

GAZI
JOURNAL OF
ENGINEERING
SCIENCES



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

A Novel Approach and Application of Time Series to Image Transformation Methods on Classification of Underwater Objects

Sualtı Nesnelerinin Sınıflandırılmasında Zaman Serisi Görüntü Dönüşümü Yöntemlerinin Yeni Bir Yaklaşımı ve Uygulaması

Aybuke CIVRIZOGLU BUZ, Mustafa Umut DEMIREZEN, Uraz YAVANOGLU1-11

Türkiye’de Tüketicilere Yönelik Uzaktan Programlanabilir SİM Ekosistemi

e-SIM Ecosystem for Consumers In Turkey

Mehmet Akif ÇAKAR12-16

Temperleme Isıl İşlem Sıcaklıklarının AISI 1020 ve AISI 1040 Karbon Çeliklerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri
Effects of Tempering Heat Treatment Temperatures on Mechanical Properties of AISI 1020 and AISI 1040 Carbon Steels

Nursel ALTAN ÖZBEK, Erdem SARAÇ17-25

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrali Tasarımı

Pumped Storage Hydroelectric Power Plant Design

Önder ÇİÇEK, Mustafa Bahadır ÖZDEMİR26-35

Application of IOS/Android Rapid Evaluation of Post-Earthquake Damages in Masonry Buildings

Yığma Binalarda Deprem Sonrası Hasarların IOS/Android Hızlı Değerlendirilmesi Uygulaması

Mehmet Fatih IŞIK, Ercan IŞIK, Ehsan HARICIHIAN36-50

AA-6082 T4 Alaşımının Tornalamasında Çok Kristalli Elmas (ÇKE) Takımlara Uygulanan Talaş Kırıcı Formlarının Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Investigation of the Effects of Chip Breaker Forms Applied to Polycrystalline Diamond (PCD) Tools on Cutting Forces in Turning AA-6082 T4 Alloy

Selçuk YAĞMUR, Müzeyyen Kübra KAYA, Ulvi ŞEKER51-57

Yüksek İlerleme ile Frezeleme İşlemi Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetinin ve İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

Modeling of the Cutting Force and Workpiece Surface Roughness During the Milling Process with High Feed Using Artificial Neural Networks

Ramazan ÇAKIROĞLU, Gültekin UZUN58-66

Kaynak Yapımında Kullanılan Robotik Kolun Maliyetinin Azaltılması İçin Bir Öneri

A Recommendation for Reducing the Cost of the Robotic Arm Used in Welding

Farshid KHOSRAVI, Ebucihat AKTAŞ, Evren CANTÜRK, Mehmet AKYEMİŞ67-80

EDİTÖR / EDITOR - IN – CHIEF

İsmail ŞAHİN

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

YARDIMCI EDİTÖRLER / ASSOCIATE EDITORS

Harun GÖKÇE

TUBİTAK - SAGE
e-mail: harungokce@yahoo.ca

Murat DÖRTERLER

Gazi University
e-mail: murat@4erler.net

Cemal YILMAZ

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

EDİTÖRLER KURULU / EDITORIAL BOARD

Abdullah AKDOĞAN,

Pamukkale University
e-mail: akdogan@pau.edu.tr

Alper BÜYÜKKARAGÖZ

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

Halil KARAKOÇ

Hacettepe University
e-mail: halil.karakoc@hacettepe.edu.tr

Hüseyin GÖKÇE

Çankırı Karatekin University
e-mail: huseyingokce@karatekin.edu.tr

M. Hanefi CALP

Karadeniz Technical University
e-mail: hcalp25@hotmail.com

Mustafa GÜNAY

Karabük University
e-mail: mgunay@karabuk.edu.tr

Tayfun MENLİK

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

YAYIN DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

Adnan SÖZEN

Gazi University, Turkey

Andrew PINKERTON

Lancaster University, İngiltere

Bekir Sami YILBAŞ

King Fahd University, Sudia Arabia

Farzollah MIRZAPOUR

University of Zanja, Iran

Herbert M. REYNOLDS

Michigan State University, ABD

Jamal KHATIB

University of Wolverhampton, England

John KINUTHIA

University of South Wales, England

Jonathan C. BORG

University of Malta, Malta

Hossam KISHAWY

University of Ontario Technology, Canada

Majid MEGHDADI

University of Zanja, Iran

Mustafa KURT

Gazi University, Turkey

Nowruz ALLAHVERDİ

Karatay University, Türkiye

Reza Negarastani

RIETEX, England

Salman NISAR

National University of Sci. and Tech.,
Pakistan

Shahin JALILI

Tebriz University, Iran

Şakir TAŞDEMİR

Selçuk University, Turkey

Tahsin Tecelli ÖPÖZ

John Moores University, England

Kürşad SEZER
Gazi University, Turkey

Yasir JOYA
GIK Institute, Pakistan

DİL EDİTORLERİ / LANGUAGE EDITORS

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

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

TEKNİK SORUMLU / TECHNICAL RESPONSIBLE

Neslihan TOP

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

BU SAYININ HAKEMLERİ / REVIEWER OF THIS ISSUE

Ali Hakan IŞIK, Mehmet Akif Ersoy University
Alper ERGÜN, Karabük University
Aydın BÜYÜKSARAÇ, Çanakkale Onsekiz Mart University
Barış ÖZLÜ, Aksaray University
Çağrı SUIÇMEZ, Hitit University
Enes CENGİZ, Afyon Kocatepe University
Engin NAS, Düzce University
Erdem ÇİFTÇİ, Gazi University
Fatih AVCIL, Bitlis Eren University
Gökhan DURMUŞ, Gazi University

Gürcan ÇETİN, Muğla Sıtkı Koçman University
Hüseyin GÖKÇE, Çankırı Karatekin University
Kanat Burak BOZDOĞAN, Çanakkale Onsekiz Mart University
Mehmet Erdi KORKMAZ, Karabük University
Mevlüt ERSOY, Süleyman Demirel University
Muhammed ELİTAŞ, Bilecik University
Nursel ALTAN ÖZBEK, Düzce University
Ümit ÜNVER, Yalova University
Yakup TURGUT, Gazi University
Yusuf SÖNMEZ, Gazi University

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

CORRESPONDENCE ADDRESS :

Gazi Akademik Yayıncılık
Gazi Üniversitesi Gölbaşı Yerleşkesi Teknoplaza Binası Bahçelievler mahallesi,
320. Sok., No: 3/B GÖLBAŞI / ANKARA
Tel: +90-312-9113311 Fax: +90-312-9113312
e-mail: editorgjes@gmail.com

A Novel Approach and Application of Time Series to Image Transformation Methods on Classification of Underwater Objects

Aybuke CIVRIZOGLU BUZ^{a,*}, Mustafa Umut DEMIREZEN^b, Uraz YAVANOGLU^c

^{a,*} HAVELSAN Command Control and Defense Technologies, 06510, Ankara, Turkey.

^b ROKETSAN Artificial Intelligence and Technology Management, 06780, Ankara, Turkey.

^c Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 06570, Ankara, Turkey.

ARTICLE INFO

Received: 15.01.2021
Accepted: 04.04.2021

Keywords:

MTF, GAF, RP,
Sonar, Deep Learning

ABSTRACT

Sonar is used to determine the size, distance, direction, and other object features using sound waves. It is widely used in submarine mining, oil exploration, submarine mapping, tracking fish shoals, and mine detection. In Machine Learning (ML) research, feature extraction, selection, algorithm selection, and hyper-parameter optimization, which should be used to identify and classify sonar signals, are seen as scientific problems studied for many years. In this study, instead of commonly used ML algorithms and feature extraction processes, three different mathematical transformations were suggested to classify the underwater objects as an innovative approach. This novel approach applied on a data set in time-series format, data has been transformed from one-dimensional data to a two-dimensional format and a simple channel merging technique was applied to create a new image joining these images. The methods' performance was measured by the classification results of mines and rocks using deep learning algorithms on the sonar dataset. Moreover, the performance results obtained with deep learning, compared with the classical algorithms. Finally, confronted with other studies in the literature, it has been seen that the proposed time-series data-to-image transformation with a channel-merging approach eliminates the need for feature extraction and achieves superior results against the others.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.01>

Sualtı Nesnelerinin Sınıflandırılmasında Zaman Serisi Görüntü Dönüşümü Yöntemlerinin Yeni Bir Yaklaşımı ve Uygulaması

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 15.01.2021
Kabul: 04.04.2021

Anahtar Kelimeler:

MTF, GAF, RP,
Sonar, Derin Öğrenme

ÖZ

Sonar, ses dalgalarını kullanarak boyutu, uzaklığı, yönü ve diğer nesne özelliklerini belirlemek için kullanılır. Denizaltı madencilği, petrol arama, denizaltı haritalama, balık sürülerinin takibi ve mayın tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine Öğrenimi araştırmasında, sonar sinyallerini tanımlamak ve sınıflandırmak için kullanılması gereken özellik çıkarma, seçme, algoritma seçimi ve hiper parametre optimizasyonu, uzun yıllardır çalışılan bilimsel problemler olarak görülmektedir. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan makine öğrenimi algoritmaları ve öznelik çıkarma süreçleri yerine, su altı nesnelerini yenilikçi bir yaklaşım olarak sınıflandırmak için üç farklı matematiksel dönüşüm önerilmiştir. Zaman serisi formatında bir veri setine uygulanan bu yeni yaklaşım, veriler tek boyutlu verilerden iki boyutlu bir formata dönüştürülmüş ve bu görüntüleri birleştiren yeni bir görüntü oluşturmak için basit bir kanal birleştirme tekniği uygulanmıştır. Yöntemlerin performansı, sonar veri setinde derin öğrenme algoritmaları kullanılarak maden ve kayaların sınıflandırma sonuçlarıyla ölçülmüştür. Ayrıca klasik algoritmalara göre derin öğrenme ile elde edilen performans sonuçları. Son olarak, literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, önerilen zaman serisi verilerden görüntüye dönüşümün kanal

*Corresponding Author: acivrizoglu@havelsan.com.tr

To cite this article: A. Civrizoglu Buz, M. U. Demirezen and, U. Yavanoglu "A Novel Approach and Application of Time Series to Image Transformation Methods on Classification of Underwater Objects", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.1, pp. 1-11, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.01.01

birleştirme yaklaşımı ile öznelik çıkarma ihtiyacını ortadan kaldırdığı ve diğerlerine göre üstün sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.01>

1. INTRODUCTION (*Giriş*)

In recent years, exploration of the underwater world, detection and classification of underwater objects and targets occupy an essential place in many applications for civil and military purposes. Sonar (Sound Navigation and Ranging), which is used to explore the underwater world, is used to gain information about the size, distance, and structure of objects using sound waves [1]. Although sonar systems were initially developed for naval warfare, today they are used in many essential areas with the purpose of oil and mineral exploration, seafloor mapping, detection of fish shoals, measurement of waves and currents, detection of sunken ships, drowned and submerged people, wreckage such as aircraft and underwater search and rescue purposes in many essential areas [2]. Today, sonar systems occupy a vital place in the defense industry for underwater target and mine detection [3]. Not only in times of war, but especially in times of peace, often used to protect coastal security, ship landings, and port controls, and such matters as conducting sonar systems healthily, have started to offer more advanced opportunities in the fields with the development of technology [4]. With the development of the technology, both the quality and the features of the signals, and images received from sonar devices have increased. Recently, although the lack of data sets and resources, especially for mines and similar objects, several studies conducted with both images and signals has made research in this field difficult, still there are a limited number of studies based on machine learning based and statistical analysis methods published in the literature [4], [5], [6], and [7].

Detection of mine objects with artificial intelligence algorithms becomes difficult due to the high diversity of underwater mines, the similarity of other objects such as rocks, debris, and cables to mines in shape and structure, signal reflections, and disruptive noise effects on the signal. Classical machine learning algorithms are based on feature extraction. Obtaining these attributes explicitly developed for the problem can be done with field expertise. Besides, choosing the most important features among the produced features plays a vital role in training machine learning algorithms and developing and improving the results. As a result of the increase in the number of features named "curse of

dimension" [8], generating an excessive number of features causes an exponential increase in the number of training data required for the algorithm. Using less training data and too many attributes cause the algorithm to overfit. When such situations arise, machine learning algorithms get unsuccessful results in classification or regression problems because they lose their ability to generalize. Although deep learning methods, in which feature extraction and selection processes can be performed automatically instead of classical algorithms, provide more advantages in this regard, they require more data to achieve successful results.

This study proposes a new method for the binary classification problem using a dataset containing sonar signal data obtained using cylindrical mines and cylindrical rocks similar in shape and size to mines [9]. Using the proposed method, we focused on the classification problem of rocks and mines, a binary classification problem, and compared classical machine learning algorithms and deep learning algorithms. Compared to other literature studies, our earlier work on converting one-dimensional time-series data to image format with an RGB channel was used [21]. Changing the data representation ensured that convolutional neural networks-based deep learning architectures were used, and it was determined that successful results were obtained with limited data. In addition to this, to leverage the information obtained from three different transformations, we proposed to add one more step by joining these transformation results as one image with three different image channels (channel merging). The aim is to exploit more information obtained from time series to image conversion with three different mathematical transforms and merge this information as an image channel to form a new image as a new representation. This new representation provides more information than single transformation methods and inherits specific advantages specific to underlying transformation.

In this paper; in the second section, a brief literature review summarizes the algorithms used and examines other studies using the dataset used in this paper. In the third section, the mathematical model and the technical explanation of the innovative approach used in this study are given. In the last section, all the results for experiments performed in

order to compare algorithm performances are shown, and the findings are discussed.

2. LITERATURE REVIEW (*LİTERATÜR ÖZETİ*)

A study carried out with inside the area of classification of underwater objects [9] determines whether or not the target is a cylindrical mine or a cylindrical rock in line with the returning sign from two distinctive underwater objects. In this study, to examine the consequences of the range of hidden layers and the viewing angle at the result, experiments were made in distinctive hidden layers and relying on and not relying on the viewing angle. K-Nearest Neighbor Classification algorithm (K-NN) is used in their studies. The overall performance of the individuals who tested those signals with the latest consequences became in comparison, and it became observed that human overall performance remained low in comparison to the studies. The ensuing eminent accuracy value of 90.4 depends at the viewing angle and received in trials with 12 hidden layers. In any other study performed with the identical facts set [10], the Generalized Regression Neural Network (GRNN) method became used to categorize the sonar data set. While the usage of the GRNN method, once they added the function extraction method referred to as Principal Component Analysis (PCA) to the study, it was discovered that the class overall performance is ascended. In this study, the accuracy of the type was evaluated with the aid of using ROC analysis which is often used to indicate the reliability and generalization of data sets. The result was 91.34% whilst solely the GRNN method was used; while the result was 93.26% when PCA was used in addition to GRNN. In another study carried out in this problem [11], 9 sample-based genetic algorithms (GA) classifiers have been utilized in diverse versions to reach a higher overall performance in generalization capacity and training efficiency. The overall performance acquired due to those versions was compared. The 9 methods mentioned were examined with 19 datasets. The sonar dataset's maximum fulfillment rate was 53.43% with inside the version named TS2. In another study the usage of the C4.5 decision tree [12], the problem of classifying sonar targets with the aid of using enhancing the overall performance of the C4.5 decision tree with the aid of using the Knowledge Acquisition (IG) feature assessment process became studied. Another point well worth noting on this study is that feature selection improves computational efficiency while augmenting the classification accuracy. It has been stated that the accuracy of the C4.5 algorithm, which is working with BK, has increased by more than 10% and reached 81%. In

another study carried out at the analysis of sonar signals [13], sonar signals will grow to be a data set of boosting size with an uninterrupted data float. The overall performance problems of this size were investigated. It was emphasized that data processing time need to be kept as brief as possible to detect data with a continuous flow such as sonar signals in real-time. In this study, a brand new strategy called iDSM-CA, which is designed to clean noisy data step by step with the usage of fast collision analysis, is presented as a solution to this problem. With this strategy, sonar classification tests were applied with six classification algorithms in total. In another study carried out on a similar problem [14], it is aimed to clear up the complexity of the decision boundary that algorithms need to locate with inside the classification field. In order to remedy this problem, the Incremental Maximum Gaussian Mixture Partition (IMGMP) algorithm is proposed for classification. This algorithm makes use of a divide and conquers strategy to calculate an appropriate decision boundary. K-Means algorithm became used to split the data into clusters. It was emphasized that the overall performance of IMGMP is tremendously dependent on the cluster size in establishing the decision boundary, and a result with an accuracy of 82.79% was acquired. In another study [15], a nouveau algorithm is proposed to solve this problem of the K-Nearest Neighbor Classification Algorithm (KNN), which occurs due to the fact the calculation cost increases whilst the scale of the data set increase. While the KNN algorithm calculates the space between the training data and the test data, the MIME-KNN algorithm has been proposed, as a way to maximize the space between classes and the minimum in-class distance because of the complexity of this calculation as the data set grows. As a result of the studies, whilst the KNN algorithm presents an accuracy rate of 74.50%, the accuracy rate of the MIME-KNN algorithm has been acquired as 82.20%. The effects of these studies are given in Table I with inside the Results section.

3. MATERIAL AND METHODS (*YÖNTEM VE TEKNİKLER*)

The proposed method is based on converting time series data to three-channel (RGB) or single-channel (gray) lossless image format [21]. In this transformation, the spatial and temporal changes of data in each frequency band are handled differently, and transformed into a three-dimensional picture format by one-dimensional data transformation. After these transformations are applied, spatial and temporal properties of time series are preserved and

information stored as regular images. Recurrence plot (RP) and Markov transition field (MTF) transformations are a count-based probabilistic type of mathematical transformation, but Gramian angular difference field (GADF) and Gramian angular summation field (GASF) methods are a transformation method that takes into account the temporal and spatial correlation.

In this newly-converted picture format, it is possible to create additional features that cannot be used or obtained in one dimension, and with this information representation results in increasing classification performance. When the time series data is converted into image representation, the classification problem can be solved using classical image processing methods on these pictures. In addition to this, to leverage the knowledge acquired from three different transformations, As an additional step, appending one more operation to previous work [21] by combining these transform results in one image with three separate image channels (channel merging). The intention is to utilize more knowledge gained from time series to image conversion with three different mathematical transforms and merge it as an image channel to create a final image as a new representation. This new representation provides more knowledge than single transformation methods and presents specific advantages particular to underlying transformation.

In Figure 1. all data preparation and other necessary stages of the proposed method are shown. In the first step, every available time-series data are transformed to a matrix format with three different mathematical methods, and then by using these matrixes, a new image is formed by joining these transformed data as R, G, and B channels of the data. Then training and test sets are sampled from the data set from images, and a Convolutional Neural Network model is trained with the K-Fold cross validation method. Finally, Performance metrics such as precision, recall, F1 – score, and accuracy values are calculated for the model.

Two hundred and eight different signals obtained from 60 different bands from the sonar device were broadcast in time-series format [9]. Data in this format is transformed into an image format (RGB) using transformations with specific properties. In the study, the visual transformation of the time series data was carried out with three different methods called Gramian Angular Field, Markov Transition Field, and Recurrence Plot.

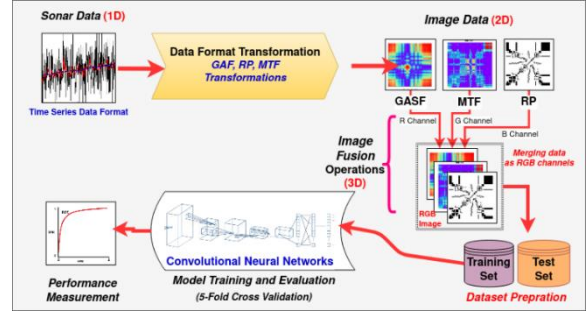


Figure 1. Flow chart for the proposed method

(Önerilen yöntem için akış diyagramı)

3.1. Time Series-Image Transformation Approach (Zaman Serisi Görüntü Dönüşümü Yaklaşımı)

In this study, three different mathematical transformation methods are used to obtain images from the time series. These methods were used as Gramian Angular Field (GAF), Markov Transition Field (MTF) [16], [17], and Recurrence Plot (RP) [18], respectively. The RGB color map represents the values transformed by GAF and MTF methods. In the color map, colors close to blue and blue represent smaller values, while colors close to red and red represent the values with larger amplitudes. RP, on the other hand, is represented by a black and white image with a single channel. The time-series data properties are defined as 2-dimensional images with colors, dots, and lines at the corresponding positions in the image in which they are transformed and differ from each other.

