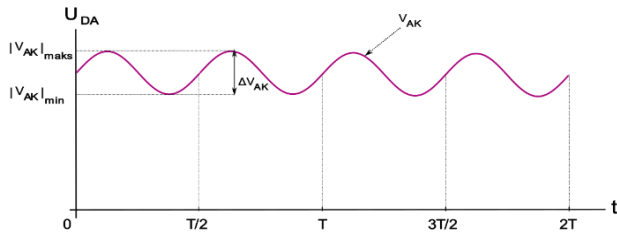
Eviricinin $T_{evirici}$ süresinde anahtarlamaların I_{DA} akımında oluşturduğu anlık etkiyle birlikte U_{DA} geriliminde oluşan Δv ve dalgalanmanın tepeden tepeye genliği (Δv_{tt}) Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 14. Eviricide anahtarlamaların giriş akımında oluşturduğu anlık etki ve giriş geriliminde oluşan dalgalanma

Doğrultucunun çıkışında, frekansı şebeke frekansının iki katı olan düşük frekans dalgalanmaları üretilir. Düşük frekans dalgalanmaları, ayırma kondansatörleri tarafından kontrol altında tutulur. Ayırma işlemi, AA ve DA ayırma olarak iki gruba ayrılan bir filtreleme işlemidir. Dalgalanmanın giderilmesi hedeflenen U_{DA} geriliminin işareti pozitif olduğu için DA ayırma yöntemi uygulanır. Şekil 15’de, düşük frekans dalgalanmalarına karşı kullanılan bir DA ayırma kondansatörünün üzerindeki gerilimin (V_{AK}) grafiği verilmiştir [21].

Düşük frekans dalgalanmasının genliği, kapasitansın yanı sıra DA baranın empedansı tarafından da etkilenir. Düşük frekans dalgalanmaları için DA baranın eşdeğer empedansının (Z_{DF}) ve dalgalanmaların genliğine ilişkin bağıntılar (6) ve (7)’de verilmiştir [20].



Şekil 15. DA ayırma kondansatörünün gerilim dalga formu

$$Z_{DF} = \frac{1}{2\omega C} \sqrt{\frac{R^2 + (2\omega L)^2}{R^2 + (2\omega L - \frac{1}{2\omega C})^2}} \quad (6)$$

$$V_{DF} = \frac{mI_{OF}}{2} \frac{1}{2\omega C} \sqrt{\frac{R^2 + (2\omega L)^2}{R^2 + (2\omega L - \frac{1}{2\omega C})^2}} \quad (7)$$

(7)'nin hesaplanması karmaşık olduğundan, iki varsayımdan birini kabul edilerek sadeleştirilmiştir [20]. Devrenin endüktansının veya direncinin kapasitansından çok büyük olması durumunda, devre endüktif veya rezistif olarak baskın kabul edilebilir. Bu durumda (7) nolu denklem, (8)'e dönüşür.

$$V_{DF} \cong \frac{mI_{OF}}{2} \frac{1}{2\omega C} \quad (8)$$

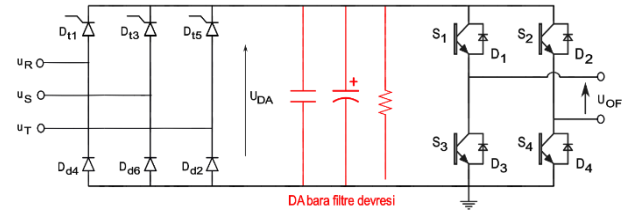
Denkleme I_{OF}^{maks} dahil edilerek, maksimum genlikli düşük frekans dalgalanmasına karşı kullanılacak DA bara kondansatörü tespit edilir.

$$C \cong \frac{mI_{OF}^{maks}}{2} \frac{1}{2\omega V_{DF}} \quad (9)$$

DA bara gerilimi için kullanılacak kondansatörler, film veya elektrolitik seçilebilir. Film kondansatörlerin düşük eşdeğer seri dirençleri (ESR) vardır. ESR, kondansatörün olumsuz bir özelliğidir ve sistemin verimini düşürür. Ayrıca film kondansatörler yüksek gerilim seviyelerine dayanabilir. Şebekede oluşabilecek anlık aşırı gerilimleri sönmüleyebilmek için, devrede durdurucu kondansatörler kullanılır. Film kondansatörler, durdurucu kondansatör olarak kullanılabilir. DA bara gerilimleri için uyumludur. Elektrolitik kondansatörler ise maksimum 550 V'a kadar değer alabildiğinden, daha yüksek gerilimler için birden fazla elektrolitik kondansatörün seri bağlanması gereksinimi vardır. Elektrolitik kondansatör kullanıldığında, gerilim dengeleme direnci ile DA gerilimdeki dengesizleri gidermek gerekebilir. Ancak elektrolitik kondansatörler, film kondansatörlerden daha fazla enerji depolayabilir ve daha ucuzdur. Filtreleme işleminin uygulanacağı gerilimin işaretiyle birlikte, kondansatörün yapısı ve kullanım amacıyla ilgili teknik detaylar incelenerek, seçim yapılır.

DA bara geriliminin filtrelenmesinde kullanılan kondansatörler, yüksek miktarda gerilim depolayabilir. Sistemin enerjisi kesildiğinde ise bu gerilim hızlı bir şekilde boşaltılamayacaktır. Bu yüzden, enerjisi kesildiğinde, güç devresinin gerilim ölçümleri yapılmalı ve kondansatör gerilimlerinin boşaldığından emin olunmadan temas kurulmamalıdır. Bu süreci hızlandırmak için devrede kondansatörlerle birlikte hava alma dirençleri

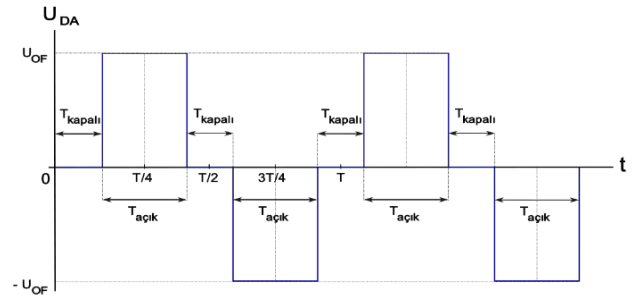
kullanılır. Hava alma direnci, sistem kapatıldığında filtre kondansatörlerinde depolanan enerjiyi boşaltır. Filtre kondansatörleri gibi doğrultucunun çıkışına paralel olarak bağlanır [22]. Şekil 16'da filtre kondansatörleri ve hava alma direnci bağlanmış bir DA bara filtre devresi verilmiştir.



Şekil 16. Doğru akım bara filtre devresi

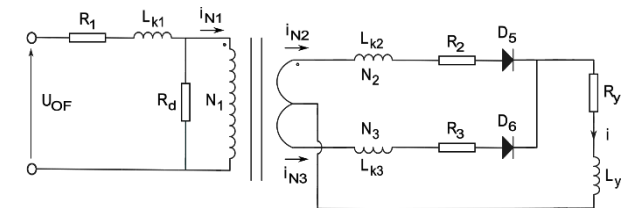
3.3 Doğru Akım Bara Filtresi

OFDA-DNK transformatörü bir düşürücü transformatördür. Uygulanan düşük akımlı yüksek gerilimi, dönüştürme oranında, düşük gerilimli yüksek akıma çevirir. Eviricinin H-köprü çıkışından gönderilen ve OFDA-DNK transformatörünün primer bobinini besleyen U_{OF} gerilimi ise OF AA kare dalga formunda bir gerilimdir. Eviriciye uygulanan U_{DA} gerilimi sabit kabul edildiğinde, transformatöre gönderilen U_{OF} geriliminin yapısı Şekil 17'deki gibidir [23].



Şekil 17. Kaynak transformatörüne gönderilen orta frekanslı gerilimin yapısı

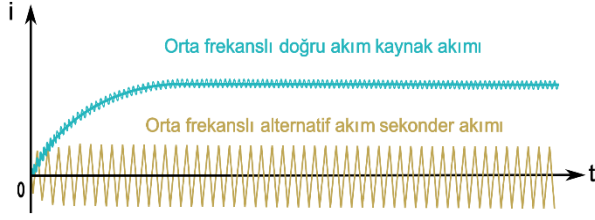
Transformatörün sekonder bölümünde, U_{OF} gerilimi, OF AA bir I_{OF} akımına dönüştürülür. Transformatörün iki adet sekonder bobinini vardır. Çıkışında, her bir sekonder bobinine bağlı bir diyottan oluşan tam dalga doğrultucu bulunur. Transformatör tarafından üretilen I_{OF} akımı, diyotlarda doğrultularak, çıkışta kaynak yüküne uygulanabilecek bir OFDA-DNK akımı elde edilir. Şekil 18'de kaynak yüküne bağlı bir OFDA-DNK transformatörünün eşdeğer devresi verilmiştir [23].



Şekil 18. Kaynak yüküne bağlı OFDA-DNK transformatörünün eşdeğer devresi

Kaynak yükünün OFDA-DNK transformatörünün sekonder bobinine doğrudan bağlantısı durumunda yüke uygulanacak OF AA akımın genliği, DNK amacıyla kullanılmayacak kadar küçüktür. Eklenen tam dalga

doğrultucuyla, sekonder bobinlerinden gönderilen akımlar doğrultularak, genlikleri arttırılır. Böylece, elde edilen OFDA akım, OFDA-DNK sisteminde kullanılabilir bir seviyeye yükselir. Şekil 19’da kaynak transformatörünün OF AA sekonder akımı ile OFDA kaynak akımının yapısı karşılaştırılmıştır [23].



Şekil 19. Orta frekanslı alternatif ve orta frekanslı doğru akım karşılaştırması

Kaynak transformatörünün kullanımında dikkat edilmesi gereken bir nokta, demir çekirdek doygunluğudur. DNK transformatörlerinde, hava boşluklu bir demir çekirdek bulunur. Kaynak sırasında istenen akımı sağlayabilmek için, demir çekirdek, mümkün olan en yüksek B seviyesine çıkmalıdır. Demir çekirdek doygunluğunda, gerekli B seviyesine çıkılamaması söz konusu olabilir. Bu durumda, kaynak akımı için hedeflenen değer elde edilemez [24].

OFDA-DNK sistemini matematiksel olarak tanımlayan dört denklemden faydalanarak, demir çekirdek doygunluğunun nedenlerini incelemiştir [14-15]. Çalışmalarının sonucunda, kaynak transformatörünün primer bobinine uygulanan U_{OF} gerilimin pozitif ve negatif yarım periyotları birbirine eşit ve dengeli olduğunda, demir çekirdekteki doyma seviyesini düşürmektedir. Uygulanan U_{OF} geriliminin yarım periyotları eşit değilse, sekonderde dengesiz akım üretilmektedir. Dengesiz akımlar transformatörde DA bileşen oluşturarak, mıknatıslanma akımları üretir. Mıknatıslanma akımları, demir çekirdek doygunluğuna ve akım artışlarına sebep olur.

Alınması gereken bir önlem, eviricinin H-köprüsündeki iki IGBT grubunu aynı $T_{açık}$ sürede iletme geçirip, aynı $T_{kapalı}$ sürede kesime götürmektir. Yarım periyotların $t_{açık}$ sürelerinde farklılıklar olmamalıdır [14]. IGBT tabanlı OF eviriciler, gelişmiş kontrol yeteneği ve verimliliğiyle, yarım periyotlarda dikkat edilmesi gereken konularda ve hassas akım ayarı gerektiren çalışmalarda tavsiye edilen bir çözümdür [25].