3.1.1. Gramian angular field transformation (Gramian açisal alan dönüşümü)

In the angular field, the time series is represented in the polar coordinate plane instead of the Cartesian coordinate plane. In the GAF, each element is the cosine of the sum of the angles. GAF has two different methods. These methods are Gramian Angular Summation Field / GASF Gramian Angular Difference Field / GADF. In the Gramian angular area method, each point in the given time series is rescaled. So each value in Eq. (1) with $[-1, 1]$ or in Eq. (2) with $[0, 1]$.

$$\tilde{x}_{-1}^i = \frac{(x_i - \max(X) + x_i - \min(X))}{\max(X) - \min(X)} \quad (1)$$

$$\tilde{x}_0^i = \frac{x_i - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \quad (2)$$

The obtained new time series values are expressed in the polar coordinate plane by encoding the time stamp as angular cosine, and the time stamp as a radius. In Eq. (3). Here \emptyset angle is a fixed parameter for regulating the polar coordinate, t_i timestamp, r radius, and N polar coordinate plane.

$$\begin{cases} \phi = \arccos(\tilde{x}_i), -1 \leq \tilde{x}_i \leq 1, \tilde{x}_i \in \tilde{X} \\ r = \frac{t_i}{N}, t_i \in \mathbb{N} \end{cases} \quad (3)$$

$$GASF = \begin{bmatrix} \cos(\phi_1 + \phi_1) & \cdots & \cos(\phi_1 + \phi_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \cos(\phi_n + \phi_1) & \cdots & \cos(\phi_n + \phi_n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$GASF = \tilde{X}' \cdot \tilde{X} - \sqrt{I - \tilde{X}^2} \cdot \sqrt{I - \tilde{X}^2} \quad (5)$$

After the time series are rescaled, they are transformed into a polar coordinate system with the help of Eq. (3). Using this data, converted into a polar coordinate system, according to the desired output, trigonometric addition or difference is transformed into matrix structure via Gramian Angular Summation Field (GASF) Eq. (4), Eq. (5) or Gramian Angular Difference Field (GADF) Eq. (6), Eq. (7). The conversion is completed by using the cosine functions for GASF and the sine functions for GADF.

$$GADF = \begin{bmatrix} \sin(\phi_1 - \phi_1) & \cdots & \sin(\phi_1 - \phi_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sin(\phi_n - \phi_1) & \cdots & \sin(\phi_n - \phi_n) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$GADF = \sqrt{I - \tilde{X}^2} \cdot \tilde{X} - \tilde{X}' \cdot \sqrt{I - \tilde{X}^2} \quad (7)$$

At the end of this step, the data in the time series format is encoded in a picture format containing 3-channel RGB color coding, and the transformation process is completed. An application of the described method is shown in Figure 2.

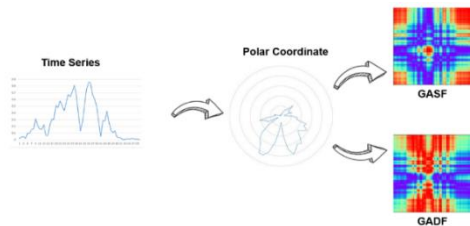


Figure 2: Gramian angular field transformation
(Gramian açısıl alan dönüşümü)

3.1.2. Markov transition field transformation (Markov geçiş alanı dönüşümü)

Markov transition matrix with transition probabilities for the time series decomposed in MTF is created. This matrix is then transformed into an image. In the Markov Transition Field, a matrix of size $Q \times Q$ is created from a given time series. First of all, the partitioning process is completed by defining the time series' quantitative divisions and assigning each to its corresponding quantile divisions. In the equation given in Eq. (8), it shows the Markov Transition

Matrix obtained by dividing the data by the Q quantile interval:

$$M = \begin{bmatrix} w_{ij|x_1 \in q_i, x_1 \in q_j} & \cdots & w_{ij|x_1 \in q_i, x_n \in q_j} \\ w_{ij|x_2 \in q_i, x_1 \in q_j} & \cdots & w_{ij|x_2 \in q_i, x_n \in q_j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{ij|x_n \in q_i, x_1 \in q_j} & \cdots & w_{ij|x_n \in q_i, x_n \in q_j} \end{bmatrix} \quad (8)$$

The transformation process is completed by encoding the probability-based matrix obtained with this transformation in a picture format that includes 3-channel RGB color coding. An application of the method described is shown in Figure 3.

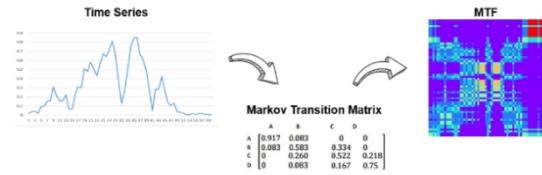


Figure 3: Markov transition field transformation
(Markov geçiş alanı dönüşümü)

3.1.3. Recurrence plot transformation (Tekrarlanma grafiği dönüşümü)

Recurrence Plot; it is a method used for repetitive processes such as time series, periodic data, and cycles and visualizes these processes in two dimensions. RP is also an advanced technique that is frequently used in the applications of nonlinear data analysis. The primary purpose of recurrence plots is to examine the higher dimensional phase space trajectories visually. RP's can be applied to short and unstable data. In the Recurrence Plot method, the image is created by calculating the distance of each point in the time series to the same time series. In this method, which works to visualize a time-dependent behavior, the primary step of the visualization is calculating the $N \times N$ dimensional matrix obtained from the time series [18], a tool that can visualize the repetition of x_i in i^{th} states in phase space. The mathematical representation of the repetition graph is shown in Eq. (9).

$$R_{i,j} = \Theta(\varepsilon - \|\vec{x}_i - \vec{x}_j\|), i, j = 1 \dots N \quad (9)$$

In Eq. (13) ε is a threshold, N is the number of data points to be calculated, Θ is a stepwise function. This tool allows to investigate the m-dimensional phase space trajectory through a two-dimensional representation of its repetitions. Such a repetition of a state at a different time is marked by ones and zeros (black and white points on the graph) within the two-dimensional square matrix. This representation is called the Recurrence Plot (RP). The transformation process is completed by encoding the bivalent matrix obtained in a picture format containing one channel

color coding. An application of the method described is shown in Figure 4.

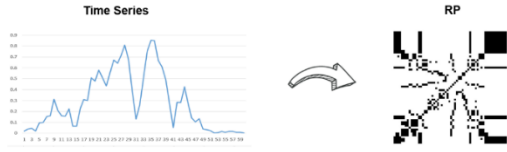


Figure 4. Recurrence plot transformation (*Tekrarlanma grafiği dönüşümü*)

3.2. Image Data Merging (*Dönüştürülmüş Görüntü Verisinin Birleştirilmesi*)

After each transformation, as mentioned earlier, was applied to time-series data, three different results were obtained in a matrix format specific to that transformation method. X_{MTF} , X_{GAF} and X_{RP} are resulting N by N dimensional matrixes ($X_{MTF}, X_{GAF}, X_{RP} \in \mathbb{R}^{N \times N}$) and X_{Merged} is the N -by- N x 3 tensor ($X_{Merged} \in \mathbb{R}^{N \times N \times 3}$). To leverage more information from different transformations, these matrixes can be merged to form a new matrix that can be interpreted as an RGB image.

$$X_{Merged}^{i,j,1} = X_{MTF}^{i,j} \quad (10)$$

$$X_{Merged}^{i,j,2} = X_{GAF}^{i,j} \quad (11)$$

$$X_{Merged}^{i,j,3} = X_{RP}^{i,j} \quad (12)$$

In Eq 10-12, $i, j \in Z$, are row and column indexes of the matrix and tensor respectively. Now, X_{Merged} represents all available information obtained from different transformations and as a result it forms an RGB image. This operation is applied all the time series data in the dataset and finally a new data set is formed completely in image format.

4. DATASET (*VERİSETİ*)

The data set [9] used in this study was created with the signals reflected from cylindrical mines and cylindrical rocks resembling these mines from different angles. The cylindrical mines and cylindrical rocks from which the sonar data sets were obtained are approximately 5 ft. long. There are a total of 208 data in the data set. These data were obtained by taking an average of 5 turns to be chosen randomly from each viewpoint out of 1200 signals sent as a return to signals sent from different angles, provided that they are up to 180 degrees for rocks and 90 degrees for mines. Of the 208 data obtained, 111 belong to cylindrical mines and 97 to cylindrical rocks. Each data is a set of 60 numbers, ranging from 0.0 to 1.0. Each number represents the energy collected over a

fixed period in a given frequency band. Although each number does not precisely reflect the angle value, they are ordered in ascending angles. In the classification of each data, the data rock is labeled as R, and the mine as M. In Figure 5 and Figure 6, the graph of the sonar signal returns in the time series axis belonging to all mines and all rocks in the data set.

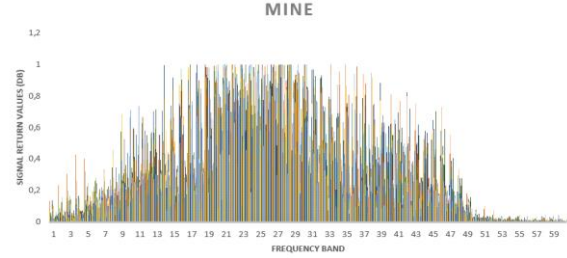


Figure 5. Signal return values corresponding to the frequency band measured for all mine targets (*Tüm mayın hedefleri için ölçüm yapılan frekans bandına karşılık sinyal dönüşü değerleri*)

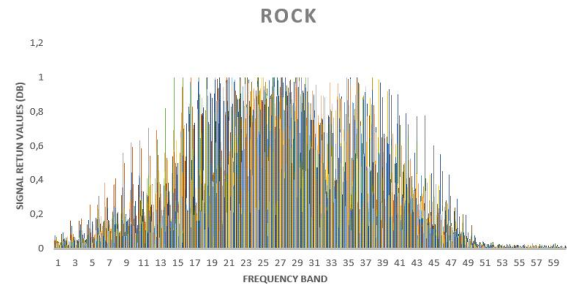


Figure 6. Signal return values corresponding to the frequency band measured for all rock targets (*Tüm kaya hedefleri için ölçüm yapılan frekans bandına karşılık sinyal dönüşü değerleri*)

5. BRIEF DESCRIPTION OF USED MACHINE LEARNING METHODS (*KULLANILAN MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARININ KISA AÇIKLAMALARI*)

In this study, classical machine learning algorithms, which are frequently encountered in the literature, were selected for this binary classification problem. Selected classic machine learning algorithms are Support Vector Machine, Decision Tree Algorithm, K-Nearest Neighbor Algorithm, Linear Discriminant Analysis, Gauss NB, Logistic Regression, and Random Forest. Their performance was optimized by hyper-parameter selection specific to the algorithm. In the following subsections, these methods are briefly described and compared:

5.1. Convolutional Neural Networks (Evrışimli Sinir Ağları)

Convolutional neural network is a deep neural network consisting of neurons with learnable weights that can process data strings such as image classification, widely used in computer vision. Convolutional Neural Networks (CNN) are a type of multilayer perceptron. CNN algorithms image and sound processing area natural language processing (NLP), especially in many different fields such as biomedical is implemented. Especially in the field of image processing achieve the best (state of the art) results seen have been. [19] As the proposed deep learning architecture, a custom convolutional neural network given in Figure 7 has been designed, and used due to the small number of data. It has been determined that a less complicated network is appropriate because other architectures commonly used in the literature generally overfit and memorize the data.

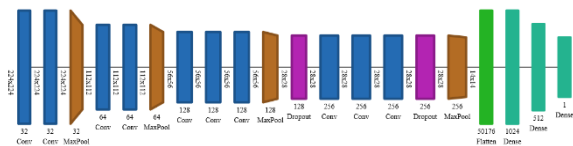


Figure 7. The convolutional neural network architecture used (*Kullanılan evrişimli sinir ağı mimarisi*)

5.2. Support Vector Machines Algorithm (Destek Vektör Makineleri Algoritması)

SVM is a supervised learning algorithm, is a vector space-based algorithm that determines hyperplanes to separate data from each other by finding a decision boundary between data. Among the advantages of the SVM algorithm are that it is effective in high-dimensional data, makes memory usage more efficient thanks to the training points it uses, and makes versatile decisions with different kernel functions. SVM uses kernel methods to deal with nonlinear data because these methods create nonlinear combinations of the original properties of the data and make a mapping that separates these methods linearly and thanks to this mapping, a linear support vector machine algorithm transforms the training data into a higher dimensional feature area makes it trainable with. While performing all these operations, it uses kernel tricks since calculation cost will increase in cases where the size of the data set is too high.

5.3. Decision Tree Algorithm (Karar Ağacı Algoritması)

DT algorithms are used as a solution to both classification, and regression problems. It is a tree structure consisting of decision trees, decision nodes, and leaf nodes. Using the decision algorithm, it is

started from the tree root, and the data on the most informative features are divided and the process is repeated until the node takes its purest form. Decision trees can be a tree with many nodes with this method, resulting in over-sleeping. In order to prevent overfitting in decision tree algorithms, a limit should be determined for the maximum number of nodes of the tree to be formed, and pruning should be done. The decision tree algorithm can be used to process both numerical, and categorical data, and it can process high-dimensional data in a short time due to its low computational cost. For this reason, it is preferred when data size increases among alternative algorithms.

5.4. K-Nearest Neighbor Algorithm (K-En Yakın Komşu Algoritması)

K-NN algorithm is an algorithm known as non-parametric sample-based learning. The model in this algorithm memorizes the training data set and finds the nearest neighbors as many as k number given to the algorithm in the data set, depending on the distance metric selected, and determines the classification tag of the data according to the majority. The K-Nearest neighbor algorithm allows easy adaptation for new data. However, it should be kept in mind that the cost of calculating these new samples increases in the worst case in direct proportion to the number of samples in the training data set, which is one of the main disadvantages of this algorithm.

5.5. Linear Discrimination Analysis Algorithm (Doğrusal Ayrımcılık Analizi Algoritması)

LDA is an unsupervised algorithm used to reduce the number of dimensions in the data set. LDA algorithms can also be used as a feature extraction technique to increase computational efficiency, and reduce overfitting due to "curse of dimension" in dirty data [20]. LDA computes the N-dimensional mean vector for each class by standardizing an N-dimensional data set creates the distribution matrix between and within classes. Converts matrices created here into low dimensional feature spaces. It is an algorithm that uses the covariance matrix to parse the data set. It works according to Fisher's score function, and estimates the linear coefficients that maximize the score. It tries to find linear combinations of variables that best describe the data and tries to model the difference between data classes. It can be used as a pre-process to extract features and identify classes prior to classification operations.

5.6. Gaussian Naive Bayes Algorithm (*Gaussian Naive Bayes Algoritması*)

GNB algorithm is one of the Naive Bayes algorithm types. GNB is the type of supervised learning algorithm used when it has properties consisting of continuous values. In this algorithm developed on the basis of Bayes' theorem, each feature is considered independent from each other, which allows it to perform better than dependent models such as logistic regression. Good results can be obtained in both small size data, and high size data. Before using the Naive Bayes algorithm, the preprocessing and feature selection of the data should be done very well. Because there are not many parameters that can be optimized to change the result in the Naive Bayes algorithm, this optimization should be done first.

5.7. Logistic Regression Algorithm (*Lojistik Regresyon Algoritması*)

LR algorithm is a supervised machine learning algorithm that is very easy to implement. It is used in regression problems as well as classification problems. It performs better in a classification that can be separated linearly. Logistic regression, which is a simple but powerful algorithm for linear and binary classification problems, gives better results especially when the variable type to be predicted is category type. The logistic regression algorithm establishes the relationship between the probability of a variable and its attributes in the data set. It deals not only with the class to be predicted but also with predicting the probability of the variable in the class. The algorithm uses the logit function to estimate the logarithmic rate of an event. The logit function takes input values between 0 and 1 and converts these data to values across the entire range of real numbers to represent a relationship.

5.8. Random Forest Algorithm (*Rassal Orman Algoritması*)

RF is an algorithm used in both classification and regression problems that can prevent overfitting by creating more than one decision tree. Regardless of whether the data is separated linearly in the random forest algorithm, the most important features are inferred with all the decision trees created. Unlike the classical decision tree algorithm, the random forest algorithm tries to find the most important one in a random feature subset instead of finding the most important feature when dividing a node into sub-nodes.

6. RESULTS (*SONUÇLAR*)

Before performing image transformation over time series with the sonar signals in the data set, classical classification algorithms such as; DT, K-NN, LDA, Gaussian NB, LR, RF, and SVM algorithms have been trained and tested for this problem. Each algorithm grid-based hyper parameter search method was applied, and results were noted for the reserved and unseen test set. In order to identify the features for the classical machine learning algorithms, energy levels obtained from 60 frequency bands were used as features in the data set. For classical machine algorithms, feature selection or feature engineering methods were not performed. A new dataset is created with the pictures obtained with image transformation over time series methods in the same order as the case of the classical algorithms. In both cases, 80% of this dataset was used for training and 20% for testing. All the algorithms' performance was measured with accuracy, precision, recall and F1 – Score metrics and given in Equations (13-16).

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (13)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (14)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+TN} \quad (15)$$

$$F_1 - \text{Score} = \frac{2 \cdot \text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (16)$$

In these equations, T_P represents the number of the actual positive values, T_N , the true negative values, F_P the false positive value and the F_N the negative value. Using these values, precision, recall, accuracy and F_1 criterion values are calculated for each algorithm to measure their performances.

The radial based function and $C = 1.5$ parameter values, which are among the nonlinear SVM algorithm kernel methods, have been studied, and the highest success rate has been achieved. DT algorithm parameters used in this study and giving the best results; Gini Information Criterion, the minimum number of instances required to split a node is 2, the minimum number of instances in a leaf node is 1, the maximum leaf node is not used, the class weight is not used, and the complexity parameter is 0.0. K-NN algorithm achieved the highest success rate when the value of k was trained as 1 with the data set in this work. Uniform value was given as weight, and auto was chosen as the algorithm, enabling it to decide the most appropriate algorithm according to the values. Since the data set in this study has many features, while working with the parameters of the LDA algorithm, the covariance matrix was not calculated using singular value decomposition (SVD) as a

solvent. In addition to this parameter, the tolerance value was selected as $1.0e-4$ because the other parameters were used as shrinkage auto, priority none, the number of components for dimension reduction none, covariance storage false and the solvent SVD. Random forest, parameters to achieve the best results with the data set in this study, the division criterion entropy, the maximum depth 15, the logarithm of the function required to find the maximum number of features, the minimum number of samples in a leaf node is 5, the minimum number of samples required to divide a node is 3, The number of trees to be created was 1000, and the number of processors was unlimited.

All the results obtained from these algorithms are given in Table 2. Among the success rates, the highest result with 0.90% was SVM and the random forest algorithms with 0.86%. Gaussian NB with the data set used in this work, the previous probabilities of the classes were not specified in the parameters studied in order to achieve the most ideal results, and the smoothing value required for calculation stability was chosen as $1.0e-9$. Logistic regression, in this study, in order to achieve the most ideal results with the data set, the parameters were chosen as penalty norm L2, the solver as "linear" because the size of the data set was not high, the maximum iteration number was 100, and the warm start value was chosen not to be used because the solver value was linear. Table 3 shows the results obtained from the CNN architecture with the time series image transformation method for the ICENTE20 conference [21]. The results of each transformation method are stated separately in the study conducted at the conference.

Among the deep learning techniques, a convolutional neural networks architecture, which is quite successful and popular in image processing, was established, trained, and tested. The proposed custom convolutional neural network architecture is trained separately for each transformation process after data transformations are completed. Binary cross entropy loss function with L2 regularization is used for optimization and for training, Adam optimization algorithm with learning rate $1.0e-4$ was chosen and iterated over 15 epochs. Throughout the iteration, the learning rate has been decreased to a certain extent and it has been tried to reach the minimum value in the loss function and 5-fold cross validation was applied. Accuracy, precision, recall, and F1 measure values obtained with this convolutional neural network model trained after image fusion and merging operations for extra information method was 97.60%, %98.01, %97.20, and %97.60, respectively. The results and metrics obtained with this proposed method are given in Table-4.

Table 1. Comparison of results obtained from studies in literature review (*Literatürde incelenen çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması*)

	Approach	Accuracy
[10]	Nearest Neighbor Classification – 12 Hidden Layer	90.40
[11]	GRNN with PCA	93.26
[12]	RS1	49.50
	RS2	51.95
	RSU	51.40
	TS1	51.93
	TS2	53.43
	TSU	49.98
	RW1	51.93
	RW2	52.88
	RWU	51.38
[13]	C4.5 with IG	81.00
[14]	NBup with iDCM-CA	82.50
	SVM with iDCM-CA	60.00
	NN with iDCM-CA	88.75
	DT with iDCM-CA	96.25
	IBK with iDCM-CA	85.00
	LWL with iDCM-CA	96.25
[15]	IMGMP	82.79
[16]	MIME-KNN	82.20

Table 2. Classical machine learning algorithms results of sonar signals in the data set with classification algorithms (*Sınıflandırma algoritmaları ile veri setindeki sonar sinyallerinin klasik makine öğrenmesi algoritmaları sonuçları*)

ML Algorithm		Acc.	Prec.	Rec.	F ₁
SVM	M	0.90	0.88	0.95	0.91
	R		0.94	0.85	0.89
Random Forest	M	0.86	0.81	0.95	0.88
	R		0.94	0.75	0.83
Logistic Regression	M	0.83	0.80	0.91	0.85
	R		0.88	0.75	0.81
Gaussian Naive Bayes	M	0.67	0.83	0.45	0.59
	R		0.60	0.90	0.72
Decision Tree	M	0.71	0.75	0.68	0.71
	R		0.68	0.75	0.71
K-NN	M	0.86	0.83	0.91	0.87
	R		0.89	0.80	0.84
LDA	M	0.76	0.77	0.77	0.77
	R		0.75	0.75	0.75

Table 3. Time series – Image transformation method and the best results of the proposed custom CNN architecture at the ICENTE20 conference. [21] (*ICENTE20 konferansında yapılmış olan zaman serisi – görüntü dönüşümü yöntemi ile önerilen CNN mimarisine ait elde edilen en iyi sonuçlar*)

	Accuracy	Precision	Recall	F ₁
RP	0.9434	0.9340	0.9620	0.9477
MTF	0.9323	0.9565	0.9212	0.9385
GADF	0.9057	0.9167	0.8798	0.8979

Table 4. Time-series image transformation with image merging method and the best result of the proposed custom CNN architecture (*Zaman serisi görüntü dönüşümü yöntemi ile önerilen CNN mimarisinden elde edilen en iyi sonuç*)

Accuracy	Precision	Recall	F ₁
0.9760	0.9801	0.9720	0.9760

7. CONCLUSION (*SONUÇ*)

This study proposed a novel information representation and fusion method to obtain higher performance for time-series classification problems without using any feature engineering and feature selection methods. The proposed method consists of converting regular time series to an image representation by implementing MTF, RP, and GAF transformations. In the final stage, separate data from the transformation merged as RGB channels to form an ultimate image were used. It is seen that the proposed method can be used as a more efficient feature extractor than classical methods thanks to RP, GAF, and MTF transformations.

By comparing with our previous studies [21], the performance of classical ML methods and DL based time series-image transformation methods, it was seen that the proposed method in this work could reach the best accuracy, precision, recall, and F1 score values. From Table 2, it was determined that the counting based probabilistic image transforms give better results for this data set. It is thought that the proposed method can be used as a more efficient feature extractor than classical methods thanks to RP, GAF, and MTF transformations, and it is the transformation method that takes into account the spatial correlation. When the approaches and methods in the literature are reviewed, it is seen that the methods in which size reduction approaches are used to give more successful results.

These dimension reduction algorithms and other feature extraction methods used in the preprocessing phase are used in the solution of the binary classification problem and utilized as input for machine learning and statistical pattern recognition methods. Our results prove that usage of the computer vision-based DL algorithms without doing any feature engineering or selection can be proper for classification problems, especially for time series data. It was discovered that the method proposed in this study gave the best results reported in the literature for the sonar and mine classification problem specific to the sonar dataset.

NOTE (*NOT*)

This study was expanded from the paper published at the International Conference and Engineering Technologies (ICENTE20) conference and was first published in the ICENTE20 Proceedings Book on 28 December 2020. ICENTE20 conference was held in Konya on 19-21 November 2020.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT (*ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ*)

The authors reported no potential conflict of interest.

REFERENCES (*KAYNAKLAR*)

- [1] A.D. Waite Sonar for Practising Engineers. Wiley, West Sussex, England, 2002.
- [2] L. Jing, "The principle of side scan sonar and its application in the detection of suspended submarine pipeline treatment." *Materials Science and Engineering*, vol. 439, no.3, pp. 032068, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/439/3/032068
- [3] V.L. Lucieer. "Object-oriented classification of sidescan sonar data for mapping benthic marine habitats," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 29, no. 3, pp. 905–921, 2018. doi: 10.1080/01431160701311309.
- [4] A. Burguera, G. Oliver, "High-Resolution Underwater Mapping Using Side-Scan Sonar." *PLOS ONE*, vol. 11, no.1, 2016. doi: 10.1371/journal.pone.0146396.
- [5] H.J. Flowers, J.E. Hightower, "A Novel Approach to Surveying Sturgeon Using Side-Scan Sonar and Occupancy Modeling." *Marine and Coastal Fisheries*, vol. 5, no.1, pp. 211–223, 2013. doi: 10.1080/19425120.2013.816396
- [6] A.T. Çelebi, M.K. Güllü, S. Ertürk, "Mine detection in side scan sonar images using Markov Random Fields with brightness compensation," in *2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 20-22 April 2011, Antalya, Turkey, 2011, pp. 916–919.
- [7] C.S. Huebner, "Evaluation of side-scan sonar performance for the detection of naval mines." *Target and Background Signatures IV*, vol. 10794, pp. 158–166, 2018. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2325642>
- [8] M. Verleysen, D. François, "The Curse of Dimensionality in Data Mining and Time Series Prediction." *Lecture Notes in Computer Science*, vol.

- 3512, no.6, pp. 758–770, 2005. doi: 10.1007/11494669_93
- [9] R.P. Gorman, T.J. Sejnowski, “Analysis of Hidden Units in a Layered Network Trained to Classify Sonar Targets.” *Neural Networks*, vol. 1, no.1, pp. 75–89, 1988. doi: [https://doi.org/10.1016/0893-6080\(88\)90023-8](https://doi.org/10.1016/0893-6080(88)90023-8)
- [10] B. Erkmén, T. Yıldırım. “Improving classification performance of sonar targets by applying general regression neural network with PCA.” *Expert Systems with Applications*,. vol. 35, no.1-2, pp. 472–475, 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.07.021>
- [11] M. Hossin, F. Mahudin, I. Din, A.R. Mat. “Analysis of Nine Instance-Based Genetic Algorithm Classifiers Using Small Datasets.” *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, vol. 9, pp 3–11, 2017.
- [12] J. Novakovic. “Using Information Gain Attribute Evaluation to Classify Sonar Targets,” in *17th Telecommunications forum TELFOR 2009. 24-26 November 2009. Serbia, Belgrade*.
- [13] S. Fong, S. Deb, R. Wong, et al. “Underwater Sonar Signals Recognition by Incremental Data Stream Mining with Conflict Analysis,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 10, no.5, pp 1-12 May 2014. doi: 10.1155/2014/635834
- [14] X. Hong, J. Zhang, S.U. Guan. “Incremental Maximum Gaussian Mixture Partition For Classification,” in *2nd Joint International Information Technology, Mechanical and Electronic Engineering Conference (JIMEC 2017)*, 2017, pp. 62.
- [15] T. Shang, X. Xia, J. Zheng. “MIME-KNN: Improve KNN Classifier Performance Include Classification Accuracy and Time Consumption.” *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering*, July 2018. doi: 10.12783/dtscse/csse2018/24490
- [16] Z. Wang, T. Oates. “Imaging Time-Series to Improve Classification and Imputation.” *Proceedings of the Twenty-Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence. (IJCAI)*, 2015.
- [17] Z. Wang, T. Oates. “Spatially Encoding Temporal Correlations to Classify Temporal Data Using Convolutional Neural Networks.” *Journal of Computer and Systems Sciences*, 2015.
- [18] J.P. Eckmann, S.O. Kamphorst, D. Ruelle “Recurrence Plots of Dynamical Systems.” *Euro-Physics Letters (EPL)*. vol. 4, no. 9, pp. 973–977, 1987.
- [19] A. Şeker, B. Diri, H.H. Balık. “Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme.” *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 3, no. 3, pp. 47-64, 2017.
- [20] S. Raschka, V. Mirjalili. *Python Machine Learning*, 2nd Edition 2017.
- [21] A. Civrizoğlu Buz, M.U. Demirezen, U. Yavanoğlu. “A Novel Approach and Application of Time Series to Image Transformation Methods on Classification of Underwater Objects,” in *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'20). Konya, Turkey. November 19-21, 2020*, pp. 31-37 [Online].

Türkiye’de Tüketicilere Yönelik Uzaktan Programlanabilir SİM Ekosistemi

Mehmet Akif ÇAKAR^{*a} 

^{a*} Süleyman Demirel Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye.

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 17.11.2020
Kabul: 12.04.2021

Anahtar Kelimeler:

e-SIM, gömülü-SIM,
SM-DP+, SM-DS,
LPA

ÖZ

Tüketicilere yönelik Uzaktan Programlanabilir SIM (e-SIM) standartları GSMA tarafından belirlenmektedir. 2016 yılında GSMA tarafından kararlı standartları belirlenen e-SIM teknolojilerinin Türkiye’de tabi olacağı mevzuat 12.02.2019 tarihinde yayınlanan Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurulu kararı çerçevesinde şekillenmiştir. GSMA tarafından tanımlanan e-SIM ekosistemi; tüketicilere yönelik ve makineler arası ağlara yönelik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada tüketicilere yönelik e-SIM ekosistemi ele alınmış olup makineler arası ağlara yönelik e-SIM ekosistemi çalışma kapsamının dışında tutulmuştur. Son kullanıcıya yönelik e-SIM ekosisteminin temel bileşenlerinden SM-DP+, SM-DS ve LPA’ya ait teknik detaylar, uluslararası standartlar ve yerel mevzuat ışığında ele alınmıştır. Tespit edilen olası problemlere yönelik çözüm önerileri sonuç bölümünde ele alınmıştır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.02>

e-SIM Ecosystem for Consumers In Turkey

ARTICLE INFO

Received: 17.11.2020
Accepted: 12.04.2021

Keywords:

e-SIM, embedded-
SIM, SM-DP+, SM-
DS, LPA

ABSTRACT

The e-Sim requirements for the end user (Consumer) are defined by GSMA. Information Technology and Communications Committee of Turkey has published local legislation about e-SIM requirements on 02.12.2019. e-SIM ecosystems defined by GSMA; it is divided into two for consumers and for machine-to-machine networks. In this study, the e-SIM ecosystem for consumers is discussed and the e-SIM ecosystem for machine-to-machine networks is excluded from the scope. In this study, the technical details of SM-DP+, SM-DS and LPA, which are the main components of the e-Sim ecosystem for the end user, have been handled within the framework of international standards and local legislation. Solution suggestions for possible problems identified are discussed in the results section.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.02>

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Abone kimlik modülleri (SIM - Subscriber Identification Module) hayatımıza girdiği 1991 yılından [1] günümüze kadar mobil telekomünikasyon sektörünün temel bileşenleri arasındaki güçlü konumunu korumaktadır. Abone kimlik modülleri evrensel seri numara (ICCID - Integrated Circuit Card Identification Number), uluslararası mobil abone

kimlik numarası (IMSI - International Mobile Subscriber Identity) ve çeşitli özel bilgilerden oluşan profil verisi sayesinde abonelerin mobil şebekelere bağlanmasında anahtar rolünü üstlenmektedir.

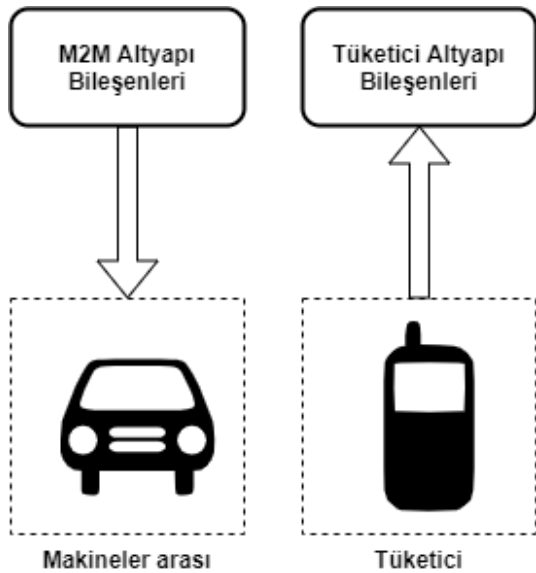
SIM modüllerinin fiziki evrensel entegre devre kartlarına (UICC - Universal Integrated Circuit Card) yerleştirilmesiyle elde edilen fiziki SIM kartlar son

*Sorumlu yazar: iletisim@mehmetakifcakar.com

kullanıcılar tarafından farklı mobil cihazlar arasında taşınabilmektedir.

2010 yılında tartışılmaya başlanılan [2] uzaktan programlanabilir gömülü SIM (eSIM) teknolojileri GSMA tarafından 2016 yılında standardize edilmiştir. eSIM teknolojisi geleneksel SIM teknolojisinin temel rolünü korumakla birlikte cihazlara yüklenme ihtiyacını fiziksel mekanizmalar yerine dijital yöntemlerle gidermektedir. eSIM teknolojisinin telekomünikasyon ekosisteminde başta abonelik yönetimi, pazarlama, üretim ve dağıtım gibi pek çok süreç üzerinde yeni avantajlar sağlaması beklenmektedir [3].

GSMA tarafından geliştirilen eSIM standartları, tüketicilere ve makineler arası ağlara yönelik olmak üzere iki ayrı ekosistem altında tanımlanmıştır. Tüketicilere yönelik ekosistemde son kullanıcılar cihazlarında kullanmak istedikleri mobil operatörleri kendileri tercih ederler. Tercih edilen mobil operatör profilinin aktivasyonu son kullanıcıların cihaz arayüzü üzerinden etkileşimleri sonucunda gerçekleşir. Makineler arası ağlara yönelik ekosistemde mobil operatör tercihi üretici, dağıtıcı ve/veya hizmet sağlayıcılar gibi farklı aktörlerce belirlenir. Tercih edilen profilin aktivasyonu mobil operatör tarafından gerçekleştirilir. Şekil 1’de her iki ekosistemde ele alınan kontrol akışı gösterilmiştir. Bu çalışmada tüketicilere yönelik eSIM ekosistemi ele alınmakta olup makineler arası ağlara yönelik ekosistem kapsam dışında tutulmuştur.



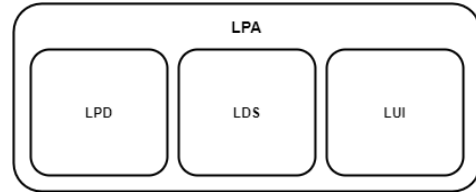
Şekil 1. e-SIM Ekosistemlerinde Kontrol Akışı
(Control Flow in e-SIM Ecosystems)

2. TÜKETİCİ EKOSİSTEMİNE TEKNİK BAKIŞ (TECHNICAL OVERVIEW OF CONSUMER ECOSYSTEM)

Tüketicilere yönelik eSIM ekosisteminin bileşenleri; mobil ağ operatörleri, son kullanıcılar, SM-DP+, SM-DS, LPA ve eUICC barındıran eSIM uyumlu cihazlar, sertifika otoritesi ve üreticilerdir. eSIM uyumlu cihazlara profil yükleme işlemi ağırlıklı olarak DM-DP+, DM-DS, LPA ve eUICC kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Gömülü Evrensel Entegre Devre Kartları (eUICC - Embedded Universal Integrated Circuit Card) fiziki SIM kartlardaki UICC bileşenin yerini almaktadır. Mobil ağ operatörlerine ait profil bilgilerinin internet ağı üzerinden indirilerek saklandığı eleman niteliğindedir. eSIM uyumlu cihaz üreticileri; ürünlerde kullanılacak eUICC devrelerini, GSMA tarafından SAS-UP [4] kapsamında yetkilendirilmiş [5] eUICC üreticilerinden temin etmeleri gerekmektedir.

eSIM uyumlu cihazlarda ekosistemin eUICC ile etkileşimi ağırlıklı olarak yerel profil asistanı (LPA - Local Profile Assistant) üzerinden gerçekleştirilir. Şekil 2’de tasvir edilen LPA; yerel profil indirme servisi (LPD - Local Profile Download), yerel keşif servisi (LDS - Local Discovery Service) ve yerel kullanıcı arayüzü (LUI - Local User Interface) olmak üzere 3 temel bileşenden oluşmaktadır. LPA cihaz üzerinden sağlanabileceği gibi eUICC üzerinden de sağlanabilmektedir. Cihaz üzerinden sağlanan LPA, LPAd olarak bileşenleri ise sırasıyla LPDd, LDSd ve LUId olarak adlandırılır. eUICC üzerinden sağlanan LPA, LPAe olarak bileşenleri ise sırasıyla LPDe, LDSe ve LUIe olarak adlandırılır.

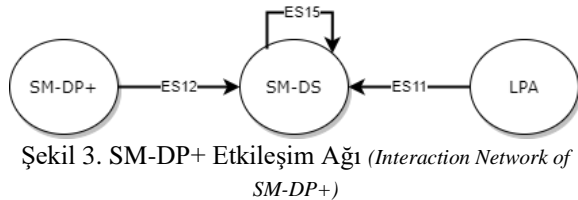


Şekil 2. LPA Temel Bileşenleri (Basic Components of LPA)

LPD; mobil ağ operatörüne ait profil bilgisini SM-DP+ üzerinden ES9+ ve ES8+ ara yüzlerini kullanarak indiren, ES10b arayüzü üzerinden eUICC’ye yükleme işlemi gerçekleştiren bileşendir. LDS; mobil ağ operatörüne ait profil bilgisinin temin edileceği SM-DP+ hizmetinin adresini çözümleyen bileşendir. eUICC’nin ihtiyaç duyduğu adres çözümleme işlemi LDS ve SM-DS arasındaki ES11 arayüzü üzerinden gerçekleştirilmekte olup

çözömlenen adres bilgisi eUICC'ye ES10a arayüzü üzerinden aktarılır. LUI; son kullanıcıların profil indirme ve/veya profil yönetim işlemlerini gerçekleştirdikleri grafiksel arayüzü sağlamakla sorumlu olan bileşendir. LUI, eUICC ile ES10c arayüzü üzerinden iletişim kurar. Kullanıcıya sağlanan LUI deneyimi GSMA tarafından standardize edilmemiş olup platform geliştiricilerin inisiyatifine bırakılmıştır.

SM-DP+ mobil ağ operatörlerine ait profil bilgilerinin üretilmesi, saklanması ve korunmasından sorumlu kilit bileşen rolünü üstlenmektedir. SM-DP+ ayrıca üretilen mobil ağ operatörü profillerinin LPA üzerinden eUICC'ye yüklenmesinden de sorumludur. SM-DP+, mobil ağ operatörleri ile ES2+, LPA ile ES9+ ve SM-DS ile ES12 ara yüzleri üzerinden doğrudan bağlantılıdır. SM-DP+ ile eUICC arasındaki ES8+ üzerinden sağlanan dolaylı bağlantı LPA üzerinden gerçekleştirilmektedir (Şekil 3).

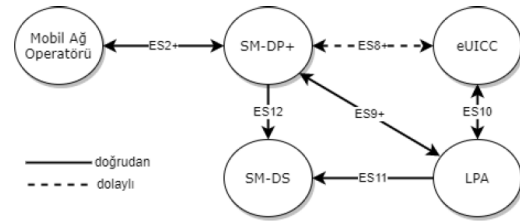


Şekil 3. SM-DP+ Etkileşim Ağı (Interaction Network of SM-DP+)

LPA tarafından yüklenecek profilin sağlayıcısı olan SM-DP+ adresinin çözömlenmesi için ihtiyaç duyulan bilgi SM-DS tarafından sağlanmaktadır. Bu işlev diğer bir bakış açısıyla ele alındığında SM-DP+ bileşenin LPA barındıran eSIM uyumlu cihazlara erişebilmesine de imkân vermektedir. eSIM uyumlu cihazların hangi şebeke koşullarında olduğunu bilmeksizin erişim sağlanabilmesi, farklı dağıtım yöntemlerini mümkün kılmaktadır. SM-DS bu olanağı iki aşamada sağlar. İlk aşamada ES12 üzerinden SM-DP+'tan gelen tetikleyici sinyalleri kayıt altına alır. İkinci aşamada ES11 arayüzü üzerinden gerçekleştirilen bağlantıda kayıt altındaki tetikleyici sinyaller LPA bileşenine aktarılır (Şekil 4).

SM-DS bileşenlerini bölgesel ve/veya hiyerarşik şekilde konumlandırılabilir. Tüm yaklaşımlarında konumlandırılan SM-DS hizmetleri GSMA tarafından sunulan kök SM-DS hizmetiyle ES15 arayüzü üzerinden iletişim halinde olmalıdır. Hiyerarşik konumlandırmalarda hiyerarşinin en üst noktasında GSMA kök SM-DS hizmeti bulunmaktadır. SM-DP+ hiyerarşi üzerindeki herhangi bir SM-DS ile anlaşılıp sinyal iletebileceğinden; kök olmayan SM-DS hizmetleri ES11 veya ES15 arayüzü üzerinden gelen taleplere ilişkin kendi üzerlerinde kayıt bulunamaması halinde

ES15 üzerinden bir üst SM-DS hizmetine sormaları gerekmektedir.



Şekil 4. SM-DS Veri Akışı (Data-Flow of SM-DS)

GSMA tarafından yetkilendirilmiş kök sertifika otoritesi [6] eUICC, SM-DS ve SM-DP+ arasındaki güvenli iletişimde ihtiyaç duyulan sertifika ve anahtar yönetiminden sorumlu aktördür. Kök sertifika otoriteleri, gerçekleştirdikleri işlemleri GSMA güvenlik akreditasyon şemasıyla (SAS - Security Accreditation Scheme) uyumlu olacak şekilde işlemleri yürütürler.

Mobil ağ operatörleri tüketicilere ait eSIM uyumlu cihazlar için profil üretebilmek ve cihazlara yükleyebilmek için SM-DP+ hizmetine ihtiyaç duymaktadırlar. İhtiyaç duyulan SM-DP+ hizmeti GSMA tarafından SAS-SM [5] kapsamında akredite edilmiş hizmet sağlayıcılarından temin edilmektedir. Diğer yandan mobil ağ operatörleri, mevcut altyapıları üzerinde tesis edilen SM-DP+ hizmetini GSMA akreditasyonu ile devreye alabilirler.

Şekil 5'te tüketicilere yönelik eSIM ekosisteme ait bileşenler ile bu bileşen ve aktörler arasındaki ilişkiler gösterilmektedir.