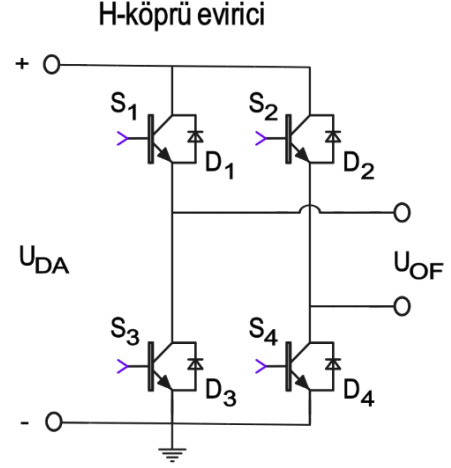
4 Orta Frekanslı Evirici

OFDA-DNK sisteminde üç fazlı köprü doğrultucudan alınan ve DA bara kondansatörleri tarafından filtrelenen U_{DA} gerilimi, eviricinin H-köprü devresine gönderilir. OFDA kaynak akımının ayarlanabilmesi için, 1000 Hz frekanslı DGM sinyalleriyle H-köprü devresi tetiklenir [26].

4.1 H-Köprü Evirici Topolojisi

H-köprü devresi, S1-S4 IGBT güç anahtarları ve D1-D4 ters paralel bağlı diyotlardan oluşur. Devrede S1-S4 bir grup, S2-S3 diğer grup olmak üzere, IGBT’ler çapraz

olarak gruplanır. İstenen kaynak akımını üretmek için gruplar bir DGM yöntemiyle kontrol edilir. İki grup aynı anda tetiklenemez. Gruplar 180° değerinde φ ile çalıştırılır. H-köprü devresi tarafından üretilen OF AA kare dalga formunda U_{OF} gerilimi, kaynak transformatörünün primer bobinine iletilir. Şekil 20’de H-köprü devresi verilmiştir [26].



Şekil 20. H-köprü evirici topolojisi

Ters paralel diyotlara sahip IGBT güç anahtarları, güç elektroniği dönüştürücülerinde yaygın olarak kullanılır. Kapı uçlarına sinyal göndererek IGBT’leri tetiklemek ve gerekli izolasyonu sağlayabilmek için IGBT sürücü devreleri kullanılır. IGBT sürücü devreleri, U_{DA} geriliminden izole olarak IGBT’leri çalışma sınırları içerisinde sürer. IGBT tetiklendiğinde, ters paralel diyot, akıma alternatif bir geçiş sağlar [27].

Kontrol sırasında IGBT, çalışma aralığına uygun bir kapı iletim gerilimiyle (U_{Gon}) tetiklenir ve iletme geçer. IGBT’nin kesime girmesi için ise tetikleme geriliminin sıfıra düşürülmesi yeterli olmayabilir. Gerilim tam sıfıra düşürülemezse veya sıfır gerilimde parazite bağlı dalgalanmalar varsa, IGBT tekrar iletme geçebilir. Bu istenmeyen bir anahtarlama davranışıdır. Önlem olarak, IGBT, yine çalışma aralığına uygun, negatif değerli bir kapı kesim geriliminde (U_{Goff}) kapatılır. Böylece, U_{Goff} ’un üzerinde parazit olsa da gerilim sıfırın üzerine çıkmadıkça IGBT iletme geçmez [28].

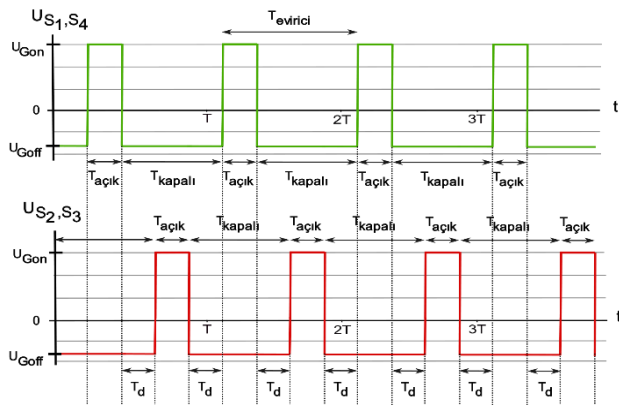
Eviricinin H-köprü devresinde IGBT’leri çalıştırabilecek uygun bir IGBT sürücü devresi kullanıldığında, S1 ve S4 grubu tetiklendiğinde eviricinin çıkışında pozitif, S2 ve S3 grubu tetiklendiğinde negatif U_{OF} gerilimi üretilir. Tüm IGBT’ler kesimdeyken yük uçlarında gerilim görülmez. Farklı IGBT gruplarında bulunan IGBT’ler aynı anda tetiklenirse, kısa devre durumu oluşur. IGBT’lerin zarar görmemesi için bu durumdan kaçınılmalıdır. IGBT sürücü devrelerinin kısa devre korumasına da sahip olması önerilir [29].

Eviricinin DGM kontrolünde, U_{Gon} gerilimi IGBT’lere T_{iletim} süre kadar uygulanır. U_{Gon} ’un aktif olduğu bu sürenin anahtarlama sinyalinin periyoduna oranı, (10)’daki gibi yüzdeye çevrildiğinde, görev oranı (%D) olarak adlandırılır.

$$\%D = \frac{T_{iletim}}{T} 100 \quad (10)$$

Burada T_{iletim} , anahtarın iletimde kaldığı süreyi, T ise anahtarlama periyodunu temsil eder. Pratikte bir güç anahtarının iletime geçmesi ya da kesime gitmesi için belirli bir süre gereklidir. Bir anahtar kesime götürülüp başka bir anahtar iletime geçirilirse, tetikleme zamanları arasında kısa devre meydana gelir. Bunu önlemek için ölü zaman (T_d) denilen bir süre bırakılır. DGM kontrolünde T_d değerinin artması, kısa devre riskini azalsa da gereğinden fazla arttığında, üretilebilecek maksimum kaynak akımını azaltır. Bu yüzden, üretilecek en yüksek kaynak akımı için optimum bir T_d değeri belirlenmelidir [30].

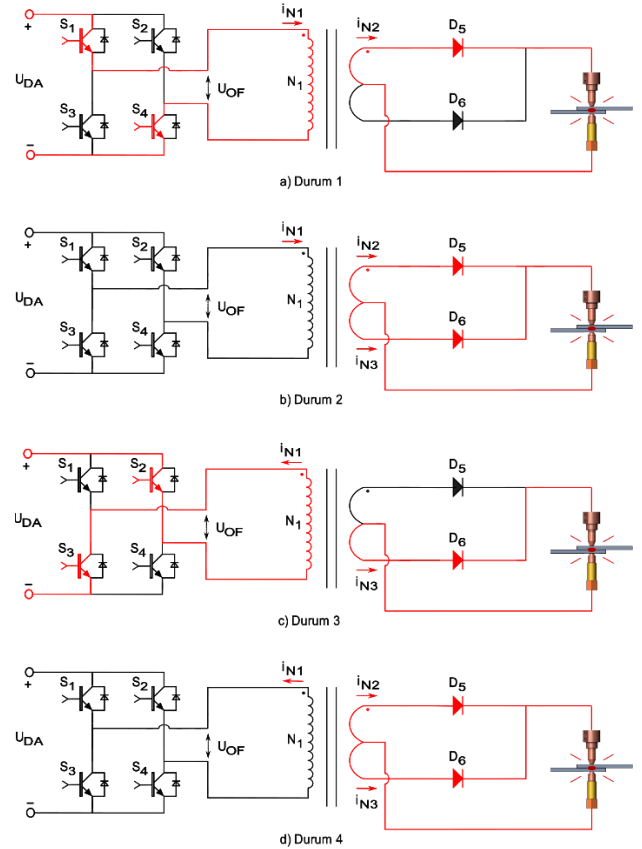
Şekil 21'de H-köprüsünde IGBT'lere uygulanabilecek DGM sinyalleri verilmiştir [30]. H-köprü devresine uygulanan DGM sinyallerinin D değeri arttıkça, OFDA-DNK sisteminin kaynak akımı artar. Düşük kaynak akımlarında D değeri azalır, böylece T_d artar. Öte yandan, T_d 'nin U_{OF} ve I_{OF} üzerinde bozucu bir etkisi vardır. D 'nin doğrusal olarak artırılması durumunda, üretilen I_{OF} ve kaynak akımındaki artış doğrusal değildir [31].



Şekil 21. H-köprüsünün darbe genişlik modülasyonu sinyalleri

OFDA-DNK sisteminde, eviricinin çalışmasında, yarım köprü evirici için yapılan çalışmayla benzer şekilde dört durum vardır [32]. Birinci durumda, S_1 ve S_4 IGBT'leri iletime geçer, S_2 ve S_3 kesimde kalır. Transformatörün primer bobinine, pozitif U_{DA} gerilimi iletilir. Primer bobininden akan akımın yönü pozitiftir. Sekonder bobininde üretilen akım, D_5 diyotu üzerinden yüke uygulanır. İkinci durumda S_1 ve S_4 kesime girer. Transformatörde primer ve sekonder bobininde gerilim sıfıra düşer. Transformatör üzerinde kalan mıknatıslanma akımı, sekonder bölümünde tam dalga doğrultucu üzerinden yüke aktarılır. Üçüncü durumda, S_2 ve S_3 IGBT'leri iletime geçer, S_1 ve S_4 kesime girer. Transformatörün primer bobinine, negatif U_{DA} gerilimi iletilir. Primer bobininden akan akımın yönü negatiftir. Sekonderde üretilen akım, D_6 diyotu üzerinden yüke uygulanır. Dördüncü durumda S_2 ve S_3 kesime girer. Transformatörde primer ve sekonder bobininde gerilim sıfıra düşer. Transformatör üzerinde kalan mıknatıslanma akımı, sekonder bölümünde tam dalga doğrultucu üzerinden yüke aktarılır. Çalışmanın dört durumunda da yükün üzerinden akan akım, transformatörün sekonder bobinlerinin ortak ucuna geri döner. DGM sinyalleri uygulandığı sürece, durumlar periyodik olarak tekrarlanır. Şekil 22'de OFDA-DNK sisteminde H-köprü eviricinin çalışma adımları verilmiştir.

H-köprüsü bir denetleyici tarafından tetiklenerek eviricinin çıkışında 1000 Hz frekanslı kare dalgaların üretilmesi sağlanır. Yeterli düzeyde bir denetleyici olarak TMS320F28069M mikrodenetleyici ünitesi örnek verilebilir [33]. TMS320F28069M, iç yapısında bulunan gelişmiş DGM birimi ile darbe genişliği dalga formlarını oluşturur. Oluşturulan kare dalga formları, doğrudan IGBT anahtarlama elemanlarına uygulanamaz. IGBT'lerin iletime geçmesi için pozitif U_{Gon} geriliminin, kesime girmesi için negatif U_{Goff} geriliminin uygulanması gerekir. Skyper 32 Pro R gibi IGBT sürücü devreler, IGBT modülleri ile denetleyici arasında bir arayüz oluşturarak bu dönüşüm gereksinimini karşılar.



Şekil 22. OFDA-DNK sisteminde H-köprü eviricinin çalışma durumları

IGBT'lerin DGM kontrolü sonucunda üretilen U_{OF} gerilimi, kaynak transformatörünün primer bobinine gönderilir. Düşürücü transformatörün dönüştürme oranı doğrultusunda sekonder bobinlerinde üretilen OF akım, tam dalga doğrultucuda OFDA kaynak akımına dönüştürülerek yüke aktarılır. Yüke uygulanan kaynak akımının ise takip edilmesi gerekir. Kaynak akımı ile ilgili geri bildirim alınmazsa, sistemde akım üretilmediğinde, kontrol birimi bu durumu tespit edemez. Şebeke ve DA bara dalgalanmaları gibi sebeplerle U_{OF} geriliminde oluşabilecek bozulmalar da düşünüldüğünde, akım kontrol edilerek kaynak sırasında D değeri anlık olarak güncellenebilmelidir.

Geri bildirim alınarak sabit tutulması hedeflenen veriye göre, sabit gerilim modu (SGM) ve sabit akım modu (SAM) olarak isimlendirilen farklı kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden, SAM oldukça güvenilir ve kararlı olmasından dolayı daha fazla

tercih edilmektedir. SAM, OFDA-DNK tarafından yüke uygulanan kaynak akımının sabit tutulmasını sağlar. Kaynak sırasında akım bilgisi alarak verileri karşılaştırır. Karşılaştırma sonucunda belirlenen fark doğrultusunda, AA-DNK sistemlerinde α açısını, OFDA-DNK sistemlerinde DGM kontrolündeki D değerini günceller. SAM kontrolüne akım bilgisinin aktarılabilmesi için, geri bildirim sağlayabilecek bir akım ölçüm sistemi gereklidir. Bu ölçüm için, Rogowski bobini önerilmektedir.