3. YEREL MEVZUAT AÇISINDAN TÜKETİCİ EKOSİSTEMİ (CONSUMER ECOSYSTEM IN TERMS OF LOCAL LEGISLATION)

Tüketicilere yönelik eSIM ekosisteminin ülkelerde devreye alınabilmesi için ikinci bölümde kısaca özetlenen aktör ve bileşenlerin, yerel mevzuatla uyumlu olacak şekilde tesis edilmesi gerekmektedir. Türkiye'de telekomünikasyon sektörüne ait düzenleme ve denetleme görevi Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurulu'na verilmiştir.

kamu düzeni veya kamu hizmetinin gereği gibi yürütülmesi amacıyla mevzuatın öngördüğü tedbirlerin alınması ve operatörlerin elektronik haberleşme sistemleri üzerinden ilgili kanunlarda getirilen düzenlemelere yönelik elektronik haberleşme sistemlerinin kurulması olarak belirtilmiştir.

4. DEĞERLENDİRME (DISCUSSION)

Bilgi Teknolojileri Kurulunca yayımlanan mevzuat çerçevesinde; ülke sınırları içerisinde kullanılacak eSIM uyumlu tüketici cihazlarına (uluslararası dolaşım kapsamındaki 120 günlük süre haricinde) yetkili operatörlere ait profillerin yüklenmesi gerekecektir. Halihazırda yürürlükte olan fiziki SIM ekosisteminde de geçerli olan bu düzenlemenin yerel operatörlerin avantajına bir durum oluşturduğu söylenebilir.

Fiziki SIM ekosisteminden farklı olarak eSIM ekosisteminde ihtiyaç duyulan bileşen ve sistemlerin yerli malı belgesine sahip olması zorunlu tutulmuştur. Bu karar çerçevesinde tüketicilere yönelik eSIM ekosisteminde ihtiyaç duyulan bileşenlerin yerli katkı oranı en az %51 olmak üzere üretim sürecinin önemli aşamalarının ve ekonomik yönden gerekli görülen en son esaslı işçilik ve eylemin Türkiye’de yapılmış olması gerekmektedir. SM-DS ve DM-DP+ gibi tüketicilere yönelik eSIM ekosistemine ait kilit bileşenlerin teknik tanımları [7] GSMA tarafından kamuya açık olarak yayınlanmaktadır. Yayımlanan teknik tanımlar doğrultusunda ilgili bileşenlerin yerli imkânlarla geliştirilmesi teknik açıdan mümkün olarak değerlendirilebilir. Kurul kararında yer alan LPA bileşeninin yerli malı kapsamında geliştirilmesi hususunda ise birtakım zorluklarla karşılaşılması muhtemel görülmektedir.

NOT (NOTE)

Bu çalışma 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAIAME, 2020) konferansında sunulmuş bildirinin genişletilmiş sürümüdür.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Saad Z. “Asif, Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications”, *John Wiley & Sons*, 2010, pp. 306 ISBN-13: 978-0470747469.
- [2] D. ben-Aaron, "GSMA Explores Software-Based Replacement for Mobile SIM Cards," *Bloomberg*, Oct. 18, 2010. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2010-11-18/gsma-explores-software-based-replacement-for-mobile-sim-cards>. [Accessed May. 10, 2020].
- [3] GSMA, "The SIM for the next Generation of Connected Consumer Devices," *gsma.com* 2018. [Online]. Available: <https://www.gsma.com/esim/> [Accessed: Jan. 12, 2021].
- [4] GSMA, "Security Accreditation Scheme for UICC Production - Standard," *GSMA*, 2019.
- [5] GSMA, "SAS Accredited Sites," *GSMA*, 2020. [Online]. Available: <https://www.gsma.com/security/sas-accredited-sites/>. [Accessed May. 10, 2020].
- [6] GSMA, "GSMA Root Certificate Issuer (CI) for eSIM Remote SIM Provisioning," *GSMA*, 2020. [Online]. Available: <https://www.gsma.com/esim/certificate-issuer/>. [Accessed May. 10, 2020].
- [7] GSMA, "RSP Technical Specification v2.2", *GSMA*, 2018, [Online]. Available: <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads//SGP.22-v2.2.1-2.pdf> [Accessed May. 10, 2020].

Temperleme Isıl İşlem Sıcaklıklarının AISI 1020 ve AISI 1040 Karbon Çeliklerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri

Nursel ALTAN ÖZBEK^{*a}, Erdem SARAÇ^b

^{a*} Düzce University Cumayeri Vocational School of Higher Education, 81700, Düzce, Türkiye.

^b Düzce University Institute of Science, Mechanical Engineering, 81620, Düzce, Türkiye.

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 19.03.2021
Kabul: 14.04.2021

Anahtar Kelimeler:

AISI 1020 ve AISI
1040 çeliği,
Temperleme
sıcaklığı,
Mikroyapı, Sertlik,
Çekme dayanımı,
Çentik darbe deneyi

ÖZ

Bu çalışmada, temperleme ısıl işlem sıcaklıklarının endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan AISI 1020 ve 1040 karbon çeliklerin mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Numuneler 850 °C'de su verme işleminin ardından 450, 550 ve 650 ° C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta 1 saat süre ile temperlenmiştir. Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için sertlik ölçümleri, çekme ve çentik darbe testleri yapılmıştır. Ayrıca numuneler mikroyapısal olarak da incelenmiştir. Sonuçlar, su verme işleminden sonra temperleme ısıl işlemi uygulandığında her iki numunenin sertlik, çekme dayanımı ve akma dayanımı değerlerinin düştüğünü ortaya koymaktadır. Temperleme sıcaklığı arttıkça, bu değerler düşme eğiliminde olmuştur. Ancak, temperleme ısıl işlemi ve artan temperleme sıcaklığı ile darbe değerleri artmıştır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.03>

Effects of Tempering Heat Treatment Temperatures on Mechanical Properties of AISI 1020 and AISI 1040 Carbon Steels

ARTICLE INFO

Received: 19.03.2021
Accepted: 14.04.2021

Keywords:

AISI 1020 and AISI
1040 steel,
Tempering
temperature,
Microstructure,
Hardness, Tensile
strength, Charpy
impact test

ABSTRACT

In the present study, the effects of tempering heat treatment temperatures on the mechanical properties of AISI 1020 and 1040 carbon steel types, which have a wide range of use in industry, were investigated. The samples were quenched at 850 °C, and then they were tempered at three different temperatures; 450, 550, and 650 °C, for 1 hour. Hardness measurements of the samples were performed to determine their mechanical properties. Besides, the samples were subjected to tensile and charpy impact tests. The samples were examined microstructurally, as well. The results reveal that the hardness, tensile strength, and yield strength values of both samples decreased when tempering heat treatment was applied after quenching. As the tempering temperature increased, these values tended to decrease. However, the impact value increased with the tempering heat treatment and increasing tempering temperature

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.03>

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Carbon steel is one of the most widely used materials in the industry, an iron-carbon alloy with up to 2.1% wt.% carbon in its composition. This steel can be divided into three categories based on its carbon content, namely low carbon steel, medium

carbon steel, and high carbon steel. The mechanical properties of carbon steels are improved via heat treatment involving austenitizing followed by quenching and tempering, giving them a martensitic microstructure. In general, heat treatment is defined as controlled heating and cooling processes applied to steel to impart desired properties. Heat treatments

*Sorumlu yazar: nurselaltan@duzce.edu.tr

To cite this article: N. Altan Özbek and E. Saraç, "Effects of Tempering Heat Treatment Temperatures on Mechanical Properties of AISI 1020 and AISI 1040 Carbon Steels", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.1, pp. 17-25, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.01.03

applied to the steel are related to the transformation of its microstructure. The compositions and structures of the products the conversion affect the mechanical properties of the steel directly. Numerous thermal methods have been developed. The use of these methods depends on the type of steel and the expected properties such as hardness, strength, toughness, abrasion resistance. One of these heat treatment methods is tempering. In tempering, the material is heated to a temperature below the austenitization temperature. Tempering temperature varies according to the type of steel. At the end of the process, the hardness of the steel having a taut structure decreases, and the toughness increases due to the decrease in the tension level [1, 2].

Verma and Singh [3], conducted a study investigating the effects of heat treatment on the mechanical properties of AISI 1040 steel. For this purpose, after being kept at 900 °C for 120 minutes, tempering was applied to water-hardened AISI 1040 steel at 250, 450, and 650 °C, for 60, 90, and 120 minutes. Besides, the hardness measurements of the samples were performed. Also, tensile strength, yield strength, and elongation values were obtained by tensile testing. As a result, the highest hardness, tensile strength, and yield strength values were obtained at the lowest temperature of 250 °C in 60 minutes. These values decreased with increasing tempering temperature and holding time. To determine the effects of tempering on microstructural features and mechanical properties. Çaligulu et al. [4] cooled 38MnS6 and 41CrMo4 steel materials in oil after annealing them at 900 °C for 1 hour and then tempered these materials at 300 °C, 400 °C, and 500 °C. The results revealed that the transformation from martensitic to bainitic structure depended on the tempering temperature of the steels. It was also observed that hardness values decreased according to the tempering temperature. Rahman et al. [5] conducted a study to determine the effects of heat treatment on the hardness and microstructural properties of low carbon AISI 1020 steel. For this purpose, the samples were heated in a heat treatment furnace at 950 °C for 2 hours and then cooled in different environments (water, air, ash). The highest hardness increase (302%) was obtained by cooling in water and the lowest hardness increase (21%) by ash cooling. The austenite phase in ash cooling turned into ferrite and perlite. A small amount of ferrite and cementite phases occurred during air cooling. In water hardening, the austenite phase was converted to a stable martensite phase. Guler and Ozcan [6] examined the effects on the strength of high carbon steel materials by quenching. The materials were

heated in the oven at 700, 750, 800, 850, and 900 °C, for 30 minutes, and then taken out of the oven and cooled in water. The results of tensile tests and hardness measurements revealed that the materials became brittle and quenched. Koksall et al. [7] a tempered variety of carbon steels (Ç1020, Ç1030, Ç1040, and Ç1050) at 100, 200, 400, and 600 °C after quenching and investigated the changes in their mechanical properties. F-Δl curves were obtained by applying the tensile test to the steels whose carbon contents were 0.20 - 0.50% by weight. Strength coefficients (K), deformation hardening exponent (n), yield (Re), and tensile strength (Rm) values were found by using curves.

The increase in carbon content increased yield and tensile strength values. It was found out that the strength coefficient (K) and deformation hardening base (n) decreased significantly with increasing quenching temperature. Especially, the yield and tensile strength of C1040 and C1050 steels significantly decreased. Lee et al. [8] investigated the mechanical properties and microstructural features of AISI 4340, under different tempering processes. The samples were first austenitized (annealed) at 850 °C for 30 minutes and then cooled in oil. They were then heated at 100, 200, 250, 300, 400, 500, and 650 °C for 2 and 48 hours, respectively, and subjected to a dynamic fracture test. Fractography of the specimens was also made to analyze their fracture and embrittlement mechanisms. The results showed that the mechanical and microstructural properties of the samples were significantly affected by temperature and duration of tempering. The hardness and strength of the tempered martensite decrease with increasing temperature and time. Saraç and Özbek [9] investigated the effects of tempering heat treatment temperature on the mechanical properties of AISI 4140 steel after quenching. The samples were quenched and then tempered for 1 hour at four different temperatures: 300, 450, 550, and 650 °C. Hardness measurements of the samples were performed to determine their mechanical properties. Besides, samples were subjected to tensile and impact tests. The hardness reached its maximum at 300 °C, the lowest tempering temperature. The highest tensile strength and yield strength values were also obtained at this temperature. With increasing tempering temperature, the tensile and yield strength values of the samples decreased.

In the current study, the effects of tempering applied at different temperatures (450, 550, and 650 °C) on the mechanical properties of AISI 1020 and AISI 1040 carbon steel were investigated after

quenching. The tensile and yield strength, elongation, and impact energy of the samples were investigated by performing the tensile and notch impact test. With the microstructure photographs of the samples, the effects of tempering temperatures were analyzed.

2. EXPERIMENTAL METHODS (DENEYSEL YÖNTEMLER)

The chemical components of the carbon steels used in the study as a result of spectral analysis are shown in Table 1. Steel samples were subjected to quenching at 880 °C. Then, the tempering process was

applied at 450, 550, and 650 °C, for 1 hour. Hardness measurements of the samples were performed on the METKON DUROLINE-M device.

In the measurements, 1000 grams of the load was applied for 10 seconds. The samples were subjected to the 200 tons capacity Zwick Z2000H model servohydraulic pulling device tensile tests (Figure 1). Charpy impact tests were performed via Zwick-rkp 450 Model (Figure 2). For each measurement value, 3 samples were tested and their average values were taken.

Table 1. Chemical components of test samples (*Deney numunelerinin kimyasal bileşimleri*)

Element (%)	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S
AISI 1020	0.22	0.52	0.15	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01
AISI 1040	0.42	0.60	0.31	0.13	0.08	0.01	0.02	0.01

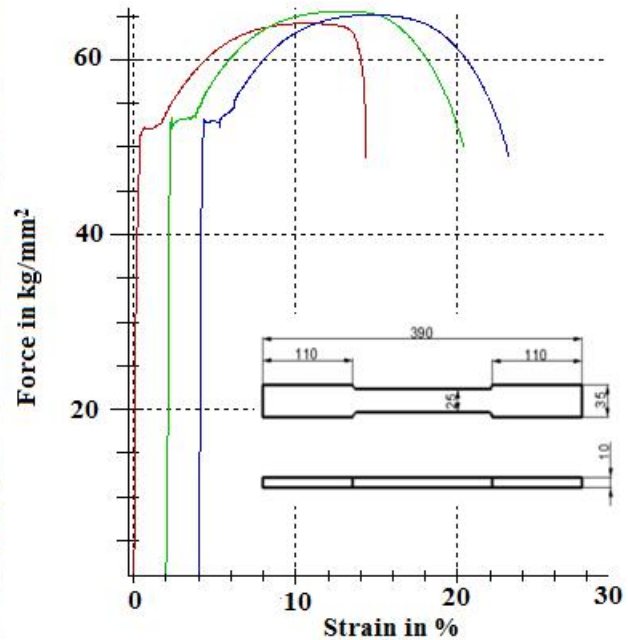


Figure 1. Tensile testing machine and test sample (*Çekme deney cihazı ve deney numunesi*)

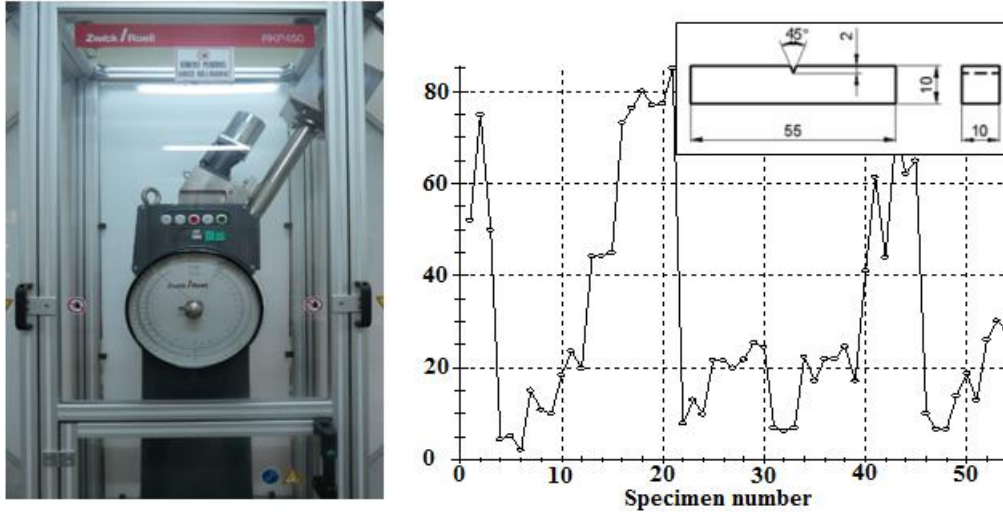


Figure 2. Charpy impact tester and test sample (Çentik darbe deney cihazı ve deney numunesi)

3. RESULTS AND DISCUSSION (SONUÇLAR VE TARTIŞMA)

3.1. Microstructure (Mikroyapı)

Figures 3 and 4 show microstructure photographs of AISI 1020 steel samples taken at 200X and 500X magnification. The photographs show bainite, residual austenite, ferrite, and martensite structures. After quenching, it was seen that the martensite structure is dense in the samples. This structure is very hard and fragile because of its high internal stresses. With the tempering heat treatment applied at 450 °C, it was seen that the martensite structure of these partially decreased. At 550 °C tempering temperature, it was seen that the martensite structure decreases and there is an increase in the bainite and pearlite structures. When tempered at 650 °C, it was seen that the martensite structure is very low, and the structure of bainite and perlite is very high.

Figures 5 and 6 show microstructure photographs of AISI 1040 steel samples taken at 200X and 500X magnification. While the martensite structure, which is denser after quenching, decreased after the tempering process, the ferrite and carbide increased. Besides, increasing tempering temperature leads to a decrease in martensite structure but an increase in ferrite and spheroidal carbides.

3.2. Hardness (Sertlik)

The hardness measurement results of the samples can be seen in Fig 7. Microhardness and macro hardness measurements were found to be compatible with each other. Between the two types of material, AISI 1040 material revealed higher hardness values under all heat treatment conditions. This is due to the differences in chemical compositions of the two steel types. In general, as the carbon content increases, the hardness of the steel increases [10]; whereas, the

fracture toughness decreases. On the other hand, Cr in the chemical composition of AISI 1040 steel increases wear resistance, hardenability, resistance to oxidation, and corrosion in steel [10]. It is also considered to be the result of differences in Si levels between these two materials. Si dissolves in iron and tends to strengthen it [10].

For both types of material (AISI 1020 and AISI 1040), the highest hardness values were measured in the quenched samples. The hardness of the samples decreased with the increasing tempering temperature. While the AISI 1020 material had a microhardness level of 360.533 after quenching, the microhardness of the sample decreased by 25% with the tempering heat treatment applied at 450 °C, and by 40% with the tempering heat treatment applied at 650 °C.

For AISI 1040 material, the microhardness value was found to be 637.433 after quenching, but it decreased by 43% and 54% at 450 °C and 650 °C respectively. Similarly, when tempering was applied at 650 °C after quenching, macro hardness values of AISI 1040 and AISI 1020 materials decreased by 46% (from 56.766 HRC to 30.8 HRC) and 51% (from 38.333 HRC to 18.733 HRC) respectively. It can be concluded that increasing the tempering temperature results in lower work hardening capacity [11]. The martensite structure, which has a hard structure at low tempering temperature, decreased with the increasing tempering temperature, and the bainite and pearlite structure, which have a softer structure, increased.