5 Sonuçlar

Bu çalışmada, bir OFDA-DNK sisteminin tüm bileşenleri incelenmiştir. Ayrıca geleneksel AA-DNK yöntemlerine göre, OFDA-DNK sistemlerinin üstünlükleri karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur. Karşılaştırmadan elde edilen önemli bazı sonuçlar maddeler halinde sunulmuştur:

- OFDA-DNK sisteminin frekansı 1000 Hz olduğundan daha küçük boyutlu kaynak transformatörü kullanılır.
- Kaynak akımında daha hızlı ayar yapılabilir.
- OFDA-DNK sistemlerde kaynak akımının tepe değerlerini düşüktür.
- Düşük akımlarda OFDA sistem, AA sistemden daha fazla kaynak noktası üretmektedir.
- AA sistemde harcanan enerji OFDA sistemden daha yüksektir.

Ayrıca OFDA-DNK sistemin bileşenlerinden biri olan OF eviricinin çalışma düzeni ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, OF eviricinin, H-köprülerinden oluşan sırt sırta bağlı modelinde, gerek devre elemanlarının az olması, gerekse yapısında sadece yarıiletken elemanları barındırması, topolojinin modülasyon tekniklerine uyumluluğunu arttırmaktadır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmadaki destekleri için Siff Elektromekanik San. Tic. Ltd. Şti firmasına ve yetkililerine teşekkür ediyor.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Jenney, C. L., & O'Brien, A. (2001). Welding handbook: welding science and technology. *Woodhead Publishing Ltd.*, 985 p.
- [2] Zhao, D., Bezgans, Y., Wang, Y., Du, W., & Vdonin, N. (2021). Research on the correlation between dynamic resistance and quality estimation of resistance spot welding. *Measurement*, 168, 108299.
- [3] Deepati, A. K., Alhazmi, W., & Benjeer, I. (2021). Mechanical characterization of AA5083 aluminum alloy welded using resistance spot welding for the lightweight automobile body fabrication. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5139-5148.

- [4] Stepien, M., Mikno, Z., & Grzesik, B. (2019). Experimental Determination of Efficiency and Power Losses in Resistance Welding Machines. In *2019 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ) & 2019 Symposium on Electrical Engineering and Mechatronics (SEEM)* (pp. 1-4). IEEE.
- [5] Zhou, K., & Li, H. (2020). A comparative study of single-phase AC and medium frequency DC resistance spot welding using finite element modeling. *IEEE Access*, 8, 107260-107271.
- [6] Zhou K., & Cai, L. (2011). Improvement in control system for the medium frequency direct current resistance spot welding system. In *Proceedings of the 2011 American Control Conference* (pp. 2657-2662). IEEE.
- [7] Zhou, K., & Yao, P. (2017). Review of application of the electrical structure in resistance spot welding. *IEEE Access*, 5, 25741-25749.
- [8] Podrżaj, P., Polajnar, I., Diaci, J., & Kariž, Z. (2008). Overview of resistance spot welding control. *Science and Technology of Welding and Joining*, 13(3), 215-224.
- [9] Dejans, A., Kurtov, O., & Van Rymenant, P. (2021). Acoustic emission as a tool for prediction of nugget diameter in resistance spot welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 62, 7-17.
- [10] Zhou, K., Yao, P., & Cai, L. (2015). Constant current vs. constant power control in AC resistance spot welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 223, 299-304.
- [11] Baldwin, T., Hogans, T., Henry, S., Renovich, F., & Latkovic, P. (2005). Reactive power compensation for voltage control at resistance welders. *IEEE Transaction Industrial applications*, 41(6), 1485-1492.
- [12] Pouranvari, M. (2017). Critical assessment 27: dissimilar resistance spot welding of aluminium/steel: challenges and opportunities. *Materials Science and Technology*, 33(15), 1705-1712.
- [13] Giaccone, L., Cirimele, V., & Canova, A. (2020). Mitigation solutions for the magnetic field produced by MFDC spot welding guns. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 62(1), 83-92.
- [14] Stumberger, G., Dezelak, K., Polajzer, B., Dolinar, D., & Klopčič, B. (2008). The Impact of voltage generation on harmonic spectra of current and flux density in the welding transformer for a middle frequency resistance spot welding system. In *2008 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting* (pp. 1-8). IEEE.
- [15] Wang, X., Zhou, K., & Shen, S. (2021). Intelligent parameters measurement of electrical structure of medium frequency DC resistance spot welding system. *Measurement*, 171, 108795.
- [16] Nagasathya, N., Boopathy, S. R., & Santhakumari, A. (2013). MFDC - An energy efficient adaptive technology for welding of thin sheets. In *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability* (pp. 901-906). IEEE.
- [17] Rashid, M. H. (2001). Power electronics handbook (Engineering), *Academic Press*, 892 p.
- [18] Lazim, M. T. (2019). Power electronics and drives, *Philadelphia University*, Jordan.
- [19] Lander, C. W. (1993). Power electronics, *McGraw-Hill Education*.
- [20] Vujacic, M., Hammami, M., Srndovic, M., & Grandi, G. (2017). Theoretical and experimental investigation of switching ripple in the DC-link voltage of single-phase H-bridge PWM inverters. *Energies*, 10(8), 1189.
- [21] Qin, Z., Tang, Y., Loh, P. C., & Blaabjerg, F. (2016). Benchmark of AC and DC active power decoupling circuits for second-order harmonic mitigation in kilowatt-scale single-phase inverters. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 4(1), 15-25.

- [22] Fazia, L., Peretti, L., & Zigliotto, M. (2008). Repetitive control and virtual bleeder resistor for AC generator sets with harmonic-sensitive loads. In *2008 4th IET Conference on Power Electronics, Machines and Drives* (pp. 144-148). IET.
- [23] Klopčič, B., Stumberger, G., & Dolinar, D. (2007). Iron core saturation of a welding transformer in a medium frequency resistance spot welding system caused by the asymmetric output rectifier characteristics. In *2007 IEEE Industry Applications Annual Meeting* (pp. 2319-2326). IEEE.
- [24] Petrun, M., Klopčič, B., Polajzer, B., & Dolinar, D. (2012). Evaluation of iron core quality for resistance spot welding transformers using current controlled supply. *IEEE Transactions on Magnetics*, 48(4), 1633–1636.
- [25] Wagner, M., & Bernet, S. (2013). High frequency inverter for resistance spot welding applications with increased power cycling capability. In *2013 Africon* (pp. 1-7). IEEE.
- [26] Brezovnik, R., Cernelić, J., Petrun, M., Dolinar, D., & Ritonja, J. (2017). Impact of the switching frequency on the welding current of a spot-welding system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(12), 9291–9301.
- [27] Lobsiger, Y., & Kolar, J. W. (2015). Closed-loop di/dt and dv/dt IGBT gate driver. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(6), 3402–3417.
- [28] Denk, M., & Bakran, M. M. (2015). Online junction temperature cycle recording of an IGBT power module in a hybrid car. *Advances in Power Electronics*, 2015, 14 p.
- [29] Saleem, J., Majid, A., Haller, S., & Bertilsson, K. (2011). A study of IGBT rupture phenomenon in medium frequency resistance welding machine. In *International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics and Electromotion, Joint Conference* (pp. 236-239). IEEE.
- [30] Yu, Q., Lemmen, E., Wijnands, C. G. E., & Vermulst, B. (2021). Output spectrum modeling of an H-bridge inverter with dead-time based on switching mode analysis. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(10), 11344-11356.
- [31] Zammit, D., Staines, C. S., & Apap, M. (2016). Compensation techniques for non-linearities in H-bridge inverters. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 3(3), 361–376.
- [32] Jabavathi, J. D., & Sait, H. (2020). Design of a single chip PWM driver circuit for inverter welding power source. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 67(4), 720–724.
- [33] Lund, S. H. J., Billeschou, P., & Larsen, L. B. (2019). High-bandwidth active impedance control of the proprioceptive actuator design in dynamic compliant robotics. *Actuators*, 8(4), 71–103.



SEISMIC SOIL-STRUCTURE INTERACTION OF A MASONRY STRUCTURE: SUNGURBEY MOSQUE

Özgür Yıldız^{*1} , Ebru Doğan² , Fatma Berfin Yamak² 

¹Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, Malatya Turkey.

²Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Art, Design and Architecture, Department of Architecture, Malatya Turkey.

Abstract

Original scientific paper

In existing buildings, it may be necessary to repair, adapt, renew, relocate or demolish buildings and building parts that have come to the end of their usage period due to spatial, functional, technical and economic obsolescence. After the necessary applications to extend the service life of buildings, it is of great importance to analyze the dynamic behavior of buildings under soil-structure interaction and earthquake loads and to obtain accurate results. In this study, the seismic soil-structure interaction of the historical Sungur Bey Mosque, which was first built in 1577 but was disassembled, moved and rebuilt in another area (relocated) in order to preserve its historical and cultural values and extend its service life, was examined. The analysis of the masonry structure that survived after the Sivrice (2020) earthquake, where the great loss of life and property occurred, was carried out with the PLAXIS 3D software program. The real record of the Sivrice NS (2020) earthquake was used in dynamic analysis. Local soil properties obtained as a result of field investigation studies were utilized in numerical modeling. Depending on the result of the analyzes, the effects of soil-structure interaction on a reconstructed historical masonry structure were examined. The results obtained from the analysis showed that the local soil conditions have an amplification effect on seismic waves that may induce structural damages in prospective seismic events.

Keywords: Relocation, masonry structure, earthquake, soil-structure interaction, PLAXIS 3D.

1 Introduction

Functional, technical and economic obsolescence occurs when certain performance characteristics of the building and its parts remain below a certain level of service value during their lifetime. In such a case, the building and its parts cannot meet the expectations and requirements in the face of changes and developments in technological, intellectual, visual, social, cultural, aesthetic, environmental and economic conditions. In order to create more sustainable environments, various recovery possibilities have been arranged for buildings and building parts that have reached the end of their lifetime.

Relocation within the established hierarchy of recovery possibilities enables the building system to be reused. At the same time, especially when relocation is applied in historical buildings, it helps to keep social and cultural values alive and transfer them to the future. The relocation of historical buildings takes place in line with social and environmental needs such as changes in building owners and user needs, climate changes and natural disasters, the ground structure they are located in, public investments (road, dam, etc. construction decisions), legal regulations.

Relocation is accomplished by removing existing or historical buildings from their current locations and

transporting them to their new predetermined locations. Relocation is done in three different ways:

- Relocation as a whole/ intact move
- Complete disassembly
- Partial disassembly

Factors such as the distance from the place where the building is located and the area to be moved, construction technique, mass weight, plan scheme and transportation cost are effective in the selection of the method to be used for relocation. Regardless of the method to be applied, the relationship between soil-structure and earthquake loads after displacement is important for the long-term durability of structures. The relationship between soil-structure and earthquake loads should be examined by making detailed analyzes for the assessment of the long-term performance of historical buildings, especially before they are moved to their new location.

In this context, the soil-structure relationship of Sungur Bey Mosque, a historical building with masonry structure, which was relocated in another area, was examined in this study. Since the first day it was built, it has been exposed to many large and destructive earthquakes. Finally, on January 24, 2020, the structure experienced an earthquake with a magnitude of Mw 6.8, the epicenter of which was Sivrice, Elazığ. The main reasons for considering the historical Sungur Bey Mosque within the scope of the study are that;

* Corresponding author.

E-mail address: ozgur.yildiz@ozal.edu.tr (Ö. Yıldız)

Received 05 October 2021; Received in revised form 26 December 2021; Accepted 27 December 2021

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

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1004627>

- It represents an important historical and cultural richness with its four centuries of history,
- It is a transported structure and its structural performance on local soil conditions is worth examining,
- Except for some structural deflections observed, it has not lost its structural performance under static and dynamic loads throughout its life.

Within the scope of the study, information about the period when the Sungur Bey Mosque was first built, the reason for moving, the process of moving and the interventions after the move was obtained as a result of a comprehensive literature search. In order to determine the structural and spatial characteristics of the current state of the building, first observational and then technical fieldwork was carried out. The general structural problems of the building were determined in the observational field study. As a result of the study, it was thought that the visible deviation, especially in the mosque minaret, would cause an important structural problem.

In the technical field study, a simple survey of the building was prepared in order to determine its spatial and structural dimensions. The deviation determined in the minaret section was measured using the total-station device. By using the structural and the soil investigation data the model of the mosque was developed using PLAXIS 3D software program and the soil-structure interaction was analyzed.

2 Case Study (Sungur Bey Mosque)

After the construction of the Keban dam, archaeological excavations, surveys and restoration work, ethnography, folklore and music researches were carried out between 1965 and 1975 in cooperation with universities and official institutions in the settlements that were flooded by the dam. During the works carried out before the construction of the dam, the Sungur Bey Mosque (Baysungur Mosque), which is the subject of the article, was included among the historical structures that needed to be preserved. Afterward, the survey and determination works of the mosque were carried out on 03.07.1969 and 15.08.1969 by the survey teams of the Restoration Department of the Middle East Technical University and the General Directorate of Foundations. As a result of detailed research, it was decided to protect the Sungur Bey Mosque by moving it to another place [1]. With the transfer of the mosque to its present location in 1971-1973, it was the first time a building of this size was relocated in Turkey with the cooperation of universities and official institutions.

In the light of these developments, it was decided to move the building using the dismantling technique with the help of numbers. Before dismantling, the survey of the building and its surroundings was performed, and all the building components were numbered. During dismantling, simple hand tools such as picks, hammers and crowbars were used. The use of lime mortar in the stone masonry provided great convenience in removing them one by one.

It is stated on the inscription in the Harput museum that the mosque was built by Sungur Bey between 1572-1577. The mosque was originally built on slightly sloping

land on the northeastern skirts of the Pertek castle on the edge of the Murat River. (Figure 1) [2]. With the relocation decision, the mosque was rebuilt in Pertek District, at the exit of Elazığ highway, on a sloping land descending from north to south. (Figure 2). There is an elevation difference of 2.83 m between the north and south points of the land where the mosque is newly located.



Figure 1. Before relocation of Sungur Bey [3].



Figure 2. Current location of Sungur Bey [4].

In the center of the mosque, there is a single domed, square planned prayer hall with dimensions of 10.50 x 10.50 m. In the prayer hall, there are plastered rubble masonry walls with a height of 3.50 m from the ground and a thickness of 0.9 – 1.10 m. The struts carried by the masonry stone walls bordering the prayer hall are limited by a pointed arch. An octagonal surface was used in the transition to the dome. The width of the dome in the prayer hall is 9.80 m and its height is 11.40 m from the ground. There are many windows on each facade, two on the lower part, one on the upper part (except for the north facade), and one on each facade of the octagonal drum. [5].

In the northern part of the building, there is a narthex with a width of 12 m and a depth of 4.50 m. The east and west facades of the narthex are closed, and there are three domes with pendentive passages on them. There is a 29.00 m high minaret, which rises on a pedestal measuring 3.00 x 1.80 m, located in the north-west of the mosque. The east, west and south façades of the mosque are symmetrical and were formed with lime mortar between the rough rubble stone walls. The walls of the northern façade were built with cut stone.

Various maintenance and repairs were carried out by the General Directorate of Foundations in 1977, 1978, 1981, 1987-1988 in order to eliminate the damages caused by environmental and structural effects after the relocation process. Within the scope of the study, it was determined that there were some assembly and structural problems in the mosque.

Assembly Problems: The decorations on the crown door of the mosque also showed defects in application and workmanship (Figure 3). In addition, some gaps were found in the joint fillings between the decorations. Especially as a result of the repetitive temperature changes of the settlement area, regional defects may occur in the decorations. In addition, significant manufacturing defects were detected at the stone joints in the interior (Figure 4).

Structural Problems: In the interior of the building, there are deficiencies in the joint filling in a significant



Figure 3. Assembly problems of the crown door



Figure 4. Stone wall joints problem in the interior.



Figure 5. An example for Insulation problem.



Figure 6. Cracks in the lintel above the window.

Structural damage to the architectural heritage is often caused by the displacement of the earth's soil, its differential settlement, rotation of the structure or any other effect of the interaction between the structure and the soil [6]. Many analytical and experimental studies have been carried out to determine the structural behavior of historical buildings [7-19]. The most crucial part of the studies performed in this area is to evaluate the soil and building behavior together. Otherwise, performing these analyzes independent of the soil conditions may cause possible soil amplification effects to be neglected especially for dynamic cases.

The behavior of the structure under the earthquake is affected by factors namely; source effect, path effect, local

part of the arch elements. In addition, insulation problems and plaster spills were detected in certain areas on the walls, under the windows and inside the dome (Figure 5). If preventive measures are not taken, this may lead to significant structural problems in the future. There are cracks in the lintel above the window that is suitable for capillary and development (Figure 6).

Significant deflections were detected on the basis of the single-story WC structures, which were built separately in the mosque yard. It is thought that this situation occurred as a result of differential settlements on the ground. In the body of the mosque minaret, a visible deviation from the vertical axis is observed at the exit level of the roof of the prayer hall. It is thought that this deviation will cause an important structural problem in the future. However, there is no clear information about whether this deviation occurred after the earthquake. (Figure 7).

soil conditions, and soil-structure interaction. The source effect is generally considered to be the fracture mechanism, the distance to the fault, and the earthquake magnitude. Earthquake waves, on the other hand, reach the soil surface by passing through different rock formations, and in some cases are changed by soil layers. With this change, seismic waves may amplify or deamplify up to 4-5 times. As a result of these effects, upper structures will be exposed to extreme earthquake forces. Therefore, soil-structure interaction (SSI) analyzes are of great importance in simulating the real behavior of structures under earthquake motions. In general, the SSI analysis has been performed under two categories namely; substructure and direct method. Both of these methods

aim to overcome nonlinearity problems. According to Menglin and Jingning [20], this interaction may become evident in three ways; **i.** In particular, the fundamental period will lengthen and the rigid body motion of the structure will change, **ii.** The overall damping of the soil-structure system increases, **iii.** It will change free-field ground motion.

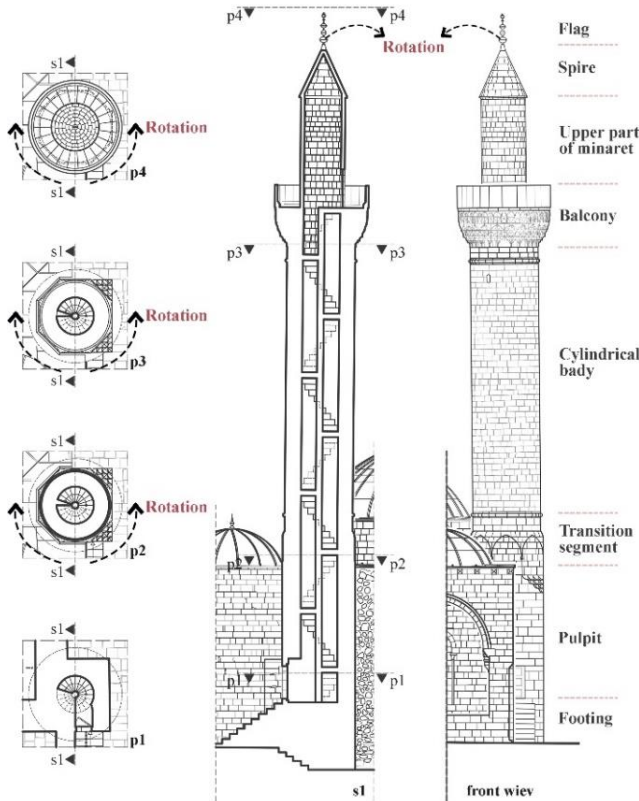


Figure 7. Deviation observed in the minaret.

Studies on soil-structure interaction were conducted by several researchers [21-27]. Ivanovic [23] performed 3D finite element analysis of a seven-story reinforced concrete building supported by the piled foundation on loose soil. Effect of the load magnitude and length/diameter ratio on pile response and pile head displacement subjected to harmonic loads revealed as a result of finite-difference numerical analyses performed by researchers [24]. Torabi and Rayhani [25] utilized FEM models to investigate the effect of site response and seismic soil-structure interaction on the performance of structures. It was demonstrated that the greater values of aspect ratio and structure-foundation relative stiffness ratios may lead structure vulnerable to the inertial soil-structure interaction. A set of factors depending on the structural abrasion of masonry foundations were proposed utilizing 2D FEM models [26]. Gouasmia et al. [27] developed analytical models of a 5 story reinforced concrete building to investigate soil-structure interaction. Allowing the structure to slide or uplift has not changed on measured acceleration or displacement whereas the base shear and overturning moments reduced 74%. Kavitha et al. [29]. investigated the dynamic behavior of a pile embedded in various types of soil using PLAXIS 3D finite element software. It has been revealed that the dynamic response is dependent on the frequency and stiffness ratio. As a result of a set of FEM analyses of a

historical masonry church performed using the PLAXIS 3D software program, the humidity problems are attributed to subsurface water rise, and the damages on brick walls are explained with the consolidation settlement of the soil occurred after earthquakes [6]. Bovolenta and Bianchi [30] developed a 3D model of a village subjected to slope movements and a historical church. The soil movement that caused damages to a historical church is validated by FEM analysis. The dynamic soil-structure interaction of a railway bridge was investigated and it has been revealed that the adjacency of the fundamental frequencies of the structure and soil strongly influences soil-structure interaction [31]. The purpose of the current study is to develop 3D FEM model of the historical masonry Sungurbey Mosque, to investigate dynamic soil-structure interaction considering local soil conditions. The main motivation for the analysis is to simulate the seismic soil-structure interaction under local soil conditions of a reconstructed masonry structure in an area with high seismic activity intensity with the same structural elements after being moved. The analysis is accomplished by the HS small soil model which is a refined version of the hardening soil model for modeling soil behavior within the small strain ranges. The soil profile was modeled using site investigation data. In the dynamic analysis, the Sivrice (2020) earthquake record was used, the epicenter of which is very close to the location of the mosque (i.e. 60 km). The response of the building was evaluated in terms of accelerations and lateral displacements.