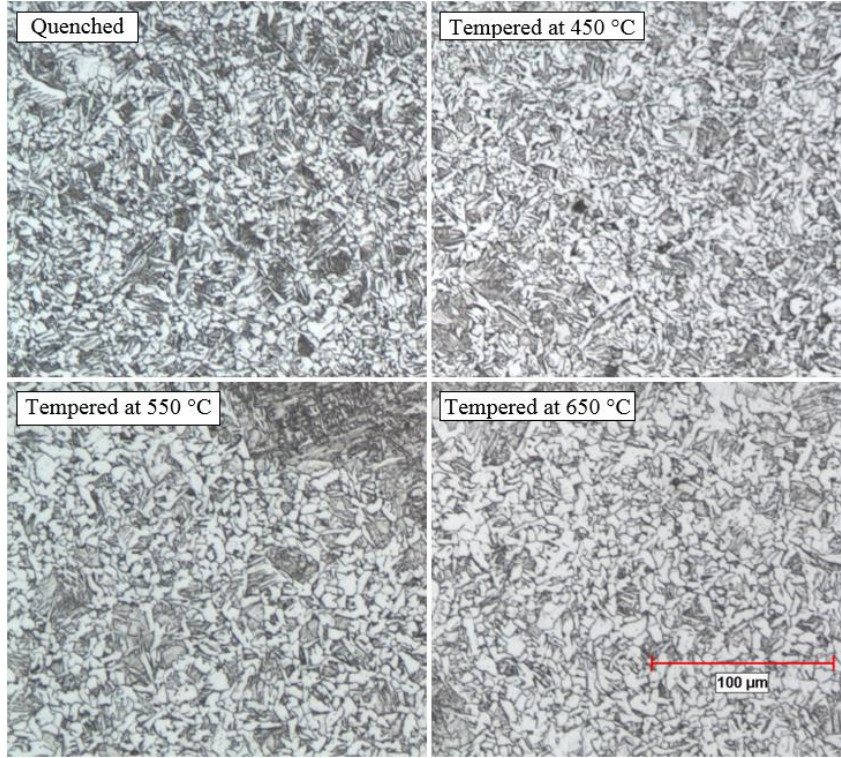


Figure 3. The microstructure of AISI 1020 steel (200X magnification) (*AISI 1020 çeliğinin mikroyapısı (200X büyütme)*)

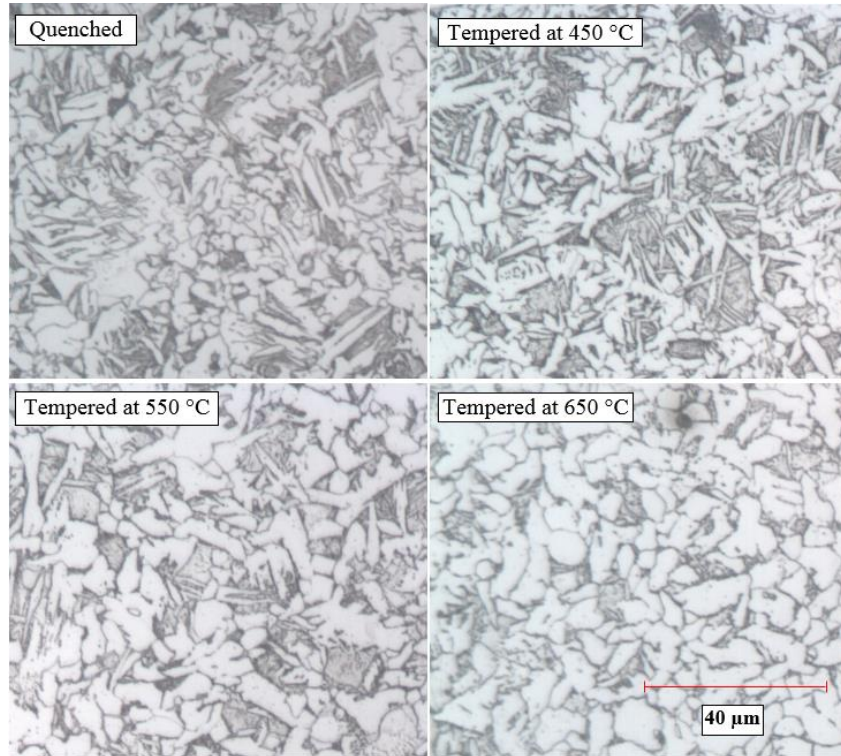


Figure 4. The microstructure of AISI 1020 steel (500X magnification) (*AISI 1020 çeliğinin mikroyapısı (500X büyütme)*)

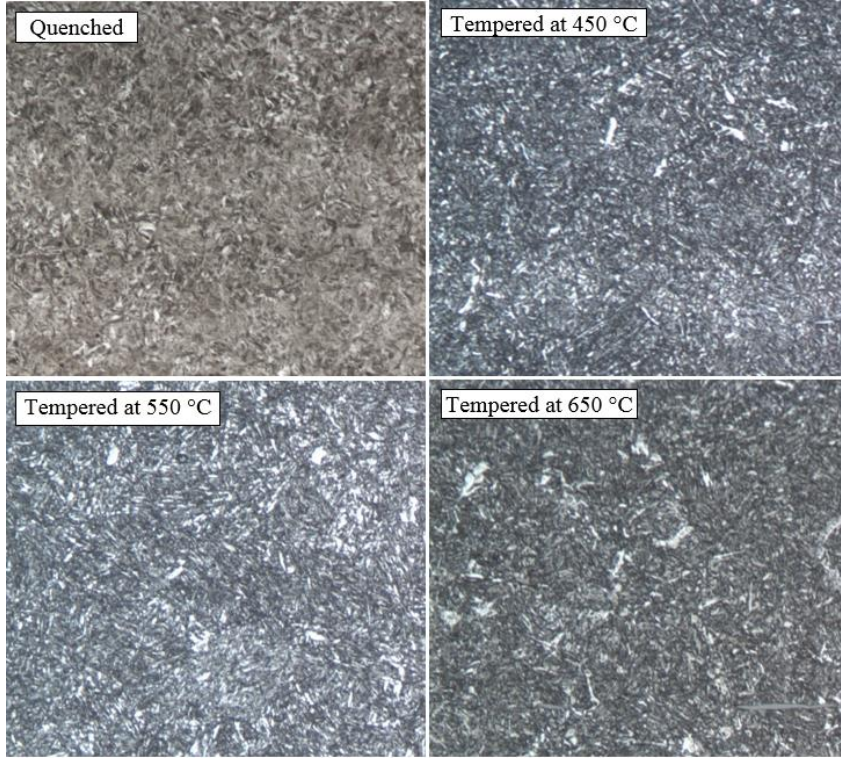


Figure 5. The microstructure of AISI 1040 steel (200X magnification) (*AISI 1040 çeliğinin mikroyapısı (200X büyütme)*)

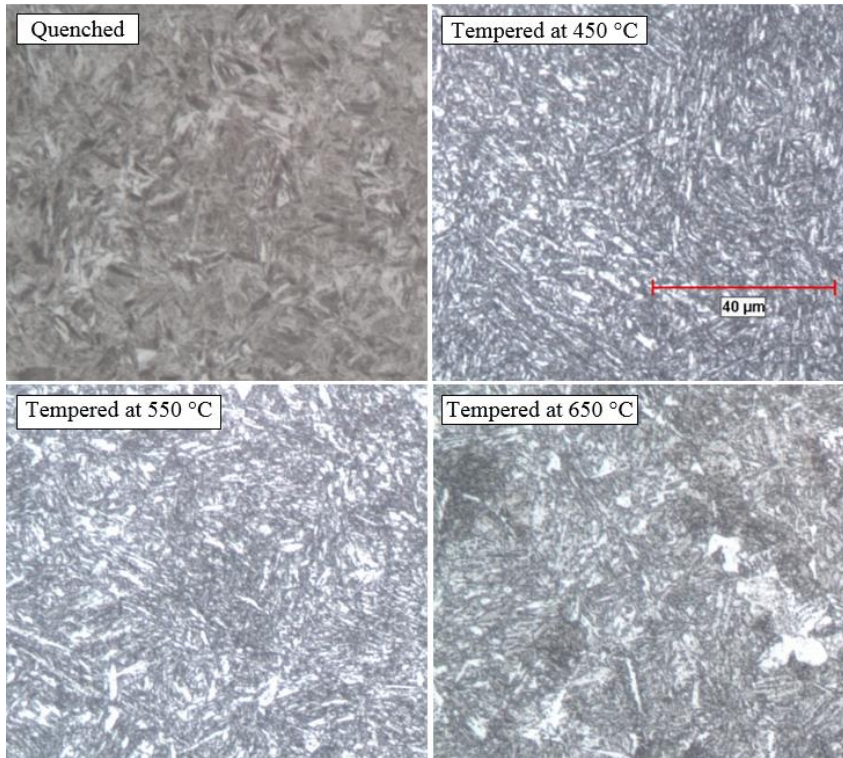
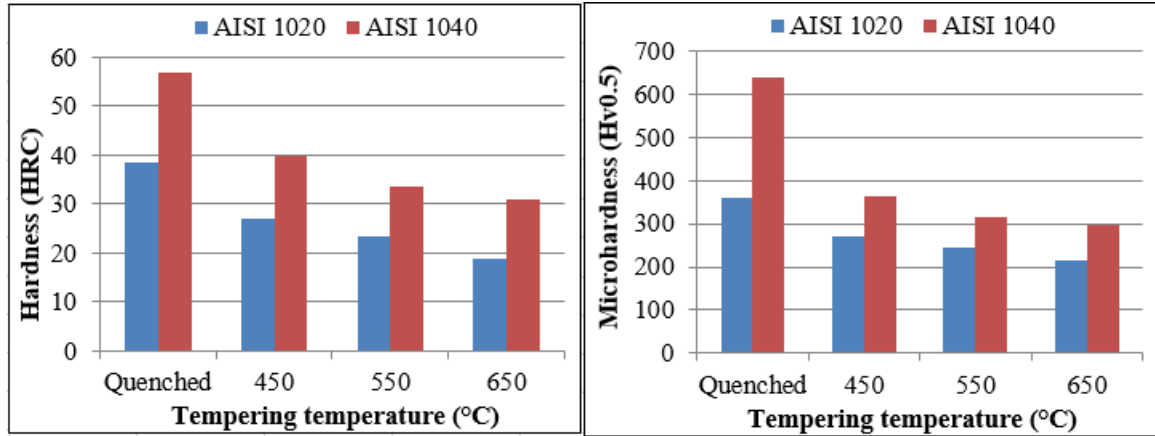
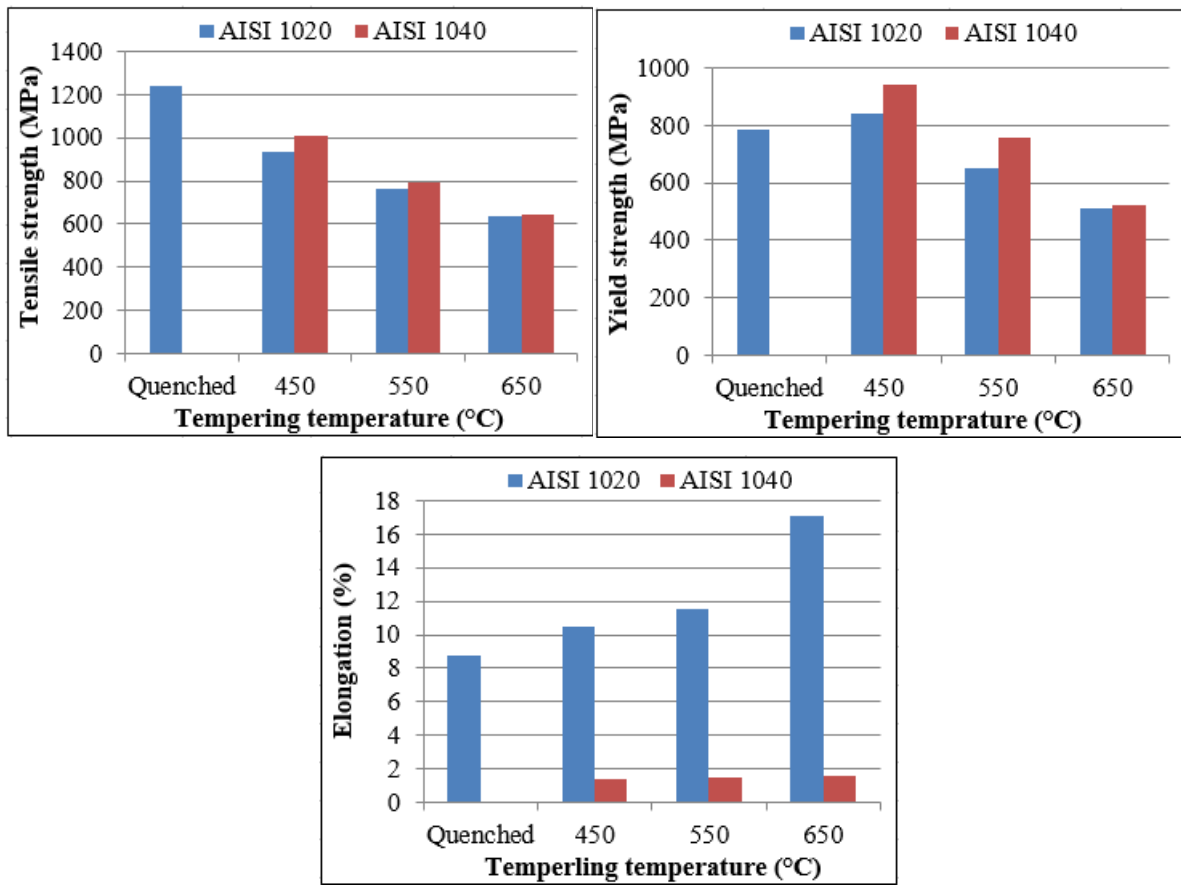


Figure 6. The microstructure of AISI 1040 steel (500X magnification) (*AISI 1040 çeliğinin mikroyapısı (500X büyütme)*)

Figure 7. Hardness test results (*Sertlik deneyi sonuçları*)Figure 8. Tensile test results (*Çekme deneyi sonuçları*)

3.3. Tensile Test (*Çekme Deneyi*)

The results of the tensile test are presented in Fig. 8. While the tensile test was carried out as usual in the quenched sample of AISI 1020 material, the quenched sample of AISI 1040 material behaved in a brittle manner and was directly broken. For this reason, the yield and tensile strength could not be measured. This may be associated with the brittle material after the quenching process and the excess residual stresses. In general, yield strength and tensile strength values of AISI 1040 material are higher than AISI 1020

material. As mentioned earlier, this can be attributed to the greater presence of elements such as C, Cr, and Si in the chemical composition of AISI 1040 material. Thanks to these elements, AISI 1040 material has a higher hardenability and strength than AISI 1020 material. For this reason, the elongation at break values of AISI 1020 material were found to be higher.

As can be seen in Fig. 8, the yield strength and tensile strength decrease with increased tempering temperature. When the differences between yield

strength and tensile strength are considered as a measure of the work hardening rate, it can be concluded that increasing tempering temperature results in lower work hardening capacity.

As shown in the elongation change graph, the elongation value of AISI 1040 steel is much lower than that of AISI 1020 steel under all heat treatment conditions. For both types of materials, elongation values increased with the tempering process and increasing tempering temperature. This implies that the ductility increases. As the tempering temperature increased, the material became more ductile, and thus, the hardness value decreased.

3.4. Charpy Impact Test (*Çentik Darbe Deneyi*)

There is a certain relationship between the impact energy and ductility of the materials. The impact energies of non-ductile materials are also low. Fig 9 shows the impact energy values of the samples. The impact energy of AISI 1040 material is much lower than that of AISI 1020 material. This difference between the two materials is 93%, 79%, 77%, and 75% respectively in the quenched samples, tempered at 450 °C, 550 °C, and 650 °C, respectively. This is attributed to the difference in the amount of C between

the two steel types. Increasing the amount of C increases the iron carbide (cementite/Fe₃C) ratio. The strength increases since iron carbide is a hardening phase. However, ferrite-cementite interfaces are ideal interfaces for crack nucleation. Therefore, with the increase of iron carbide ratio, the strength increases but the fracture toughness and elongation decrease.

While the lowest impact energy value for both types of materials was found to be in the samples that were given water, the impact energy values increased significantly together with the tempering heat treatment. Impact energy values also increased with an increase in tempering temperature from 450 °C to 650 °C. The impact energy value of AISI 1020 material, which was 58.95 J after quenching, increased by 127% and reached 133.85 J when tempered at 450 °C. This value increased by 17.9% at the tempering temperature of 550 °C, and 21.6% at 650 °C. Similarly, in AISI 1040 material, when tempering heat treatment was applied at 450 °C, 550 °C, and 650 °C, the impact energy value increased by 603%, 30.7%, and 30.4%, respectively. What is crucial here is that the impact energy is very low in the quenched sample of the AISI 1040 material, and the impact energy shows a very high increase with the first tempering process.

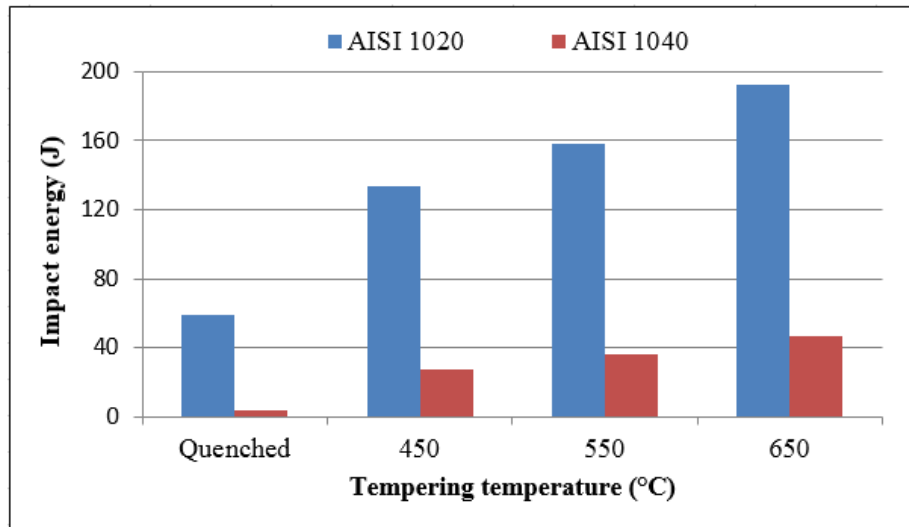


Figure 9. Impact test results (*Darbe debneyi sonuçları*)

4. CONCLUSIONS (*SONUÇLAR*)

In this study, after the quenching process of AISI 1020 and AISI 1040 steel types, the tempering process was applied at three different temperatures: 450, 550, and 650 °C, and the effects of the heat treatments on the mechanical properties of steels were investigated. The results obtained in the study are as follows:

- Compared to AISI 1020 steel, AISI 1040 steel has a higher hardenability. AISI 1040 steel

showed higher hardness values in all heat treatment types.

- With the tempering process and increasing tempering temperature, there was a decrease in the hardness values of both types of materials.
- Compared to AISI 1020 steel, AISI 1040 steel has higher tensile strength and yield strength under all heat treatment conditions. With the tempering and the increasing tempering temperature, the tensile strength and yield

- strength values decreased in both types of materials.
- The elongation value of AISI 1040 steel is lower under all heat treatment conditions. With the tempering process and increasing tempering temperature, the elongation values of the samples increased.
- Under all heat treatment conditions, the impact energy of AISI 1040 material is much lower than that of AISI 1020 material. With the tempering heat treatment, the impact energies of both materials increased. As the tempering temperature increased, the impact energies increased, too.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT (ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ)

The authors reported no potential conflict of interest.

REFERENCES (KAYNAKLAR)

- [1] W.D. Jr. Callister and D.G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, Eight Edition, Asia: John Wiley & Sons, 2015.
- [2] T.V. Rajan, C.P. Sharma and A. Sharma, *Heat Treatment: Principles and Techniques*, New Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 2011.
- [3] A. Verma and P.K. Singh, "Influence of heat treatment on mechanical properties of AISI 1040 Steel," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 32-38, 2013.
- [4] U. Çaligülü, M. Aras and M. Türkmen, "Effect of tempering on microstructure and hardness properties of oil quenched steel", in *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016)*, 3-5 November, 2016, Alanya/Antalya-Turkey, 2016. pp. 600-607.
- [5] S.M. Rahman, K.E. Karim and M.H.S. Simanto, "Effect of heat treatment on low carbon steel: an experimental investigation," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 860, pp. 7-12, 2017. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.860.7>
- [6] H. Guler and R. Ozcan, "Effect of quenching process on mechanical properties of high carbon steels," *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, vol. 19, no. 2, pp. 77-83, 2014. doi: <https://doi.org/10.29130/dubited.538237>
- [7] N.S. Koksall, M. Uzkuut and B.S. Unlu, "Differences in mechanical properties of steels of different carbon concentration by heat treatment," *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 6, no. 2, pp. 95-100, 2004.
- [8] W.S. Lee and T.T. Su, "Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 87, no. 1-3, pp. 198-206, 1999.
- [9] A.H. Meysami, R. Ghasemzadeh, S.H. Seyedein and M.R. Aboutalebi, "An investigation on the microstructure and mechanical properties of direct-quenched and tempered AISI 4140 steel," *Materials & Design*, vol. 31, no. 3, pp. 1570-1575, 2010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.09.040>
- [10] D. Gandy, *Carbon Steel Handbook*, California, USA: EPRI, Palo Alto, 2007.
- [11] A. Salemi and A. Abdollah-Zadeh, "The effect of tempering temperature on the mechanical properties and fracture morphology of a NiCrMoV steel," *Materials Characterization*, vol. 59, no. 4, pp. 484-487, 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2007.02.012>

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrali Tasarımı

Önder ÇİÇEK^{*a} , Mustafa Bahadır ÖZDEMİR^a 

^{a,*} Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye.

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 07.09.2020
Kabul: 19.04.2021

Anahtar Kelimeler:
Enerji depolama, enerji verimliliği, pompaj depolamanın elektrik piyasasına etkisi

ÖZET

Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınmanın vazgeçilmez temel taşlarından biri olarak, toplumun refahı için üretim faaliyetlerinin ana kalemlerinden biridir. Bundan dolayı yaşam standartlarının gelişimi için ihtiyaç duyulan enerjinin yeterli, sürekli ve düşük maliyetle sağlanarak sunulması önemli bir gerekliliktir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerinin (PHES) kuruluş amacı pik talebin karşılanması iken, aynı zamanda suyun potansiyel enerjisi şeklinde depolanması maksadıyla da planlanmaktadır. Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde mevcut PHES'ler incelenerek, Oymapınar hidroelektrik santrali rezervuarının alt rezervuar olarak kullanıldığı ve 372 m kotunda 1.000.000 m³ - 2.500.000 m³ - 5.000.000 m³'lük 3 farklı üst rezervuar hacmi baz alınarak; 400 m uzunluğunda, 3 m çapında beton kaplamalı 1 adet enerji tüneli, 500 m uzunluğunda ve 5 m çapında 1 adet kuyruk suyu tüneli, -10 m kotunda 1 adet santral binası, Santral binası içinde 3 adet türbin ve alt rezervuar olarak da Oymapınar HES Rezervuarının kullanılması planlanmıştır. Yapılan tasarım çalışması analitik hesaplamalar ile yapılarak, hesaplamalar sonucunda her bir senaryo için 245.120.073 \$ – 321.920.073 \$ – 351.520.073 \$ yatırım bedeli ve 15-9-9 yıllık rantabilite oranı bulunmuştur.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.04>

Pumped Storage Hydroelectric Power Plant Design

ARTICLE INFO

Received: 07.09.2020
Accepted: 19.04.2021

Keywords:
Energy storage, energy efficiency, the impact of pumped storage on the electricity market

ABSTRACT

Energy, as one of the indispensable cornerstones of economic and social development, is one of the main items of production activities for the welfare of the society. Therefore, it is an important necessity to provide the energy needed for the development of living standards by providing sufficient, continuous and low cost. While the purpose of establishing Pumped Storage Hydroelectric Power Plants (PHES), one of the renewable energy resources, is to meet the peak demand, it is also planned to store water as potential energy. In this study, by examining the existing PHES in the world and in our country, based on 3 different upper reservoir volumes of 1.000.000 m³ - 2.500.000 m³ - 5.000.000 m³ at 372 m altitude and where Oymapınar hydroelectric power plant reservoir is used as lower reservoir; 1 energy tunnel with 400 m length, 3 m diameter concrete lined, 500 m long and 5 m diameter tail water tunnel, 1 powerhouse at -10 m elevation, 3 turbines in the power plant and the Oymapınar HEPP Reservoir as a sub-reservoir It is planned to be used. The design study was carried out with analytical calculations, and as a result of the calculations, an investment cost of \$ 245.120.073 - \$ 321.920.073 - \$ 351.520.073 and a 15-9-9 year profitability ratio was found for each scenario.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.04>

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fosil yakıt kaynaklarının tükenmesi, maliyet artışı, küresel ısınma, çevresel kirlilik ve enerji ihtiyacındaki artışlar nedeniyle; yenilenebilir enerji kaynakları tüm zamanlardan daha önemli hale gelmiştir [1] ve [2].