3 Seismicity and Local Soil Conditions

Pertek is located between the two most important seismic belts of Turkey, the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) and the North Anatolian Fault Zone (NAFZ). Among these belts, the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) is a 580 km long left-lateral strike-slip fault zone extending in NE-SW direction between Karlıova and İskenderun Bay in eastern Turkey. It lies along the border between the Anatolian Plate and the Arabian Plate. The Eastern Anatolian Fault starts from the Maraş Triple Junction at the northern end of the Dead Sea Fault Zone (DSFZ) and runs in the Northeast direction and ends at the Karlıova Triple Junction. Another important fault system is the NAFZ, which runs east-west. The NAFZ is an 1100 km long right-sided and strike-slip active fault line, starting from Karlıova in the east and extending to the Biga Peninsula and Saros Bay in the west, with a length of approximately 1200 km and intersecting the north of Turkey. [31-34]

As a result of the researches carried out in recent years, a fault with a lateral continuity in the topography has been mapped around Pertek [35]. The findings suggest that the Pertek fault is located in the compression zone between Erzincan, Karlıova, and Elazığ, bounded by the NAFZ to the north and the EAFZ to the east. The fault extends south-east and north-west direction and is approximately 40 km long. The southeast extension of the fault is under the Keban Dam Lake, while the northwest extension is damped along the Kinzir creek in the northwest of the Gökçe district (Figure 8). The seismic hazard map of Turkey is presented in Figure 9

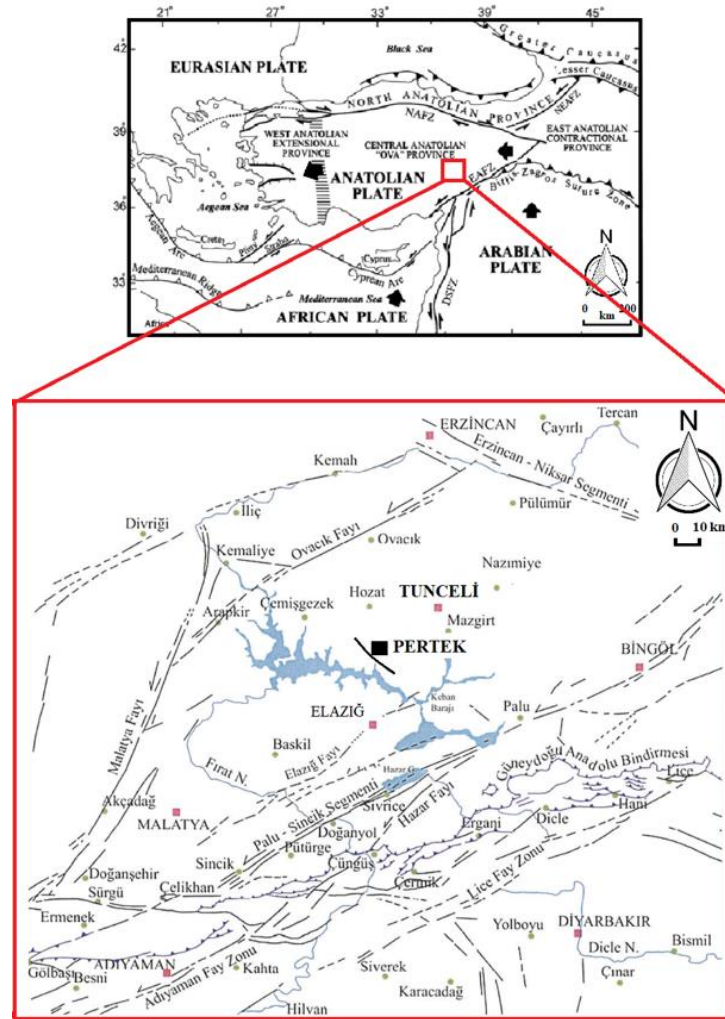


Figure 8. Simplified tectonic map of eastern Turkey showing major structures and neotectonic provinces (DSFZ – Dead Sea Fault Zone, EAFZ – East Anatolian Fault Zone, NAFZ – North Anatolian Fault Zone, NEAFZ – Northeast Anatolian Fault Zone) [32-34].

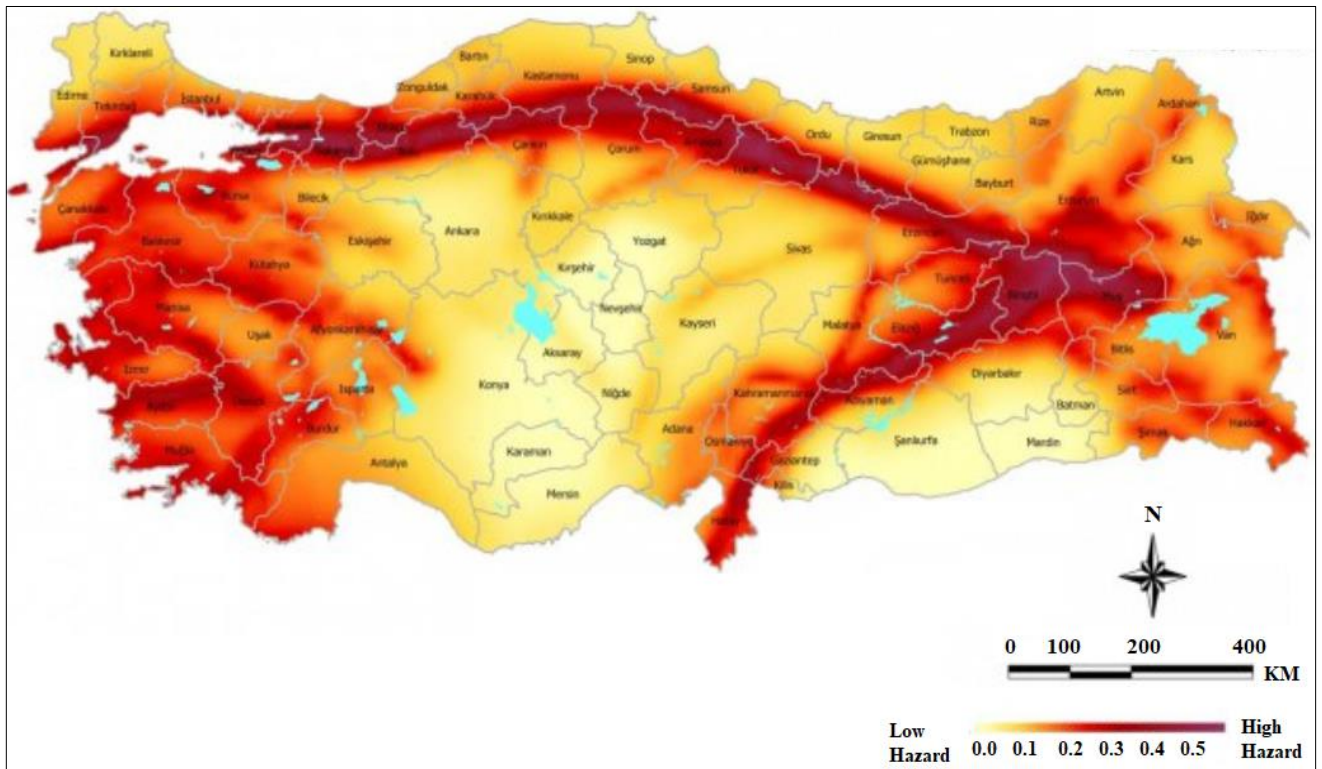


Figure 9. The Seismic Hazard Map of Turkey [38]

In the investigation area, 4 boreholes with a depth of 20 m and 3 Multi Analysis Surface Wave (MASW) tests were carried out. As a result of the field investigations, artificial fill layers up to 0.50 m depth from the ground level and clayey gravel and clayey sand units at different levels up to 40 m depth were encountered. Gravel and sand contents differ in lateral and vertical directions. The groundwater level is below the bottom of the borehole.

The V_{s30} wave velocities of the Quaternary units in the study area were measured as low in the upper layers and high in the deeper layers. When V_s wave velocities are measured as 430 m/sec on average, soil class is defined as C according to the NEHRP soil classification system. The soil parameters are summarised in Table 1. The idealized soil profile with the SPT and MASW test results is depicted in Figure 10.

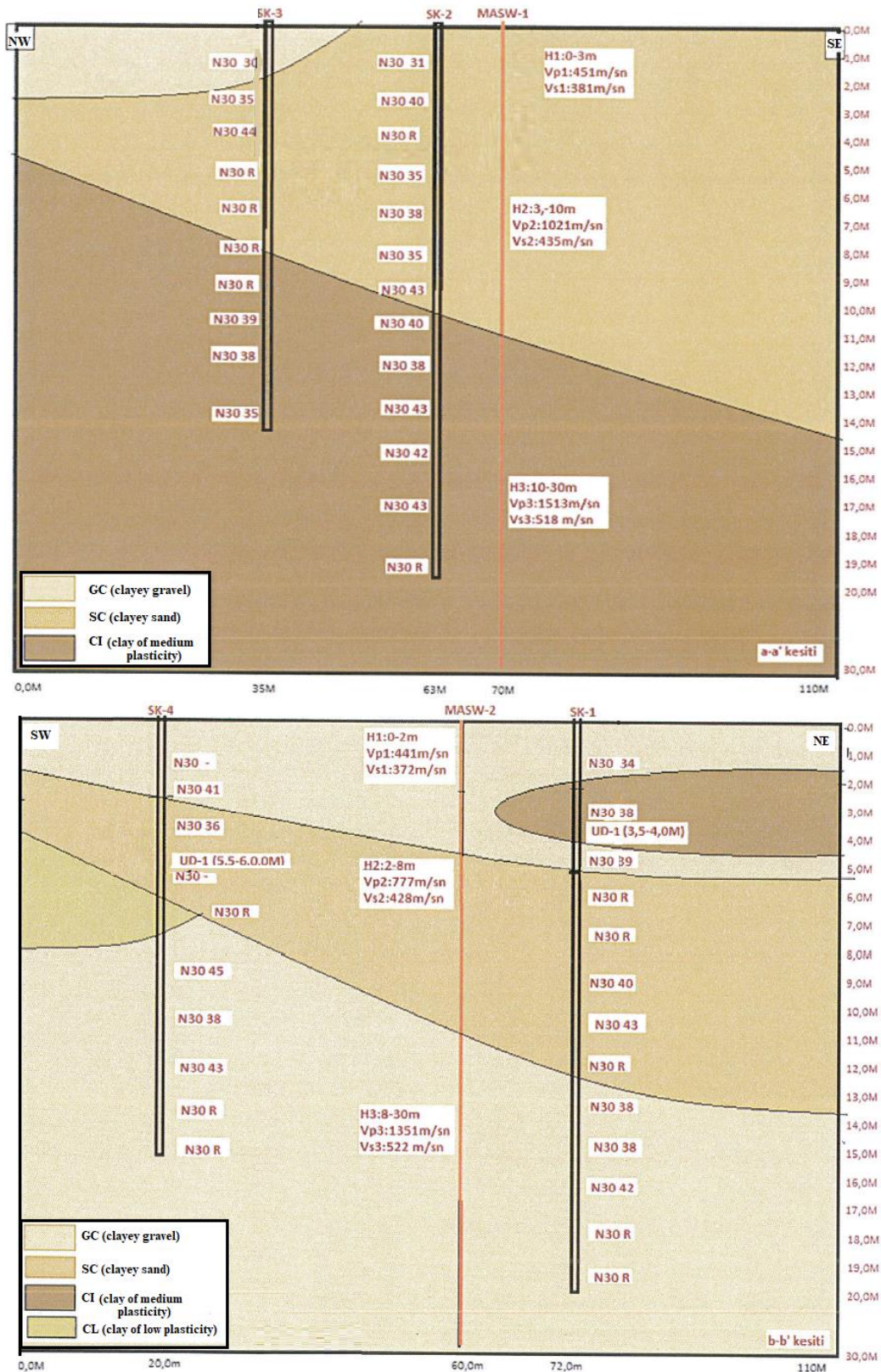


Figure 10. Idealized soil profile

4 Numerical Model and Analysis

The effects of local soil conditions on structural performance have been observed once again in recent earthquakes. Therefore, PLAXIS 3D finite element program, which is software with a high ability to analyze dynamic soil behavior, was used for soil-structure interaction analysis. The hardening soil model is an advanced model for simulating soil behavior. It assumes the elastic material behavior during unloading and reloading. However the strain range of the elastic soil is very small, therefore, the HS small soil model in which the very small-strain soil stiffness and its non-linear dependency on strain amplitude are taken into consideration is adopted as a soil behavior model. The HS small model requires defining reference stiffness modulus for first loading ($E_{50, ref}$), reference Young's modulus for unloading ($E_{ur, ref}$), and oedometer modulus ($E_{oed, ref}$). However, these parameters were numerically calculated by assuming the power for stress level dependency of stiffness, m as 0.70 since there is a lack of laboratory tests. The reference shear strain ($\gamma_{0.7}$) and shear modulus (G_{ref}) were used as $15 \cdot 10^{-5}$ and 300.000 kN/m^2 , respectively. The area of the model has been determined as $60 \cdot 60 \text{ m}$ wide in order not to be affected by the limited zone of the soil as stated by researchers that may capture non-linearity problems related to soft soil conditions [40]. Standard fixities were adopted at the boundary to fix the bottom in all directions. The geometry of the model is divided into volume elements and compatible structural elements. The element distribution was set to medium in the mesh generation menu. Since the total area of the model is enough large, the finer mesh size was not preferred to avoid very long calculation times (Figure 11). The calculation process consists of the initial conditions, simulation of the construction of mosque, loading, free vibration, and earthquake analysis phases, respectively.

The earthquake record with a magnitude of M_w 6.8, which happened at a depth of 8.06 km in Sivrice (EW), Elazig on January 24, 2020, was used as input motion in the analysis. The details of the earthquake are given in Table 2. The record has measured by the TK2308 Sivrice station. To get rid of the noise contamination portion of the record, high pass and low pass filters were applied as 0.1 Hz and 25 Hz low and high cut-off frequencies, respectively. In this way, the signal-to-noise ratio (SNR) remained above 3. This evaluation regarding the determination of cut-off frequencies was carried out on the FAS belonging to the earthquake record. The acceleration-time history of the record is given in Figure 12. The partition and load-bearing walls of the mosque, except for the dome, are designed as limestone, which is used as a natural building stone in a significant part of the historical buildings in Turkey. Stone samples have been collected from different locations in the structure of Sungurbey Mosque and the physical and mechanical testing have been achieved in the Ar Alçı Laboratory in Elazig by authors. The engineering properties of the stone are determined by laboratory tests and summarised in Table 3. Considering the laboratory test results, the self-weight of the structural elements was considered in the analysis during the construction phase. The masonry structure of the mosque was modeled using a solid element module. The mosque was modeled using frame elements for stone columns and shell elements for the ceilings. The domes are modeled as shell elements. The foundation is designed as a continuous with a thickness of 1 m. The material properties of the model is summarises in Table 4. All the graphical demonstrations were made for selected nodal points from different heights of the model and soil profile. The origin of local coordinates for the developed model is defined as front-left corner point as Node 0. Each of the selected nodal points and their local coordinates were summarised in Table 5 with a schematical demonstration of the mosque.

Table 1. Soil parameters used in numerical modelling

Layer	Depth (m)	γ (kN/m ³)	$E_{50, ref}$ (kN/m ²)	C_{ref} (kN/m ²)	ϕ (°)	ν_{ur}	V_s (m/s)
Topsoil	0-0.50	16	10000	40	5	0.2	430
Brownish clayey gravel	0.50-2.0	16	15000	44	5		
Medium plasticity dark brown clay	2.0-4.0	17	15000	47	5		
Clayey gravel I	4.0-5.0	17	20000	44	5		
Dark brown clayey sand	5.0-13.5	17	20000	55	7		
Clayey gravel II	13.5-20.0	18	30000	55	7		

Table 2. Details of the applied earthquake motions

Earthquake	Date	Station Name	Magnitude	Component	PGA (cm/sec ²)
Sivrice, Elazığ	24.01.2020-17:55 (GMT)	Sivrice (2308)	6.8 (M_w)	E-W	292.80 (0.30 g)
				N-S	235.79 (0.24 g)
				U-D	178.58 (0.19 g)

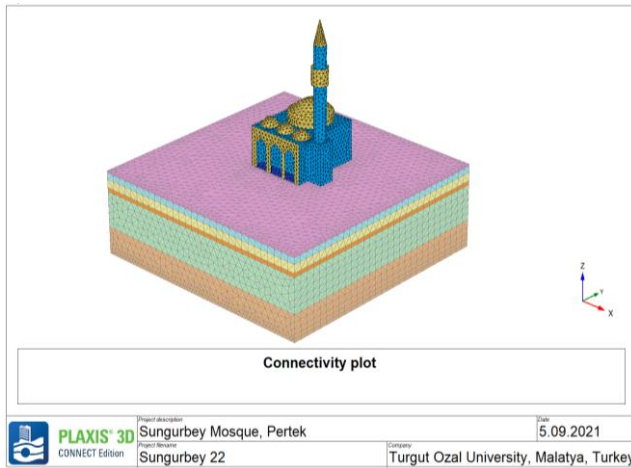


Figure 11. Meshed view of the model

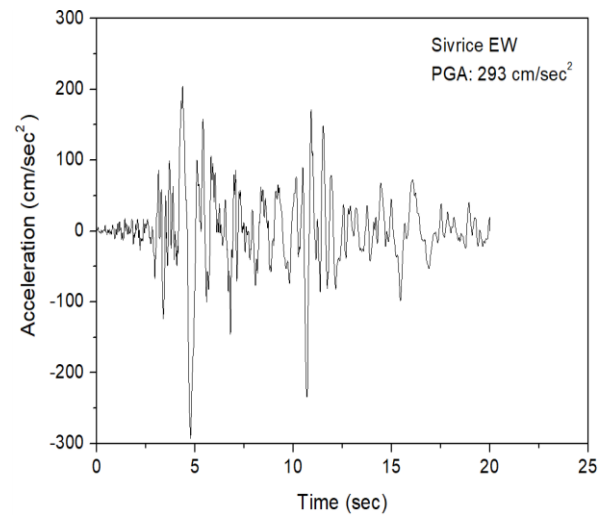


Figure 12. The acceleration time history of Sivrice EW (2020) earthquake

Table 3. Average material properties of limestone

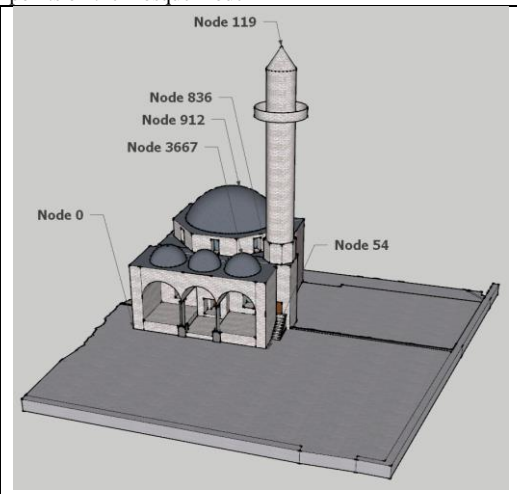
Sample	G_s (g/cm ³)	W_a (%)	n (%)	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	E (GPa)
Limestone	2,68	2,93	0,11	94	11,45	30

Table 4. Material properties of the structure

Parameter	Foundation	Structure
EA (kN/M)	13.000.000	850.000
EI (kNm ² /m)	2.000.000	70.000
w (kN/m/m)	20	15
v	0.0	0.0
α	0.23	0.23
β	0.008	0.008

Table 5. The local coordinates selected nodal points on the mosque model

Nodal Points	x (m)	Y (m)	Z (m)
0	0	0	0
836	14.90	4.40	5.30
3667	11.40	2.60	6.74
912	7.45	11.20	10.40
119	14.10	6.20	26.4
54	42	28	0



5 Results and Discussion

Acceleration spectra were obtained as a result of analyzes for the base of the soil profile (i.e. Node 131), ground surface (i.e. Node 54), the top level of the main dome (i.e. Node 912), and minaret flag level (i.e. Node 119) defined for 5% damping ratio is given in Figure 13. While the spectral acceleration values at the level of the soil profile defined at a depth of 40 meters from the ground level were in the order of 0.50 g, this value was calculated as 0.55 g with an increase of 10% at the ground

level. If the investigation area is located on the bedrock or if the stiff soil layers are close to the surface, the effect of the local soil conditions is much smaller than the source effects. However, in such soft soil layers, earthquake waves are significantly affected by the properties of soil environment and significant increases in amplitudes may occur. The amplification effect observed here on earthquake waves is attributed to clay units with lower density and stiffness at different depths.

The spectral accelerations of varied damping ratios for nodal points selected from different heights of the

mosque are given in Figure 14. The natural period of the considered nodes is around 0.5 sec. As the height of the selected nodes increases, the amplitude of the calculated spectral acceleration gets higher values at each damping level. The spectral acceleration for the Node 119 which represents the flag level of the minaret is calculated as 2.3g. Considering the whole masonry structure, it is likely that the acceleration values calculated at these levels at the end of the analyzes may normally cause destruction, especially for the minaret, which is vulnerable to damage in seismic conditions due to its height and structural features. According to the literature studies, minarets are at the limit of collapse in terms of tensile stresses. The main reason for this is that the tensile stresses are concentrated in the transition region of the minaret. Because in this region, the cross-sectional area is considerably reduced in the transition from square section to circular section [40]. In addition to these structural features of the minarets, the amplification effects due to soft soil conditions compel these structural elements to

damage in seismic conditions. In this case, it is assumed that the acceleration value calculated at the bottom of the soil profile is amplified as a result of soft clay layers.

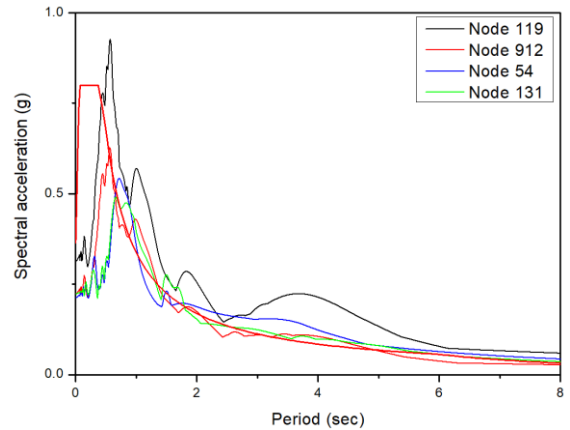


Figure 13. Response spectrum of various nodal points of structure and soil profile

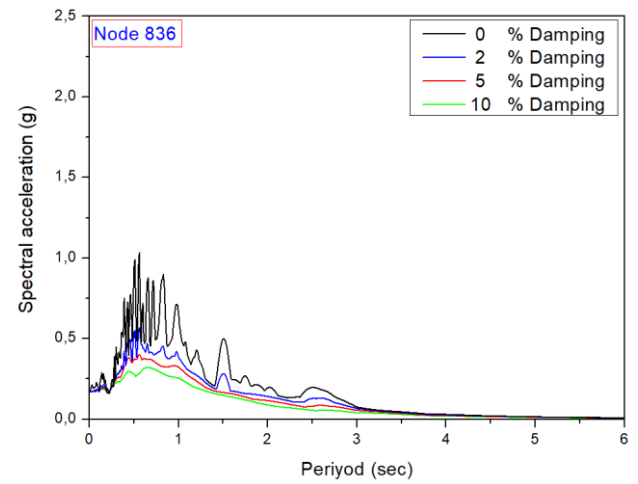
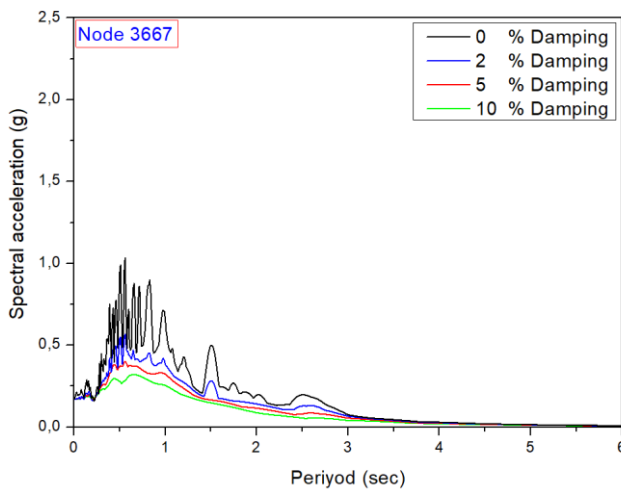
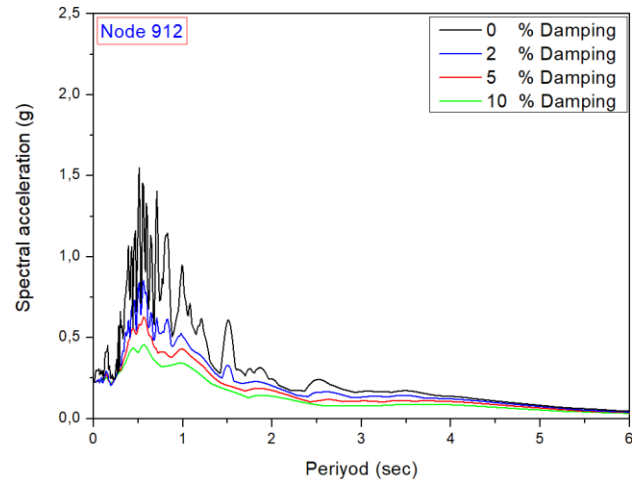
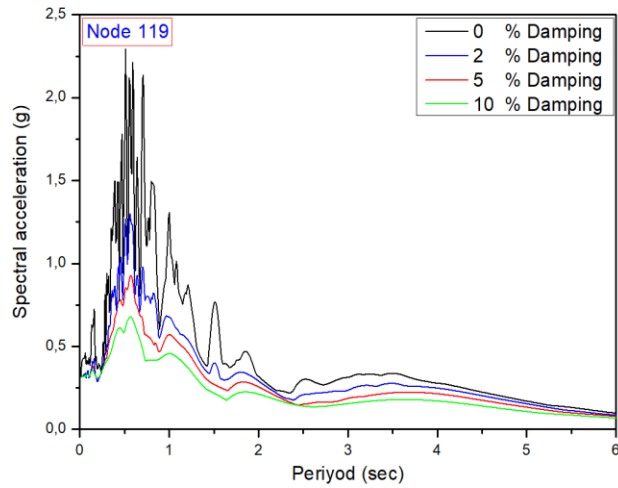