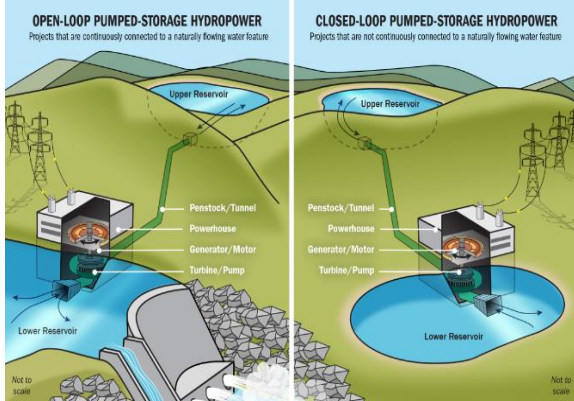
Yenilenebilir enerji kaynaklarının güç üretim miktarları mevsimler, aylar, günler vb. birçok faktöre bağlı olarak değiştiği için güç üretiminde süreklilikleri yoktur. Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller (PHES) enerjinin depolanması sorununda çözüm için bilinen en eski yöntemdir. Pompalanan depolama

*Sorumlu yazar: onder.cicek@euas.gov.tr

To cite this article: Ö. Çiçek and M. B. Özdemir, "Pumped Storage Hydroelectric Power Plant Design", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.1, pp. 26-35, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.01.04

tesisleri, bir baraj kapağı ile farklı yüksekliklerde ve birbirine bağlı durumdaki iki su deposundan oluşur. Yoğun olmayan dönemlerde su üst rezervuara pompalar vasıtasıyla gönderilerek, yoğun dönemlerde düşük rezervuara boşaltmak vasıtasıyla enerji üretilir. Pompaj depolamalı hidroelektrik santrali (PHES), Rüzgar Enerji Santrali (RES) ve Güneş Enerji Santrali (GES) gibi sürekliliği olmayan kaynakları dengelemek için kullanılabilir başlıca yenilenebilir enerji kaynağı olması da diğer bir avantajlı kısmıdır. Çünkü Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrali (PHES) artan güç talebini karşılayabilir ve sera gazı emisyonlarının düşmesini sağlayabilir [3]. Ayrıca, işletme esneklikleri ve talep değişikliklerine veya spot fiyata hızlı cevap verebilmeleri, yakıt maliyetini düşürmeyi mümkün kılar [4].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının depolanması teknolojileri Diaz-Gonzalez vd. tarafından ayrıntılı şekilde incelenmiştir [5]. Bu sistemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen fazla enerji, seviyesi daha yukarıda olan bir rezervuara pompalanan suyun yaratacağı potansiyel enerjisi formunda depolanabilir ve ne zaman istenirse rezervuardan bırakılan su ile tekrar elektrik üretilir. Literatür çalışmalarına ve dünya üzerinde kurulu ve işletmede olan mevcut PHES'ler incelendiğinde, bu sistemlerin saf PHES ya da karışık PHES olmak üzere iki çeşit olabileceği görülmüştür [6,7].



Şekil 1. a) Saf PHES Sistemi (*Open-Loop PSH*),
b) Karışık PHES Sistemi (*Closed-Loop PSH*) [8]

Sue 2018 yılında yaptığı çalışmada, günümüzde artan elektrik talebi ve çevresel sorunlar nedeniyle yenilenebilir enerjilerin en iyi seçenek haline geldiğini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha geniş kullanımının önündeki en büyük sorunun enerji depolaması olduğunu belirtmiştir [9]. Gabriel V. ve ark., 2019 yılında yaptıkları çalışmalarında mevsimsel değişkenlikler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili olması, tamamlanmamış veya terk edilmemiş depolamalı hidroelektrik

santrallerinin yeniden kullanım potansiyelleri nedeniyle hibrit enerji sistemlerinde dikkate alınması gereken önemli bir seçenek olduğunu belirtmişlerdir [10]. Harby A. ve ark., 2013 yılındaki çalışmalarında, Rezervuarlı hidroelektrik santralının, günümüzde yenilenebilir enerji depolamasının tek şekli olduğu belirtilerek, PHES genellikle türbin veya pompalama modunda yalnızca birkaç saat çalışacak şekilde tasarlandığı ve teknik olarak PHES, ayrı bir türbin ve pompa veya tersinir bir pompa türbini ile donatıldığı belirtilmiştir [11]. Shanti S. ve ark., rekabetçi piyasa yapısında, basit hidroelektrik santrallere kıyasla, pompaj depolama tesisinin kârı, piyasa fiyatı yüksek olduğunda jeneratör olarak ve fiyat düşük olduğunda pompa olarak çalıştırılarak en üst düzeye çıkarılabileceğini belirtmiştir [12].

Aytaç, İ. H., (2010), hazırladığı yüksek lisans tez çalışmasında, enerji kaynağı olarak rüzgar ve güneşin kullanıldığı hibrit bir santral modeli oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaca yönelik olarak veri toplama sisteminden alınan verileri incelemiştir. Verilere dayalı olarak da bölgenin rüzgar ve güneş enerji potansiyelini belirlemiş ve bölgesel enerji ihtiyacına dayalı rüzgar ve güneş enerji modelini oluşturmuştur [13].

Can, T. M., (2010), hazırladığı yüksek lisans tez çalışmasında enerjiye duyulan ihtiyacın artması, kullanılan enerji kaynaklarının çevre kirliliğine neden olması ve tükenebilir olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından yapılacak üretime ihtiyaç olduğunu belirtmiştir. Yaptığı çalışmada Hatay ili İskenderun bölgesi için güneş ve rüzgâr enerjilerinin kaynak olarak kullanıldığı hibrit bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde, güneş ve rüzgâr kaynakları vasıtasıyla elde edilen enerji akülerde depolanmakta ve ihtiyaç halinde pompaya aktarılmaktadır. Akülerin dolu olduğu zamanlarda üretilen enerji direkt yüke aktarılmaktadır. Akülerin boş olduğu yani sistemin çalışmadığı zamanlarda sistemin enerjisi jeneratörden sağlanmaktadır [14].

Kutlu, C., (2012), hazırladığı yüksek lisans tez çalışmasında, nehir tipi pompalı hidroelektrik santrali projelerinin risk değerlendirmesi için yeni bir yöntem uygulamıştır. Önerilen yöntem, bulanık kümeler ve uzman yargılarını kullanılan çok ölçütlü bir değerlendirme sistemidir. Gerçekleştirilen teknik geziler, uzman yargıları ve literatür taraması sonucunda toplam 11 adet risk faktörü tespit etmiştir. Çalışmada girdi olarak kullanılan risk faktörleri: arazi jeolojisi, arazi kullanımı, çevresel sorunlar, şebeke bağlantısı, toplumsal kabul, finansal, doğal afet,

kanun ve yönetmelik değişikliği, terör, altyapı erişimi ve nakit akışı. Risk faktörlerinin önem dereceleri uzmanlarla gerçekleştirilen anketler sonucunda belirlenmiştir ve anket sonuçlarına göre çevresel konular ve tesisin inşa edileceği saha jeolojisi en önemli risk faktörleri olarak ortaya çıkmıştır. Belirlenmiş olan risk faktörlerinin puanlanması neticesinde proje risk indeksi çıktı olarak elde edilmiştir. Risk indeks değerine bağlı olarak, proje riski düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır [15].

Karaçay, P., (2010), yaptığı çalışmasında pompaj depolamalı santraller, yeni devreye girecek doğal akışlı HES, termik, ve rüzgar santralleri için de ideal bir tamamlayıcı ortak olduğunu savunmuştur [16].

Demirhan, A. Y., (2013), hazırladığı doktora tezinde rüzgâr kaynaklı elektrik üretiminin sistem içindeki payının artması, rüzgar enerjisinin dalgalanması nedeniyle elektrik sisteminin dengesi ve enerji kalitesini bozucu etkiye sahip olduğunu belirtmiştir [17].

Farklı kaynak tiplerine sahip santrallerin devreye girme ve tam kapasiteye ulaşma zamanları ile ilgili Japonya’da yapılan bir çalışmanın sonuçları Tablo-1’de verilmiştir. Bu çalışmada ilgili santrallerde üretime 8 saat ara verildikten sonra santraller çalıştırılarak sonuçlar alınmıştır [18]. Tablo-1’den de anlaşılacağı gibi pompaj depolamalı hidroelektrik santraller ile klasik hidroelektrik santraller haricindeki farklı kaynak tipindeki santrallerin puant ihtiyacını (elektrik tüketimini en yüksek olduğu saatler) karşılama yeteneğine sahip değildir.

Tablo 1. Farklı kaynak tipindeki santrallerin devreye girme ve tam kapasiteye ulaşma anları (*Moments of activation and full capacity of power plants of different source types*) [18]

Proje Tipi	Başlama ve Tam Kapasiteye Ulaşma Süresi
Klasik Hidroelektrik Santraller	3-5 dakika
Pompaj Depolamalı Santraller	3-5 dakika
Fuel-Oil Santralleri	3 saat
LNG-Doğal Gaz Santralleri	3 saat
LNG-Çevrim Santralleri	1 saat
Kömür Santralleri	4 saat
Nükleer Santraller	5 gün

Bu çalışmada, PHES’in önemi vurgulanarak, şu an hiç pompaj depolamalı hidroelektrik santrali olmayan ve yenilenebilir enerji kaynaklarında sahip olduğu

potansiyele rağmen enerji üretiminin büyük kısmını fosil yakıtlara dayandıran Türkiye için örnek bir tasarım şeklinde sunulmaktadır.

Tablo 2. Enerjinin Depolanma Amaçları (Storage purposes of energy) [20]

Amaç	Zaman Aralığı	Açıklama
Enerji Kalitesini Yükseltme	Saniyeler mertebesinde ya da daha kısa sürer	Enerji kalitesinin sürekliliğinin sağlanması
Güçü Destekleme	Saniyelerden dakikalar mertebesine kadar	Farklı enerji üretim merkezlerini kesme/devreye almalarında enerjinin sürekliliğinin sağlanması
Enerji Yönetimi	Saatlerden günler mertebesine kadar	Enerji üretim fazlası/ekonomik olduğu zamanlarda depolanması ve ihtiyaç halinde kullanılması

Yapılacak PHES tasarım çalışması için Antalya, Isparta ve Burdur illerini kapsayan elektrik dağıtım bölgesi seçilmiş ve 372 m kotunda 3 farklı üst rezervuar hacmi için, 400 m uzunluğunda, 3 m çapında beton kaplamalı 1 adet kuyruk suyu tüneli, -10 m kotunda 1 adet kuyruk suyu tüneli, -10 m kotunda 1 adet santral binası, santral binası içinde 3 adet türbin ve alt rezervuar olarak da Oymapınar HES rezervuarı kullanılarak 3 farklı senaryoda Pompaj Depolamalı HES tasarımı yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarının Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmaya yönelik önemli bir tasarım çalışması olması beklenmektedir. Ayrıca enerji planlaması yapan kişi/kuruluşlar ve karar verici merciler için bir araç olarak kullanılması hedeflenmektedir.

2. PHES VE UYGULAMALARI (PUMP STORAGE HEPP AND APPLICATIONS)

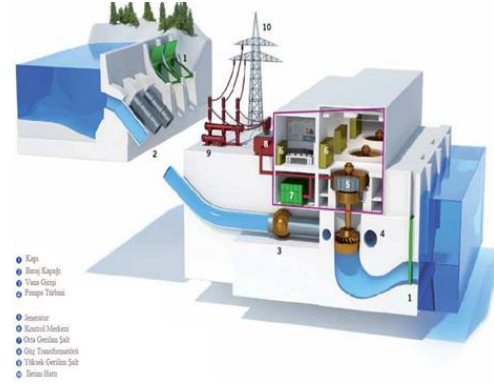
Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller (PHES) suyun tekrar tekrar elektrik üretiminde kullanılabilirdiği elektrik enerjisi depolama türlerinden biridir. PHES, elektrik enerjisi fiyatının genellikle yüksek olduğu puant saatlerinde türbin modunda, elektrik enerjisi fiyatının genellikle düşük olduğu gece saatlerinde pompa modunda işlev görmektedir [19].

Süper kapasitörler, konvansiyonel bataryalar ve hava sıkıştırılmalı depolama gibi diğer enerji depolama biçimleriyle kıyaslandığında, PHES’ler, yatırım maliyetinin büyüklüğü ve inşa süresinin uzunluğu

açısından dezavantajlı olsada, depolama kapasitelerinin büyüklüğü, temiz enerji olması ve verimlilikleri açısından diğer depolama türlerinden daha avantajlıdır.

2.1 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Yapısı (Structure of Hydroelectric Power Plants with Pumped Storage)

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrali iki rezervuardan, pompalardan, türbinlerden, motorlardan, jeneratörlerden, cebri borulardan, akış kontrol valflerinden, sistem kontrolöründen ve yardımcı ekipmanlardan oluşur. PHES, 90 saniye içerisinde çevrimiçi olur ve 120 saniye içinde tam güce çıkabilir. Ayrıca pompalama modundan üretime veya üretimden pompalama moduna 180-240 saniye aralığında geçebilir [21]. Pompaj depolamalı sisteminin küresel verimliliği %75 ile %80 arasındadır [22].



Şekil 2. PHES Sistemi ve Elemanları (Pumped storage power plant system and components)

Tablo 3. Gidiş-Dönüş Verimliliği & Çalışma Verimliliği (Round trip efficiency & working efficiency) [22]

	Düşük %	Yüksek %
Üretim Elemanları		
Su İletkenleri	97.40	98.50
Pompa Türbini	91.50	92.00
Generatör Motoru	98.50	99.00
Transformatör	99.50	99.70
Ara Toplam	87.35	89.44
Pompa Elemanları		
Su İletkenleri	97.60	98.50
Pompa Türbini	91.60	92.50
Generatör Motoru	98.70	99.00
Transformatör	99.50	99.80
Ara Toplam	87.80	90.02
İşletme	98.00	99.50



Şekil 3. Saf PHES örnekleri (Open Loop PSH) [24]

2.2 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral Çeşitleri (Types of Hydroelectric Power Plants with Pumped Storage)

Pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri (PHES) iki temel tipten oluşur;

a) Saf (veya akımdan arındırılmış) PHES (kapalı döngü sistemler), enerji üretmek için bir üst rezervuar içine pompalanan suya dayanır. Saf PHES, biri dere dışında olan ve diğeri nehir, göl veya deniz olan iki rezervuar arasında suyu taşır (ABD Ordusu Mühendisler Birliği 1985) [23].

b) Geri-Pompa enerji santralleri olarak da bilinen Birleşik PHES (açık döngü sistemler), suyu depolamak / bırakmak ve elektrik üretmek için pompalanmış, doğal akışlı suları kullanır.

Değişken Hızlı PHES: Kullanılan PHES'ler genellikle sabit hızlı pompa türbinlerinden oluşmaktadır. Ancak, bunlar boşaltma modunda frekans regülasyonu sağlayabilirlerken pompalama modunda sağlayamazlar. Öncülüğünü Japonya'nın yaptığı Değişken Hızlı PHES teknolojisi, tesislerin pompalama işlemi sırasında frekansı düzenlemesine izin verir.

Deniz Suyu PHES: Japonya'nın Okinawa'da kullanarak öncülük ettiği bu tesis tipinde, açık deniz düşük rezervuar olarak kullanılır. Hollandalı danışmanlık şirketi DNV KEMA, denizin üst rezervuar olarak kullanıldığı ve deniz seviyesinden 50 metre aşağıda bir tesis inşa eden projesi de dâhil olmak üzere, bu teknolojiyle bağlantılı olarak yeni projeler geliştirilmektedir.

Yeraltı PHES: Yeraltı mağaralarının düşük rezervuar olarak kullanılmasına dayalı bu sistemlerin henüz hiçbir örneği yoktur.

2.3 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Olumlu Ve Olumsuz Yönleri (*Pumped Storage Hydroelectric Power Plant Positive and Negative Aspects*)

PHES'lerin avantajları, uzun kullanım ömürleri, yüksek kapasite imkanı ve pratikte sınırsız çevrim ömürleridir. PHES tesisleri enterkonnekte sistemini depolama sayesinde kesintilerden koruyabilir. Ayrıca harmonik sapmaları azaltabilir, voltaj düşüşlerini ve dalgalanmalarını engelleyebilir. Konvansiyonel tip hidrolik santralleriyle karşılaştırıldığında, PHES'lerin kavistasyon sınırları daha düşük olduğundan daha geniş aralıklarda kullanılabilirler [23].

PHES'ler kısa sürede üretime başlayabilme ve sıfır yükte çalışabilme yeteneklerine sahiptirler. Hâlihazırda, pompaj depolamalı hidroelektrik santrali teknolojileri düşük seviyede elektrik maliyetine sahip santrallerden biridir. Rüzgâr ve güneş santrallerinin üretim miktarlarındaki değişkenlik ve kesinti nedeniyle tahmin sapmalarında elektrik üretiminin stabil olmasını sağlar ve üretim tüketim dengesini korur. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının şebeke entegrasyonunu maksimum kapasitede tutarak, sistemin daha kararlı şekilde işletilebilmesine olanak verir [23].

PHES sisteminin dezavantajları ise, suyun alt rezervuardan üst rezervuara pompalanması nedeniyle ilk yatırım maliyeti standart bir hidroelektrik santraline göre daha yüksektir. İşletme ve bakım

maliyetleri için daha düşük, inşaat harcamaları içinse daha yüksek sermaye yatırımına ihtiyaç vardır. Çevresel etkiler de önemli bir dezavantajdır. PHES rezervuarının yapımı esnasında doğal akışın engellenmesi, suyun ekosisteminde bozulma, manzarada değişiklikler ve vahşi hayatı etkileyen olumsuzluklar görülebilir [23].

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin planlanmasında proje maliyetinin düşük olması, talep bölgesine yakın olması, aktif fay hatlarından uzaklığının 10 km den fazla olması, jeolojik uygunluğu, parklar ve sit alanları gibi korunan alanlar ile bitki ve hayvan yerleşim alanlarından uzak olması gibi temel kriterler aranmaktadır.

2.4 PHES'lerin Dünyada ve Türkiye'deki Durumu (*Pumped Storage Hydroelectric Status in The World and Turkey*)

Pompaj depolamanın ilk kullanımı konusunda net bir bilgi olmamakla birlikte birçok kaynaktan 1890'larda İtalya ve İsviçre'de [25] ve [26] olduğunu göstermektedir. PHES'ler yaklaşık olarak 135.000 MW'ın üzerinde kurulu güç ile 39 ülkede işletilmektedir. Bu ülkeler arasında Japonya toplam kurulu gücünün yaklaşık %10'una karşılık gelen 25000 MW ile ilk sıradadır. Çin'in PHES potansiyeli hızla artmakta olduğundan, gelecekte dünya ülkeleri arasında ilk sırada olması beklenmektedir. Tablo 4'de dünyadaki değişik ülkelerdeki kurulu PHES'lerin ve planlanan PHES'leri güç değerleri yer almaktadır.