Figure 14. Response spectrum of selected nodal points on mosque model

The numerical model of the structure is subjected to Sivrice 2020 earthquake and the measured acceleration time history for selected nodal points is presented in Figure 15. The nodal points were selected from different heights of the numerical model in order to measure the effect that occurs at different heights of the structure. The PGA value of the applied earthquake motion is 0,29 g (293

cm/sec²). The nodal points of 836 and 3667 represent the center of the semi-dome and the pulpit of the minaret, respectively. The PGA measured by the specified those two nodal points was measured as 0,22 g. Besides that, the PGA value of the central dome was measured as 0,24 g. The PGA value of the flag which is the highest level of the minaret was measured as 0,36 g. It is seen that the

acceleration values increase as the considered nodal points get higher in terms of their elevation with respect to the base of the structure. The deflection observed on the minaret are attributed to the amplified accelerations along the cross-section.

The displacement time history of the selected nodal points is demonstrated in Figure 16. The maximum lateral displacement for Nodes 836, 3667 and 912 is calculated lower than 1 cm. However, the maximum lateral displacement calculated at the flag level is measured as 13 cm. Indeed, total station measurements made in the field also confirm the lateral displacement (*i.e.* 11 cm) from the vertical axis at the flag level of the minaret, which was obtained from the numerical analysis. However, there is no clear information about whether the displacement immediately occurred after the Sivrice 2020 earthquake. What is clearly known about this is that the horizontal displacement in the minaret does not progress over time

with the measurements made at intervals. Figure 17 demonstrates the geometry and FE discretization of the 3D model and the deformed mesh of the analyzed model. The maximum vertical displacement is obtained as 10 cm. The calculated vertical displacement can be considered as a cause of vertical cracks formed on the structural elements and their progression throughout its service life. The subsurface soil conditions of the mosque consist of multilayers of soft clay mixed with sand and gravel. The vertical displacement under seismic loading is attributed to the lower stiffness of soil layers. The increasing stiffness and shear strength of soil as a result of seismic shaking are referred to as influencing factors on seismic settlement. The earthquake shaking caused densification of soil having less relative density results as seismic settlement. The HS model, precisely because of this reason, is utilized for the investigation of soil behavior for small strain ranges.

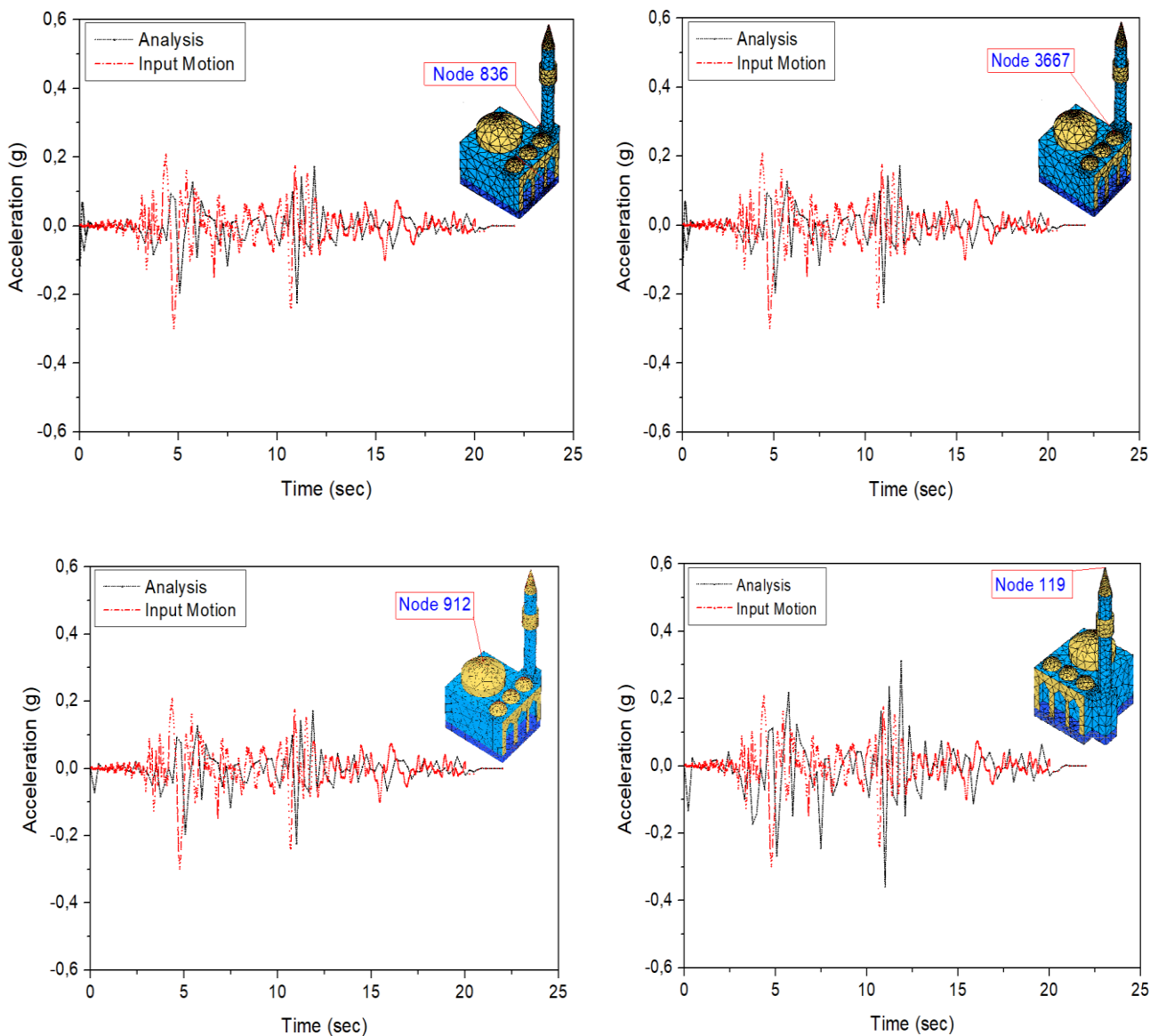


Figure 15. Acceleration time history of the selected nodal points

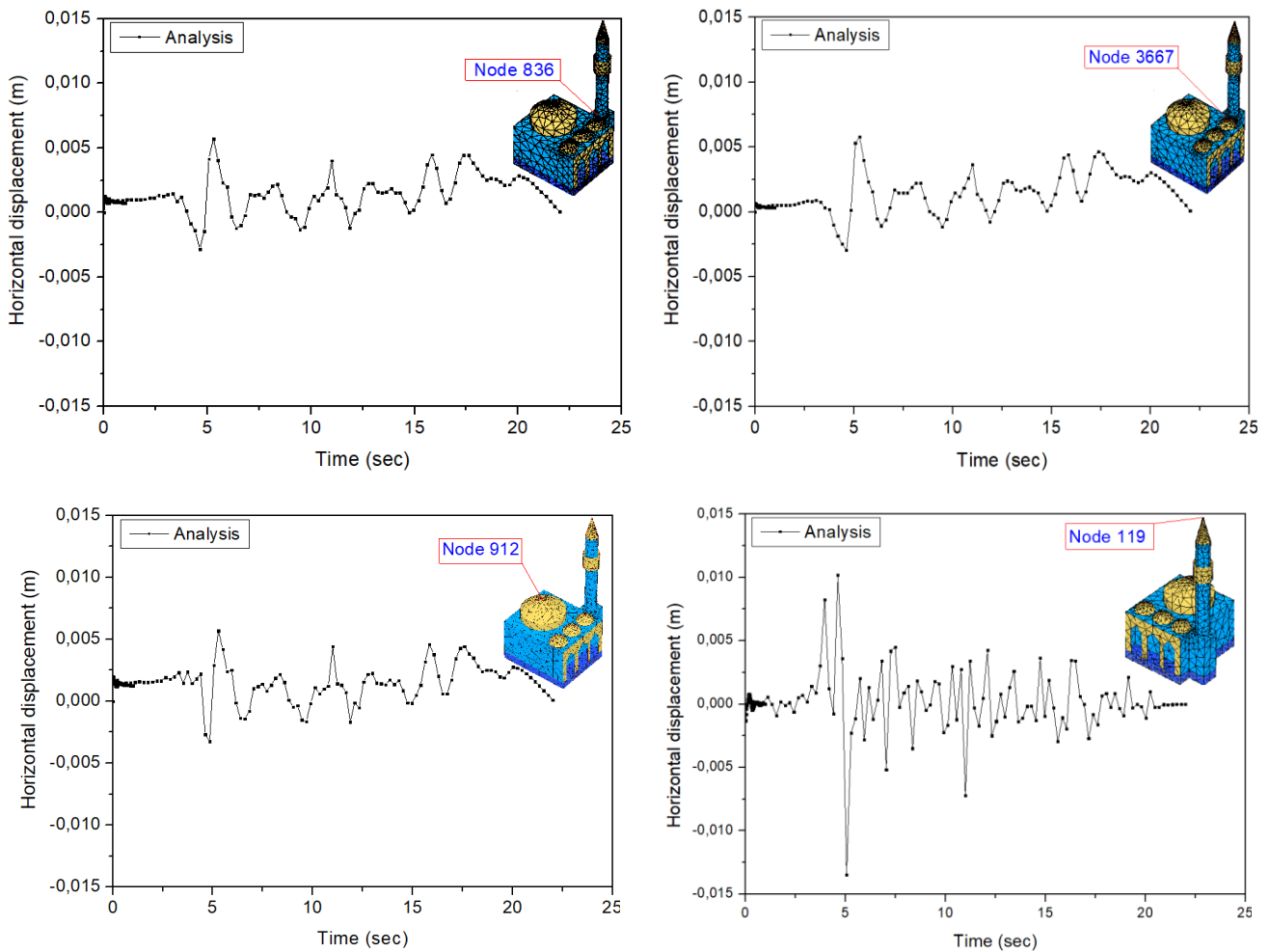


Figure 16. Displacement time history of selected nodal points

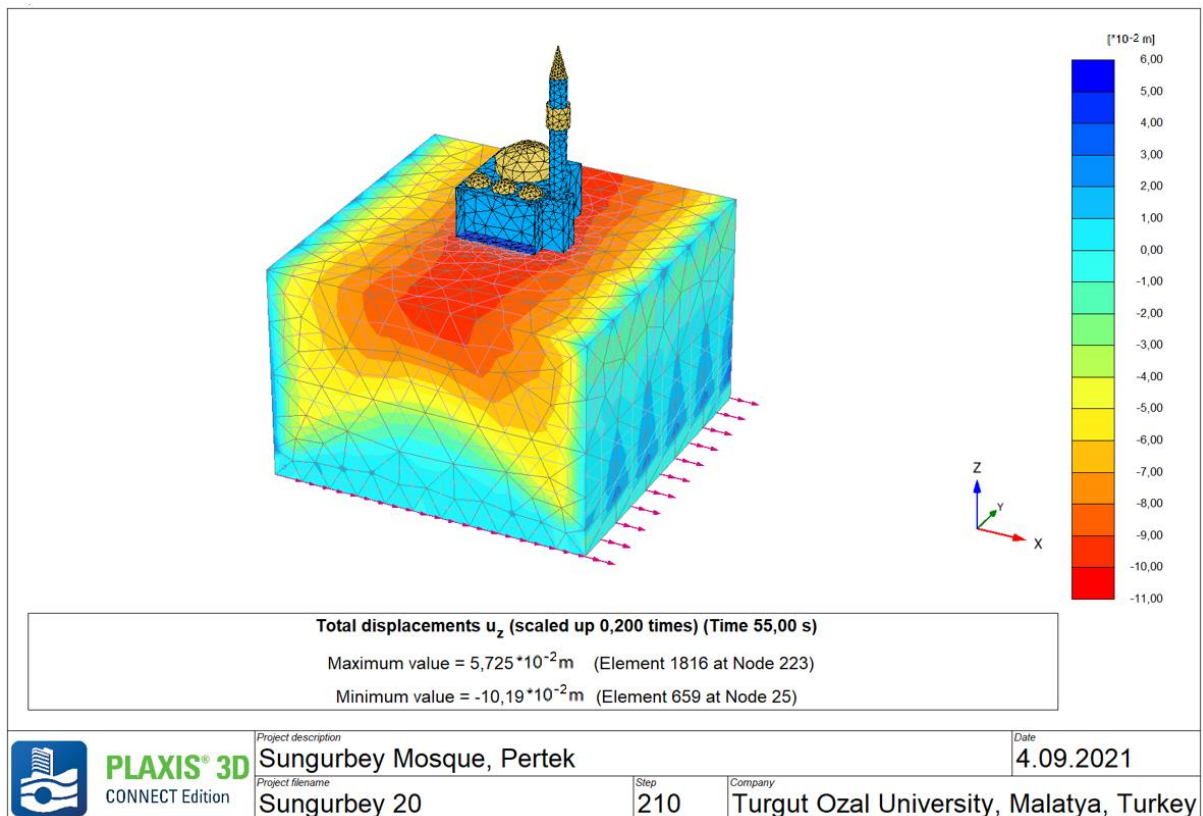


Figure 17. Total vertical displacement distribution of the numerical model

6 Conclusion

Historical monuments serve as a part of the cultural heritage of societies. The measures and activities to protect them are in the public interest. In this study, the seismic soil-structure interaction of the historical Sungur Bey Mosque, which was first built in 1577 and dismantled, moved, and rebuilt in another area, was investigated. In this context, firstly, the survey and architectural drawings of the historical mosque were examined, and the geological investigation of the area was evaluated. PLAXIS 3D finite element software, which is frequently used by researchers in the modeling and analysis of earth structures, and for soil-structure interaction problems with its 3D version, was adopted. Sivrice 2020 real earthquake record was used in the analysis and the results were evaluated in terms of acceleration and displacement. The findings obtained are as follows;

- Local soil conditions, mostly composed of soft clay units, showed amplification effect on seismic waves.
- The earthquake waves propagating from the bottom level of the soil profile to the ground level, amplified by 10%.
- Spectral acceleration values measured at different heights of the building show significant increases especially at the minaret flag level.
- As a result of the analyzes, the horizontal displacement of 13 cm measured at the flag level of the minaret is in significant agreement with the site measurements.
- When the structural defects observed in the masonry Sungurbey Mosque, which was moved from its original location and rebuilt with the same materials, are evaluated together with the amplification potential of the local soil conditions, it has revealed that there is a potential to cause significant damage in the future, especially under seismic effects.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge Bentley Systems and Geogrup A.Ş. for providing usage license of PLAXIS3D software program.

Declaration

This study does not require ethics committee approval.

References

- [1] Burat, O. (1973). Pertek Baysungur Camii'nin Taşınması. *Vakıflar Dergisi*, 10, s. 290-298.
- [2] Tükel, A. (1970). 1968 Yılı Keban Projesi Restorasyon Çalışmaları Ön Raporu. *1968 Yaz Çalışmaları (1968 Summer Work)*, 1(1), 183-186.
- [3] Pertek Belediyesi, İlçe Tarihçesi. Retrieved August 15, 2021 from <https://pertek.bel.tr/sayfa/tarihce/>.
- [4] T.C. Pertek Kaymakamlığı, Sungur Bey Camii. Retrieved August 15, 2021 <http://www.pertek.gov.tr/sungur-bey-camii>.

- [5] Danık, E. (2004). Pertek Baysungur ve Ali Çelebi Camii. *Vakıflar Dergisi, Vakıflar Genel Müdürlüğü yayınları*, S.28, Ankara.
- [6] Hemeda, S. (2019). 3D finite element coupled analysis model for geotechnical and complex structural problems of historic masonry structures: conservation of Abu Serga church, Cairo, Egypt. *Heritage Science*, 7(1), 1-19.
- [7] Creazza, G., Saetta, A. V., Matteazzi, R., & Vitaliani, R. V. (2001). Analysis of masonry structures reinforced by FRP. *Guimaraes*, 539-545.
- [8] Turek, M., Ventura, C. E., & Placencia, P. (2002). Dynamic characteristics of a 17th century church in Quito, Ecuador. In *Proc. SPIE* (Vol. 4753, No. 2, pp. 1259-1264).
- [9] Durukal, E., Cimilli, S., & Erdik, M. (2003). Dynamic response of two historical monuments in Istanbul deduced from the recordings of Kocaeli and Duzce earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(2), 694-712.
- [10] Gentile, C., & Saisi, A. (2007). Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assessment. *Construction and building materials*, 21(6), 1311-1321.
- [11] Bayraktar, A., Sevim, B., Altunışık, A. C., & Türker, T. (2007). Tarihi Yığma Minarelerin Deprem Güvenliklerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, 1, 415-428.
- [12] Bayraktar, A., Türker, T., Sevim, B., Altunışık, A. C., & Yıldırım, F. (2009). Modal parameter identification of Hagia Sophia bell-tower via ambient vibration test. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 28(1), 37-47.
- [13] Doğançün, A., Ural, A., & Meraki, Ş. (2011). Seismic Performance of the Main Entrance of Basılıca (Kızılavlu) at Bergama (İzmir). In *WCCE-ECCETCCE Joint Conference 2, Seismic Protection of Cultural Heritage, Conference Proceedings* (pp. 333-344).
- [14] Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A. C., & Sevim, B. (2011). Structural system identification of cultural heritage structures by ambient vibration testing. In *WCCE-ECCETCCE Joint Conference 2, Seismic Protection of Cultural Heritage, Conference Proceedings* (pp. 163-173).
- [15] Atamturktur, S., Bornn, L., & Hemez, F. (2011). Vibration characteristics of vaulted masonry monuments undergoing differential support settlement. *Engineering Structures*, 33(9), 2472-2484.
- [16] Can, H., & Ünay, A. İ. (2012). Tarihi Yapıların Deprem Davranışını belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27, 1, s. 211- 217.
- [17] Lourenço, P. B., & Ramos, L. F. (2011). Dynamic Identification and Monitoring of Cultural Heritage Buildings. *WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference 2, Seismic Protection of Cultural Heritage, Keynote Papers*, s. 55-78.
- [18] Çalık, İ., Bayraktar, A., & Türker, T. (2013). Tarihi Yığma Yapıların Dinamik Karakteristiklerine Restorasyon Etkisinin Çevresel Titreşim Yöntemiyle Belirlenmesi: Rize Merkez Büyük Gülbahar Camisi Örneği. 2. *Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Bildiriler Kitabı*, s. 75-90.
- [19] Çalık, İsmet ve Bayraktar, A., & Türker, T. (2015). Yığma Taş Duvarlı Camiler İçin İlk Üç Doğal Frekans Aralığının Deneysel Olarak Belirlenmesi. *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul*.
- [20] Menglin, L., & Jingning, W. (1998). Effects of Soil-Structure Interaction on Structural Vibration Control, Dynamic Soil-Structure Interaction: Current Research in *China and Switzerland*, ed. Z. Chuhan & J.P. Wolf, Elsevier Science, Amsterdam, pp. 189-202.

- [21] Roesset, J. M., & Gonzalez, J. J. (1978). Dynamic interaction between adjacent structures. *Dynamic response and wave propagation in soils*, 127-166.
- [22] Solari, G., Stura, D., & Vardanega, C. (1980). On the accuracy of numerical models in 3-D soil-structure interaction. In *Proceedings of the seventh world conference on earthquake engineering*. Istanbul, Turkey (pp. 237-44).
- [23] Sivanovic, S. (2000). Seismic response of an instrumented reinforced concrete building founded on piles. In *Proceedings of the twelfth world conference on earthquake engineering*. Auckland, New Zealand (pp. 1-8).
- [24] Naghavi, N., & Baziari, M.H. (2008). Parametric Study of The Response of Single Pile Under Lateral Loading At The Pile Head. *Iran 6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering* Missouri University of Science and Technology, Scholars' Mine.
- [25] Torabi, H., & Rayhani, M. T. (2014). Three dimensional Finite Element modeling of seismic soil-structure interaction in soft soil. *Computers and Geotechnics*, 60, pp. 9-19.
- [26] Pitilakis, D., & Karatzetzou, A. (2015). Dynamic stiffness of monumental flexible masonry foundations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(1), 67-82.
- [27] Gouasmia, A., Belkhiri, A., & Athmani, A. (2015). Dynamic soil-structure interaction analysis of reinforced concrete buildings. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 9(7), 862-868.
- [28] Kavitha, P. E., Beena, K. S., & Narayanan, K. P. (2016). Numerical Investigations on the Influence of Soil Structure Interaction in the Dynamic Response of SDOF System. *Procedia Technology*, 25, 178-185.
- [29] Bovolenta, R., & Bianchi, D. (2020). Geotechnical Analysis and 3D Fem Modeling of Ville San Pietro (Italy). *Geosciences*, 10(11), 473
- [30] Faizan, A. A., & Kırtel, O. (2021). Non-linear soil-structure interaction analysis of railway bridge subjected to earthquake ground motions considering different types of soil. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6), 1-11.
- [31] ARPAT, E., & ŞAROĞLU, F. (1972). The East Anatolian fault system; thoughts on its development. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 78(78), 1-12.
- [32] Arpat, E., & Saroglu, F. (1975). Some recent tectonic events in Turkey. *Bull. Geol. Soc. Turkey*, 18(1), 91-101.
- [33] Şaroğlu F, Emre Ö, Kuşçu İ (1992) The east Anatolian fault zone of Turkey. *Annal. Tecton.* 6: 99-125
- [34] Sengor, A. M. C. (1985). Strike slip deformation basin formation and sedimentation, strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape, Turkey as a case study. *Strike-slip Faulting and Basin Formation*, 227-264.
- [35] Herece, E.İ., & Acar, Ş. (2016). Pertek (Tunceli) dolayının Üst Kretase Tersiyer Jeolojisi/ Stratigrafisi. *MTA Dergisi*.
- [36] Barka, A. A. (1992). The north Anatolian fault zone. In *Annales tectonicae* (Vol. 6, No. Suppl, pp. 164-195).
- [37] Palutoglu, M., & Tanyolu, E. (2006). Elazığ il merkezi yerleşim alanının depremselliği. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(4), 577-588.
- [38] General Directorate of Disaster Affairs. GDDA (2019) Seismic Hazard Map of Turkey. *Ministry of Public Works and Settlement of Turkey, Ankara*
- [39] Wolf, J. P., & Song, C. (1996). *Finite-element modelling of unbounded media*. Chichester: Wiley.
- [40] Ural, A., & Celik, T. (2018). Dynamic Analyses and Seismic Behavior of Masonry Minarets with single Balcony. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 2(1), 13-27.