Tablo 4. Dünyadaki mevcut ve planlanan PHES'ler (*Existing and planned pumped storage plants in the world*) [27]

	Ülkeler	Mevcut Maksimum Toplam Güç (MW)	Planlanan Maksimum Toplam Güç (MW)
1	Arjantin	987	0
2	Avustralya	2.754	0
3	Avusturya	2.837	1.700
4	Belçika		0
5	Brezilya	191	0
6	Bulgaristan	535	864
7	Kanada	122	0
8	Şili	29	0
9	Çin	855	4.445
10	Rusya	835	12.048
11	Kolombiya	31	0
12	Hırvatistan	280	0
13	Finlandiya	0	525
14	Çek Cumhuriyeti	1.153	0
15	Fransa	5.846	0
16	Almanya	6.621	0
17	Macaristan	0	1.280
18	Hindistan	2.427	1.886

19	İran	0	1.140
20	İrlanda	292	0
21	İsrail	800	800
22	İtalya	7.421	1.611
23	Japonya	24.733	2.987
24	Kore	1.152	670
25	Meksika	0	2.600
26	Fas	0	780
27	Norveç	1.014	0
28	Filipinler	300	1.800
29	Polonya	1.550	92
30	Portekiz	558	149
31	Romanya	237	293
32	Slovakya	0	969
33	Güney Afrika	1.787	0
34	İspanya	5.208	3.218
35	İsveç	426	0
36	İsviçre	2.678	0
37	Tayvan	1.008	1.620
38	Tayland	410	743
39	İngiltere	3.242	0
40	ABD	20.184	1.576

Türkiye’de elektrik enerjisi arz güvenliğine bölgesel olarak bakıldığında üretimin tüketimi karşılamadığı ve üretimin tüketimden çok fazla olduğu bölgelerin olduğu görülmektedir. Bu nedenle PHES’lerin yer seçiminin arz güvenliği açısından, tüketimin fazla ve üretimin düşük olduğu bölgelerde olması önemli olduğundan, yer seçiminde elektrik tüketiminin yoğun olduğu ile üretimin tüketimi karşılama oranının düşük olduğu bölgeler ve Türkiye’nin hidroelektrik potansiyeli de dikkate alınmıştır. [29].

Tablo 5’de belirtildiği üzere, EİE genel müdürlüğü tarafından 2009 yılında yapılan istikşaf/ön fizibilite çalışmaları sonucunda, toplam 13.700 MW kurulu güç olarak planlanan 16 tane saha belirlenmiş ve bu sahalardan yenilenebilir enerji kaynaklı kurulu güç artışı ve nükleer projelerin devreye giriş tarihlerine göre aşağıdaki sırayla devreye alınmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

- 1) Gökçekaya PHES: 1.400 MW
- 2) Oymapınar PHES: 500 MW
- 3) Karacaören-2 PHES: 1.000 MW
- 4) Bayramhacılı PHES: 500 MW
- 5) Altinkaya PHES: 1.800 MW
- 6) Yamula PHES: 500 MW

3. TASARIM (DESIGN)

Bu çalışma, örnek bir pompaj depolamalı bir hidroelektrik santralini inşa etme çalışmasıdır. Bir

PHES, yalnızca güç üretiminde bulunmakla kalmaz, elektrik enerjisinin arz ve talep durumuna göre depolama imkanı da sağlar. Dahası, kısa sürede arz ve talep dengesindeki değişiklikleri özümleme ve sistem frekansını sabit tutma işlevlerinde de mükemmel bir yeteneğe sahiptir. Sonuçta, PHES gereğince değerlendirilirse, mevcut şartlarda dahi ekonomik olması ve ileriki dönemlerde daha da ekonomik hale gelmesi beklenmektedir.

PHES uygulamasının yararlarının aşağıdaki şekilde olacağı düşünülmektedir:

(1) Azami Talep ile İlgili Enerji Üretimi

PHES’in yıllık sabit maliyeti öyle düşüktür ki, yıllık yük faktörünün %20’nin altında olması sayesinde azami talep için diğer enerji santrallerinden daha iyi bir durumdadır.

(2) Enerji Depolama İşlevi

Suyu alt rezervuardan üst rezervuara pompalayarak ve yoğun dönemlerde üst rezervuarda depolanmış suyu kullanmak suretiyle elektrik üreterek, enerji depolama kayıpları dikkate alınsa dahi karını korumaktadır.

(3) Yan Hizmet Temini

İşletme esnasında, üretimdeki hızlı ayar, sistem frekansındaki düzensizliği azaltmaktadır. Ayrıca, durdurulsa dahi sonraki 5 dakika içerisinde üretim tekrar geçme yeteneğine sahip olan PHES, ani üretim kayıplarını veya rüzgar enerjisi, güneş enerjisi vb.

üretim çeşitlerinde öngörülme-yen dengesizliklere karşı emniyet kilidi görevini görür.

Aşağıdaki iki nokta, yan hizmet işlevi kullanımından elde edilen faydalar olarak düşünülmektedir.

- İşletme esnasında (üretim modu ve pompalama modu), PHES frekans kontrolü yapar ve söz konusu işlevin temininden kazanç elde eder.

- Durma esnasında, PHES her zaman bir marjinal tedarik kapasitesi olarak hazır bulunur ve kısa bir sürede faaliyete başlayabilir (yaklaşık beş dakika içinde). Elektrik sisteminin arz talep dengesini etkileyen öngörülme-yen bir kazanın (örneğin, büyük ölçekli bir enerji santralinin kesintiye uğraması) gerçekleşmesi durumunda, arz enerjisi emniyete alınır.

Tablo 5. EİE pompaj depolamalı hidroelektrik santral projeleri (EIE pumped storage power plant projects) [27]

Tesis Adı	Kurulu Gücü (MW)	İli	Türü	Proje Debisi (m ³ /s)	Düşü (m)
İznik I PHES	1.500	Bursa	Tamamen Yeni Yatırım	687	255
Gökçekaya PHES	1.400	Eskişehir	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	193	962
Sarıyar PHES	1.000	Ankara	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	270	434
Bayramhacılı PHES	1.000	Kayseri	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	720	161
Hasan Uğurlu PHES	1.000	Samsun	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	204	570
Adıgüzel PHES	1.000	Denizli	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	484	242
Burdur PHES	1.000	Burdur	Tamamen Yeni Yatırım	316	370
Eğridir PHES	1.000	Isparta	Tamamen Yeni Yatırım	175	672
Kargı PHES	1.000	Ankara	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	238	496
Karacaören II PHES	1.000	Burdur	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	190	615
Yalova PHES	500	Yalova	Tamamen Yeni Yatırım	147	400
Yamula PHES	500	Kayseri	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	228	260
Oymapınar PHES	500	Antalya	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	156	372
Aslantaş PHES	500	Osmaniye	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	379	254
İznik II PHES	500	Bursa	Tamamen Yeni Yatırım	221	263
Demirköprü PHES	300	Manisa	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	166	213

Ülkemizdeki elektrik enerjisi arz güvenliği bölgesel olarak incelendiğinde; elektrik üretiminin tüketimi karşılamadığı bölgeler ve elektrik üretiminin tüketiminden çok fazla olduğu bölgelerin olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle PHES'lerin yer seçimi yapılırken arz güvenliği açısından tüketimin yüksek ve arz açığının olduğu bölgelerin projelendirilmesi önemlidir. Bu kapsamda PHES'ler elektrik tüketiminin yoğun olduğu ve bölgesel arz güvenliği açısından üretimin tüketimi karşılama oranının düşük olduğu bölgeler ve Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli de dikkate alınarak incelenmiştir [28].

Bu çalışmada; elektrik piyasasının yapısı, gelişimi ve uzun yıllardır dünyada pik saatlerdeki enerji ihtiyacını karşılamak için kullanıldığı halde henüz ülkemizde bir örneği bulunmayan pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin çalışma prensibini, dünyadaki örnekleriyle birlikte açıklamak, pompaj depolamalı hidroelektrik santraller konusunda uygulanabilir örnek bir tasarım oluşturabilmek amaçlanmıştır.

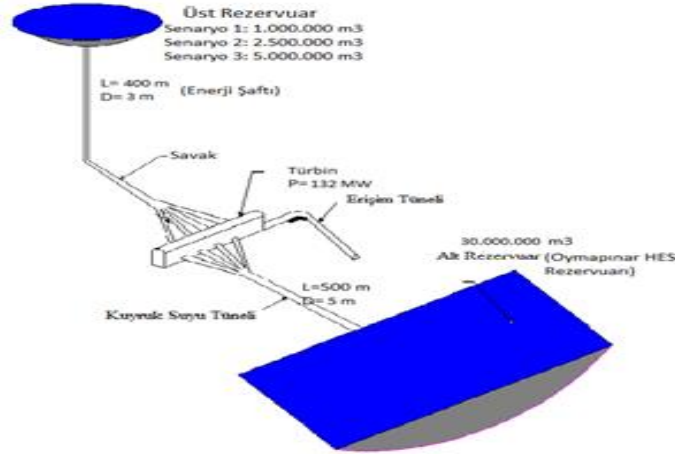
Sistem tek hat olarak tasarlanmış yani sistem ya pompa modunda çalışarak suyu depolar ya da türbin modunda çalışarak suyu aşağı bırakır ve enerji üretir. Dünyada çift hatta sahip olan sistemlerde bulunmaktadır, fakat bu çalışmada kurulum maliyetinin düşüklüğü nedeniyle tüm hesaplar tek hat üzerinden yapılmıştır.

Tablo 6. Tasarlanan PHES'in karakteristik özellikleri (Characteristics of the designed PHES)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Rez. Hacmi (m ³)	1.000.000	2.500.000	5.000.000
Enerji Tüneli Boyu (m)	400	400	400
Enerji Tüneli Çapı (m)	3	3	3
Kuyruk Suyu Tüneli Boyu (m)	500	500	500
Kuyruk Suyu Tüneli Çapı (m)	5	5	5
Maksimum Su Kotu	377	377	377
Minimum Su Kotu	365	365	365
Kret Kotu	380	380	380

Bu çalışma kapsamında Tablo 6'da ana karakteristik özellikleri belirtilmiş 372 m kotunda 3 farklı üst rezervuar hacmi baz alınarak; 400 m uzunluğunda, 3 m çapında beton kaplamalı 1 adet enerji tüneli, 500 m uzunluğunda ve 5 m çapında 1 adet kuyruk suyu tüneli, -10 m kotunda 1 adet santral

binası, Santral binası içinde 3 adet türbin ve alt rezervuar olarak da Oymapınar HES Rezervuarının kullanılması planlanmıştır. Oymapınar Pompaj Depolamalı HES 7 saat çalışacak şekilde planlanmıştır.



Şekil 4. Tasarlanmış Olduğumuz Pompaj Depolamalı HES'in Çalışma Şeması (Operation Scheme of the Pump Storage HEPP We Designed)

Tablo 6'da verilen değerler doğrultusunda her bir senaryo için yapılan hesaplamalarda kurulacak PHES'in gücü ve kaç ünite olacağı tablo 7'de belirtilmiştir.

Tablo 7. Tasarlanan PHES Gücü (Designed Pump Storage HEPP Power)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Debi (m ³ /s)	39,682	99,206	198,412
Net Düşü Yüksekliği	195,723	173,221	92,897
$P = \gamma \times Q \times H_n \times \eta$ P: Türbin Gücü (kW) γ : 9,81 (Yerçekimi ivmesi) Q: Debi (m ³ /s) H _n : Net düşü (m) η : verim =0,9	68.572,02	151.722,50	162.735,06
P: Türbin Gücü (MW)	69 MW (3 Ünite x 33 MW)	150 MW (3 Ünite x 50 MW)	162 MW (3 Ünite x 54 MW)

Kurulacak olan örnek tesisin maliyet hesaplarında Bayındırlık Bakanlığı, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü 2010-6 sayılı Gökçekaya Pompajlı HES İlk Etüt Raporu (29) ve Devlet Su İşleri Birim

fiyatlarından (30) yararlanılarak hesaplanan her bir senaryonun proje bedeli Tablo 8 'de belirtilmiştir.

Tablo 8. Tasarlanan PHES maliyetleri (Designed Pump Storage HEPP Costs)

Açıklama		Yatırım Tutarı (\$)
Proje Bedeli	Senaryo 1	245.120.073
	Senaryo 2	321.920.073
	Senaryo 3	351.520.073

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Depolama sistemleri, güvenilir enerji ihtiyacının karşılanmasında bir çözüm niteliği taşımasından dolayı önemli bir konudur. Pompaj depolamalı sistemler, enerji talebindeki dalgalanmaları dengeleyebilmesi nedeni ile kısa dönem arz güvenilirliğini garanti altına almaktadır. Bu santrallerin inşası ile de uzun dönem arz güvenilirliği ve istikrarlı enerji yönetimine de katkı sağlanabilecektir. Ülkemizde 17 adet pompaj depolamalı hidroelektrik santralin ilk incelemesi yapılarak raporu hazırlanmış, ancak henüz işletmede bir PHES yapılamamıştır. Ayrıca ön fizibilitesi yapılarak projelendirilmesi düşünülen yaklaşık 70 adet PHES bulunmaktadır.

Mevcut hidroelektrik potansiyelimizin yaklaşık 47.497 MW (İşletmede, İnşaat Halinde, İnşaatına

Henüz Başlanmayan) civarında olduğu ifade edilmektedir [30]. Bu potansiyelin bir kısmını PHES olarak planlanmalı ve gerekli yasal düzenlemelerde hızlı bir şekilde tamamlanmalıdır. 2019 yılı Temmuz ayı maksimum ani puant gücümüzün 45.180 MW [31], Rüzgar Enerji Santrali (RES) kurulu gücümüz 7.155 MW yani RES, puant gücün % 15,83'ü kadar. Bu gücü PHES olmadan doğrudan şebekeye bağlayarak yönetmek güçtür. Ülkemiz elektrik arz güvenliği için PHES yapımı konusunda daha somut adımların atılmasının gerekli olduğu yadsınamaz bir gerçektir.

TEİAŞ 2019 yıllık bülteninde belirtilen 2019 yılı en düşük PTF miktarları dikkate alınarak yapılan hesaplama doğrultusunda elde edilen üretim ve tüketim bedelleri aşağıdaki tabloda belirtilmektedir. Yapılan tasarım çalışmasında, Enerji Üretimi için Piyasa Takas Fiyatının nispeten yüksek olduğu 17.00 - 23.00 saatleri arasındaki 7 saat seçilmiştir. Pompalama işleminde tüketilecek enerji miktarları ve tüketim bedelleri, Türbin modunda üretilecek enerjinin miktarları ve üretim bedelleri üstteki tabloda verilmiş olup, tasarımın rantabilite oranının 9 ile 15 yıl olduğu görülmüştür. PHES yatırımlarının enerji arz güvenliği için hayati öneme sahip olduğu gerçeği unutulmayarak, yatırımların, devletler tarafından teşvik ve sübvansiyonlar gibi araçlarla desteklenmesi uzun vadede, hem devletin hemde piyasa katılımcılarının menfaatine olacaktır.

Tablo 9. Tasarlanan PHES Verileri (Designed Pump Storage HEPP Datas)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Üretilecek Enerji Miktarı (GW/yıl)	176,30	383,25	413,91
Tüketilecek Enerji Miktarı (GW/yıl)	208,57	461,49	494,99
Üretim Bedeli (\$)	52.943.151	115.093.808	124.301.312
Tüketim Bedeli (\$)	36.325.112	80.372.973	86.206.731
Net Fayda	16.618.039	34.720.835	38.094.581
Yatırım Bedeli	245.120.073	321.920.073	351.520.073
Rantabilite Oranı	15	9	9

ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] T. Kousksou, P. Bruel, A. Jamil, T. E. Rhafiki, Y. Zeraoui, "Energy Storage: Applications and Challenges," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 120, pp.59–80, 2014.
- [2] P. D. Brown, J. P. Lopes, M. A. Matos, "Optimization of Pumped Storage Capacity in An Isolated Power System with Large Renewable Penetration," *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Power Systems*, vol. 23, pp.523-531, 2008.
- [3] E. Ingram, "Pumped Storage Development Activity Snapshots," *Hydro Review, Worldwide*, vol. 17 pp.12–25, 2009.
- [4] P. Kanakasabapathy, "Economic Impact of Pumped Storage Power Plant on Social Welfare of Electricity Market," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 45, pp.187–193, 2013.
- [5] F. Díaz-González, A. Sumper, O. Gomis-Bellmunt, R. Villafafila-Robles, "A Review Of Energy Storage Technologies For Wind Power Applications," *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 2154-2171, 2012.
- [6] J. P. Deane, B .P. O. Gallachóir, E. J. Mckeogh, "Technoeconomic Review Of Existing And New Pumped Hydro Energy Storage Plant," *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1293-1302, 2010.
- [7] A. A. Sertkaya, M. Saraç, M. A. Omar, "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Türkiye İçin Önemi," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol.1, pp. 369-382, 2016.
- [8] <https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower>, Erişim Tarihi: 24.12.2020.
- [9] W. Sue, "Application of Pumped Hydroelectric Energy Storage for Photovoltaic Based Rural Electrification," *International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field*, vol.4, pp.35-39, 2018.

- [10] V. Gabriel, S. S. Jones, A. C. Fausto, B. Alexandre, J. D. Souza and G. Elton, "A Hydro Pv Hybrid System for The Laranjeiras Dam (In Southern Brazil) Operating with Storage Capacity in The Water Reservoir," *Smart Grid and Renewable Energy*, vol.10, pp.83-97, 2019.
- [11] A. Harby, J. Sauterleute, M. Korpas, A. Killingtveit and E. Solvang, "Pumped Storage Hydropower," *Transition to Renewable Energy Systems*, pp.597-613, 2013, doi:10.1002/9783527673872.ch29.
- [12] P. Kanakasabapathy, K. S. Swarup, "Bidding strategy for pumped-storage plant in pool-based electricity market," *Energy conversion and Management*, vol. 51, no. 3, 572-579. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.11.001>
- [13] İ. H. Aytaç, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Kullanan Hibrit Santral İçin Model Oluşturma, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 2010.
- [14] T. M. Can, "Rüzgar ve Güneş Enerjisi İle Bir Pompanın İhtiyacı Olan Elektrik Enerjisinin Sağlanması," Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, 2010.
- [15] C. Kutlu, "Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerde Bulanık Mantık Yöntemiyle Risk Değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2012.
- [16] P. Karaçay, "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller Ve Türkiye'deki Durum," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [17] A. Y. Demirhan, "Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santraller İle Elektrik Şebekesine Entegrasyonu," Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [18] Ü. Ünver, H. Bilgin, A. Güven, "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemler," *Mühendis ve Makina*, vol. 56, pp. 57-64, 2015.
- [19] E. Ayder, E., "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PDHES'ler)," Teknik Rapor, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.
- [20] M. Mazman, E. Biçer, C. Kaypmaz, T. Tıldız, D. Uzun, M. Tırıs, "Yenilenebilir Enerji İçin Elektrik Enerjisi Depolama Teknolojileri," *Enerji ve Çevre Dünyası*, vol.85, pp. 66-72, 2010.
- [21] A. Botterud , V. Koritarov and T. Levin, *Pumped Storage Hydropower: Benefits For Grid Reliability and Integration Of Variable Renewable Energy*, 2014.
- [22] V. J. Zipparro Ve H. Hasen, Davis, *Handbook Of Applied Hydraulics*, 4 Ed., New York: Mcgraw Hill., 1993.
- [23] M. A. Tilahun, "Feasibility Study Of Pumped Storage System For Application In Amhara Region," Master's Thesis., Etiopia, 2009.
- [24] A. A. Sertkaya, M. Saraç ve M. A. Omar, "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerinin Türkiye İçin Önemi," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 1, no. 3, pp. 369-382, 2015.
- [25] International Electrotechnical Commission (IEC), *Electrical Energy Storage.*, 2011.
- [26] Electric Power Research Institute, *Quantifying Tovalue Of Hydropower In The Electric Grid: Final Report.* Electric Power Research Institute., 2013.
- [27] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Raporları, [Http://www.Eie.Gov.Tr/Yenilenebilir/Hidrolik_Nedir.aspx](http://www.Eie.Gov.Tr/Yenilenebilir/Hidrolik_Nedir.aspx), Erişim Tarihi:25.12.2020.
- [28] M. Vural, "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Gelişimi Ve Türkiye İncelemesi," 2017.
- [29] Gökçekaya Pompajlı Hes İlk Etüt Raporu, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Haziran, 2010.
- [30] [Http://www.Dsi.Gov.Tr/Docs/Hizmetalanlari/Enerji.Pdf](http://www.Dsi.Gov.Tr/Docs/Hizmetalanlari/Enerji.Pdf), 2020. Erişim Tarihi:25.12.2020
- [31] [Https://Www.Enerji.Gov.Tr/Tr-Tr/EigmRaporlari](https://Www.Enerji.Gov.Tr/Tr-Tr/EigmRaporlari), 2019. Erişim Tarihi:25.12.2020

Application of IOS/Android Rapid Evaluation of Post-Earthquake Damages in Masonry Buildings

Mehmet Fatih IŞIK^{*a}, Ercan IŞIK^b, Ehsan HARICIHIAN^c

^{a,*} Hitit University Department of Electrical and Electronics Engineering, 19030, Çorum, Turkey.

^b Bitlis Eren University Department of Civil Engineering, 13100, Bitlis, Turkey.

^c Institute of Structural Mechanics (ISM), Bauhaus-Universität Weimar, 99423 Weimar, Germany.

ARTICLE INFO

Received: 28.01.2021
Accepted: 21.04.2021

Keywords:

Web-Based Software
Masonry
Earthquake Damage
Rapid Evaluation

ABSTRACT

One of the most important factors for the life to return to normal after devastating earthquakes is conducting reliable damage assessments, which have quantitative rules that do not vary from person to person. As a result of scientifically based damage assessment, the housing problem can be mitigated, the economic burden of allowances spent for the destruction of the buildings with redundant destruction order will be eliminated, and the loss of life to occur in aftershocks can be prevented. In this instance, it was increased of significance of the first post-earthquake damage assessments. Rapid and scientific based of damage assessments is an important part of the modern post-earthquake disaster management. Masonry structures are at the top of the structures where earthquake damages occurred. The possibility of damage to these structures which have no engineering services is more likely. Damage assessment forms are used in the first damage assessment procedures. Damages can be assessed more rapidly and scientifically with the help of these forms. In this study, the ready-to-use form used for the earthquake damage assessment procedure for the masonry buildings was transferred to the web base, and the data to be obtained at the site were transferred to the database via tablets and smart phones. Keeping the earthquake damages in a memory system will contribute to the studies on earthquakes and the future earthquake regulations. As the data transferred to the web base will be accessible for different people, it will provide savings in terms of both time and staff. A php-based web interface was developed for the study due to its flexibility, speed and secure structure, and MySQL was preferred as the database. In this study, sampling was conducted for four masonry buildings with different damage levels caused by the October 23, 2011 earthquake in Van. Damage assessment procedures will be completed as soon as possible such as an application based on this study.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.05>

Yığma Binalarda Deprem Sonrası Hasarların IOS/Android Hızlı Değerlendirilmesi Uygulaması

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 28.01.2021
Kabul: 21.04.2021

Anahtar Kelimeler:

Web Tabanlı Yazılım
Deprem
Hızlı Değerlendirme

ÖZ

Yıkıcı depremlerden sonra hayatın normale dönebilmesindeki en önemli unsurlardan biri de güvenilir ve kişiden kişiye büyük farklılıklar içermeyen nicel kuralları olan hasar tespitlerin yapılmasıdır. Bilimsel tabanlı yapılan hasar tespitlerin neticesinde barınma sorunu hafifletilebilecek, gereksiz yıkım kararı verilen binaların yıkımı için harcanan ödeneklerin ekonomik yükü ortadan kaldırılabilir, artçı depremlerde meydana gelecek olan can kayıplarını önüne geçilebilecektir. Bu aşamada deprem sonrası ilk hasar tespitlerinin önemi artmaktadır. Hasar tespitlerinin hızlı ve bilimsel bir şekilde yapılması deprem sonrası modern afet yönetiminin önemli bir parçasıdır. Deprem hasarlarının olduğu yapıların başında yığma yapılar yer almaktadır. Herhangi bir mühendislik hizmeti almayan bu tür yapılarda hasar oluşma ihtimali daha yüksektir. İlk hasar tespit işlemlerinde hasar tespit formları kullanılmaktadır. Bu formlar yardımı ile hasarlar

*Corresponding author: mehmetfatih@hitit.edu.tr

To cite this article: M. F. Işık, E. Işık ve E. Haricihian, "Application of IOS/Android Rapid Evaluation of Post-Earthquake Damages in Masonry Buildings", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.1, pp. 36-50, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.01.05

daha hızlı ve bilimsel bir şekilde değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada yığma yapılar için deprem hasar tespit işlemi yapılırken kullanılan hazır form web tabanına taşınmış ve sahada elde edilecek veriler tablet ve akıllı telefonlar vasıtası ile veri tabanına aktarılması gerçekleştirilmiştir. Deprem hasarlarının bir hafıza sisteminde tutulması deprem ile ilgili yapılacak çalışmaları ve hazırlanacak deprem yönetmeliklerine katkı sağlayacaktır. Web tabanına aktarılan verilere farklı kişilerin erişim kolaylığı olduğundan hem zaman hem de personel açısından tasarruf sağlayacaktır. Çalışma için; esneklik, hız ve güvenli yapısından dolayı php tabanlı bir web arayüzü oluşturulmuş olup, veri tabanı için MySQL tercih edilmiştir. Bu çalışmada 23 Ekim Van depreminde farklı hasar seviyelerine sahip dört adet yığma bina için örneklendirme yapılmıştır. Bu çalışma ile hasar tespit işlemleri olabilecek en kısa sürede tamamlanabilecektir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.05>

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Especially the devastating earthquakes in recent years and large-scale losses of life and property caused by these earthquakes brought up the studies, research on earthquake and the importance of the measures to be taken. In this context, post-earthquake damage assessments are one of the important steps of modern disaster management. Detection and management of all the information on the damaged structures after the earthquake is also important in terms of spatial planning and urban transformation [1-6].

The first post-earthquake damage assessments should be carried out as rapidly and practically as possible. Rapid damage assessments are unlikely in earthquakes with large-scale damages due to the size of the damage caused, and the lack of adequately specialized personnel. In such cases, non-specialized personnel are used, and this does not allow realistic damage assessments. Furthermore, the difficult field conditions and inadequate public resources after the earthquake affect this process adversely as well. Losing time due to collection of redundant information is another factor putting a strain for the technical team during the damage assessment works. Damage assessment teams should move as fast as possible and reach a maximum number of buildings in minimum time especially in major earthquakes. Therefore, the data that will make the basis of the first damage assessment should be selected correctly. Damage assessment forms are formed with the help of these data, and damage assessment can be conducted rapidly with the help of these forms. Damage assessment forms are commonly used in the first post-earthquake damage assessments. Generally, these forms are completed as a result of the surveys at the site, and then the final decision on the structure is achieved based on the evaluations in the office environment.

Today, tablets and smart phones are used in many industries as a means of accessing information in view

of the development process of information technologies. Any desired information and results can be accessed rapidly and practically with the help of these devices. In addition, possible errors can be reduced to a minimum level by making these data available to other people. Transferring the earthquake damages to a web-based environment makes them possible. Therefore, damage assessment studies will be managed more effectively.

In this study, the first post-earthquake damage assessments in masonry buildings were transferred to a database electronically. A damage assessment form issued by the Republic of Turkey Prime Minister, Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) was used for masonry buildings. Four masonry buildings in the province of Bitlis that were exposed to October 23, 2011 Van earthquake were taken into consideration in this study. Damage assessments regarding the buildings surveyed were indicated. Later on, a damage assessment was conducted on these buildings with the help of the forms issued by AFAD. After this stage, the damage assessment forms issued by AFAD were transferred to the electronic database, and the damage assessments for these buildings were conducted electronically. The images of the masonry buildings surveyed were transferred to the database as well. Another objective of this study is to reveal the reasons of use and usability of these forms issued by AFAD. The damage grading of the masonry buildings with different damage levels was performed in this study.

The objective of the study is to enable that the first post-earthquake damage assessments are conducted more rapidly, practically and scientifically with the help of smart phones and tablets. The results achieved will be checked by making the information transferred to the database available to different users. These procedures can be carried out independently of the space. In addition, it is aimed to create a database on earthquake damages. Such a database will help to develop regulations regarding earthquake.

In the first part of the study, information was given on why damage assessment forms should be used. Information was given on the properties of the masonry buildings in Bitlis province. Information was given on the damage assessment forms for the masonry buildings that are the basis of the study. In the next stage, structural analyses were conducted for five different masonry buildings surveyed. Damage grading was performed for each structure. The damage levels were identified by giving information on the algorithm created for the form used and transferring all the structures surveyed into this database.

2. PROPERTIES OF MASONRY BUILDINGS IN THE STUDY AREA (ÇALIŞMA ALANINDAKİ YIĞMA YAPILARIN ÖZELLİKLERİ)

The emergence of masonry buildings built using different materials backs to very old dates. Generally, such structures on which local materials are used are known to receive no engineering services. Masonry buildings are built by the craftsmen and workers living in that region. The earthquake effect behaviour of these structures is quite low.

The affecting loads on masonry buildings are carried by load-bearing walls. The loads are transferred to the ground via load-bearing walls. These wall thicknesses are significantly larger than those of the reinforced-concrete structures. As the wall elements will have both partition and bearing properties, the thickness value is large. The inner and outer walls of the building are formed by piling local materials on top of another and by combining the same with the help of a fastening material. Masonry materials such as stone, adobe, brick etc. are used for the vertical bearing elements (walls and columns) of the masonry systems, and the dominant stress type in the system is pressure. Even if geometry of the bearing system is linear (e.g. pylon, arch), planar (e.g. wall) and volumetric (e.g. vault or dome), there are compressive forces that are transmitted in one direction from the top to the structural bearings. As seen, the bearing elements overlap with the partitioning or covering elements in the masonry systems. In masonry buildings, the compressive strength of the materials used is high, while the tensile strength is low. In this case, these elements that can be exposed to large compressive forces are nondurable against the bending and shear effects [7-11]. As a result of instability against the shear effect, the materials forming the wall may be subject to segregation of various levels depending on the loading status and the materials used. Therefore, when making

calculations for shear stresses in such structures, the properties of the material used as fasteners and its behaviour with the wall material should be known well. The properties of masonry building vary depending on these properties.

The masonry buildings in the province of Bitlis are built from local stones obtained from stone quarries. The local stones are used after being subjected to a cutting operation without any machinery in the quarries and the relevant region. Thin joint mortars are used between the local stones. Generally, flat earth shelters are used as roofs. Construction works are generally carried out by local craftsmen and workers. Mortars were used between the ashlar obtained from the quarries located in the province of Bitlis. Wooden ceilings are used in all houses. Earth shelters are used as roofs. In general, wooden beams are primarily used in the construction of these shelters. In terms of aesthetics, timber covers are used on top surfaces of them. The earth that will form the roof is laid on top of this, and a material that is a mixture of 'seh' (local material) and salt is laid on top of it to provide insulation. Water canals called 'coratan' are used to ensure water drainage on the earth shelters. Stones called 'sal' are placed around the shelter so that the shelter has an aesthetic appearance [12-15]. Examples of Bitlis masonry houses are shown in Figure 1.



Figure 1. Masonry house examples in the region [13]
(Bölgedeki yığma ev örnekleri)

3. DAMAGE ASSESSMENT IN MASONRY BUILDINGS (YIĞMA YAPILARDA HASAE DEĞERLENDİRMESİ)

Earthquakes frequently offer ascent to extraordinary harm to life and property. In line with this, most of the casualties are stem from the collapsed buildings. Therefore, building damage information

investigation is the primary errand of earthquake damage information investigation.

After an earthquake, the damaged building data ought to be procured conveniently, and can be used to guide the effective implementation of the emergency rescue, which is essential for the decrease of losses [16-18] Seismic disaster management and mitigation require the foundation of a viable framework (or strategies) for evaluating spatial data and tremor peril [19]. The most critical aspect of damage analysis is related to the observations which are required to have a comprehensive and accurate building inventory and particularized damage data. It is highly possible to confront with fragmentary and restricted or accessible for single towns, districts or territories. Besides, the quality of the damage data can be insufficient. [20]. The damage data information of the structures and buildings are fundamental for search, rescue and auxiliary for reconstruction activities in the earthquake region. Therefore, building damage has been ranked in the field using damage scales [21].

The post-earthquake damage assessment in any structure is carried out to determine whether or not the building will be used immediately or whether repair and strengthening is required. To this end, all kinds of information on the structure is required. This process can be very complicated. Accurate identification of the damage classes of the buildings will positively affect losses of life and property in a possible second earthquake [22].

The fact that redundant information requests in the old forms used during the damage assessment slow down the work teams was more evident in the 2011 Van earthquake. Having initiated a study in 2012 in line with the requests of technical personnel at the site, the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) issued the damage assessment forms for reinforced-concrete and masonry buildings, which are based on scientific data, aim to eliminate the use of opinions and were simplified from redundant information. In these new forms, it was aimed to ensure that the result is evaluated on-site or during the office work after the information on the structure is obtained.

In this study, the damage assessment forms issued by AFAD in order to determine the damage levels in the masonry buildings were used [23-24]. There are numerous masonry buildings that are widely used in rural areas of Turkey. Therefore, the location of the masonry buildings is very important in terms of seismicity. Firstly, detailed information on the form

issued for the masonry buildings was provided in the study. The post-earthquake damage assessment can be performed systematically through these forms. After the earthquake disaster, the damage assessment form was used for the masonry buildings surveyed in the study. The damage estimation flow of these forms is specified in Figure 2. The process flow is filled separately for each masonry building to be surveyed.

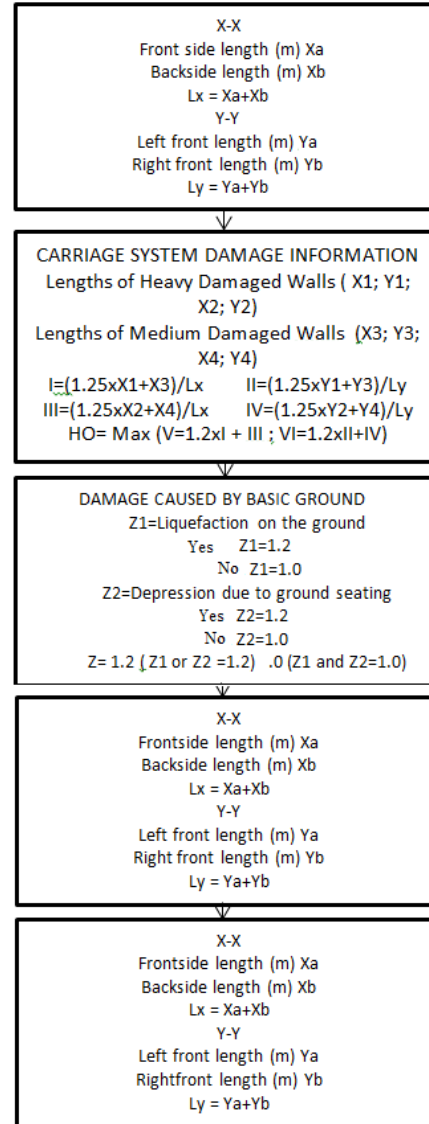


Figure 2. Post-earthquake damage assessment flowchart for masonry buildings (*Yığma yapılarda deprem sonrası hasar değerlendirme akış şeması*)

It is determined whether or not to use these forms by performing damage estimation grading in the buildings. Statistical data on the earthquake are obtained. More effective performance of the necessary post-earthquake planning and the vital activities sustainment processes is directly related to the accurate completion of these forms. The

earthquake zones can be determined more realistically by processing the data obtained from the damage assessment forms onto maps [23-24].

The personnel that will fill the earthquake damage form should be trained on how to complete the form. As a result of this process, the field works will be faster and more reliable. Generally, the success of data collection significantly depends on this preparation process. Otherwise, the field works need to be repeated in order to collect data.

It is important to issue the information form in a way to be evaluated by computer. Thus, a result can be got in a short time, and depending on the damage classes, results can be obtained in forms of graphics by evaluating the information according to the availability of the building and the residential areas. Furthermore, the relations between the loss of life that is the most important issue in the earthquake and the damage level in buildings and the load-bearing system can be obtained. Images of the buildings that are subject to damage assessment are transferred to the web base as well.

4. INVESTIGATED MASONRY BUILDINGS (İNCELENMİŞ YIĞMA BINALAR)

On 23.10.2011, at 13:41 local time, a Mw: 7.2 earthquake occurred around the province of Van. The earthquake was felt in the residential areas, especially in the province of Van and Erciş district of Van, in the Van Lake Basin, where the seismicity element is continuously ignored. The largest losses in terms of structural damages were suffered in Van and Erciş. The province of Bitlis and its districts follow these regions areas in terms of places where damages are observed widely [25-27]. Four masonry buildings that are located in the province of Bitlis and were subjected to the October 23, 2011 Van earthquake were taken as samples. The damages related to the buildings surveyed were specified. Later on, a damage assessment was conducted on these buildings with the help of the forms issued by AFAD.

4.1. Building-1 (Bina-1)

The building was built of two stoires from the local stones. The ground story is used as a shed, while the top story is used as a residence. Houses built in this style are widespread in the rural areas of Bitlis. In addition to the structure, there is a porch built from briquette made of pumice, which is widely encountered in this region. The structure was built in the form of a rectangular with a size of 6.20x8.20 m. Middy mortar made of soil was used on the junctions of walls. There is a heavy load on the structure due to

earth shelter. On the load-bearing wall placed at the rear front of the structure, there were some segregations larger than 2 cm and some stones were replaced. There were some segregations larger than 2 cm on the left side of the structure and those larger than 1 cm on the facade. The fact that fixation of the floor and shelter to the walls is insufficient is one of the reasons of the damage. The damages on this building are given in Figure 3.



Figure 3. Damages on masonry building-1 (1.Bina hasarları)

The lengths of the boundary wall of the building-1 surveyed that make the basis of the damage assessment are given in Table 1.

Table 1. The lengths of the boundary wall of the masonry building -1 (Yığma binanın sınır duvar uzunlukları)

LENGTHS OF BOUNDARY WALLS			
Length of the building's boundary walls (excluding door-window openings) on the floor with the largest damage (m)			
X-X direction building facade and rear front		Y-Y direction building left and right fronts	
Length of facade (m)	5.90	Length of left front (m)	6.20
Length of rear front (m)	8.20	Length of right front (m)	6.20
Total net length, L_X (m)	14.10	Total net length, L_Y (m)	12.40

After the damage information of the load-bearing system is obtained, the damage condition caused depending on the basement ground should be determined. The damage condition of the ground belonging to the building-1 is specified in Table 2. No cracks caused by ground subsidence were observed either at the liquefaction or the plinth level in the foundation soil of the building surveyed.

Table 2. Ground damage status for building-1 (*Bina 1 için Zemin hasar durumu*)

DAMAGES STATUS ACCORDING TO BASEMENT GROUND CONDITION			
Z1- Ground collapse (liquefaction)		Z2- Cracks caused by ground subsidence on the level of plinth level in the foundation.	
No (Z=1)	Yes (Z=1.2)	No (Z=1)	Yes (Z=1.2)

In the following stage, the damage conditions of the non-structural system elements on the building are determined. These values for building-1 were given in Table 3. The damage information of the load-bearing system can be calculated using the lengths of the boundary walls obtained. The damage information of the load-bearing system of the masonry building-1 is calculated in Table 4.

Table 3. Status of damage for non-structural elements for building-1 (*Bina 1 için yapısal olmayan elemanlarda hasar durumu*)

STATUS OF DAMAGE FOR NON-STRUCTURAL ELEMENTS FOR BUILDING-1				
N1 Gamble wall damage	N2 Staircase damage	N3 – Flue or parapet damage	N4 - Shear damage at infill walls	Additive to damage (HK)
YES 1; NO 0	YES 1; NO 0	YES 1; NO 0	YES 1; NO 0	$0.025*(N1 + N2 + N3 + N4)$
NO	NO	NO	NO	HK
N1 =0	N2 =0	N3 =0	N4 =0	00

With the help of this information obtained, damage rating for this building performed. Damage rating for the building-1 is shown in Table 5

4.2. Building-2 (*Bina-2*)

The building was built of single story from the local stones. The building is used as residence. The building was built in the form of a rectangular with a size of 11.50m x 8.50m. A heavier load was created on the building by adding a roof on the earth shelter. There were some segregations larger than 2 cm at the corner junction points of the rear front of the building. The fractures and cracks in the right flank front were measured to be larger than 1 cm. While on the left flank front, there were fractures and cracks larger than 2cm. There are local wall damages ranging from 0.5 to 1.5cm in the middle partition walls within the building. Images of the building and damages are shown in Figure 4



Figure 4. Damages on masonry building-2 (*2. Yiğma binadaki hasar durumu*)

4.3. Building-3 (*Bina-3*)

The building was built of single floor from the local stones. The building is used as residence. The building was built in the form of a rectangular with a size of 12.00m x 8.50m. A heavier load was created on the building by adding a roof on the earth shelter. Damages ranging from 0.5 to 1 cm were formed on the walls that make up the middle partitions of the building, while there are moderate damages ranging from 0.5 to 2 cm were formed on the outer wall. Images of the building and damages are shown in Figure 5.



Figure 5. Damages on masonry building-3 (*3. Yiğma binadaki hasar durumu*)

4.4. Building-4 (*Bina-4*)

The building was built of single floor from the local stones. The building is used as residence. The building was built in the form of a rectangular with a size of 12.00m x 7.0 m. A heavier load was created on the building by adding a roof on the earth shelter. Damages ranging from 0.5 to 1 cm were formed on the walls that make up the middle partitions of the building, while there are trivial damages ranging from 0.5 to 1 cm were formed on the outer wall. Images of the building and damages are shown in Figure 6.

Table 4. Information on the damages on the load-bearing system of the building-1
(Binanın taşıyıcı sistemindeki hasarlara ilişkin bilgiler)

DAMAGE INFORMATION OF THE LOAD-BEARING SYSTEM					
This will be completed on the floor, where the largest damage is observed.					
For the surveyed boundary walls, the most severe damage condition among the following articles will be taken as basis.					
		The corner and the wall concurrent to the corner		The walls in the middle of the fronts	
		X-X (m)	Y-Y (m)	X-X (m)	Y-Y (m)
3.1. Lengths of the Heavily Damaged Walls	Damage condition observed	5.90	6.20	0	0
	Segregation of out-of-plane collapsed wall and Concurrent walls ($\geq 20\text{mm}$); diagonal/X cracks on Corner/Front walls ($\geq 10\text{mm}$);				
		X1 =5.90 (m)	Y1 = 6.20 (m)	X2 = (m)	Y2 = (m)
3.1. Lengths of the Moderately Damaged Walls	Damage condition observed	5.90	0	0	0
	Segregation of out-of-plane collapsed wall and Concurrent walls (10~20mm); diagonal/X cracks on Corner/Front walls (5~10mm);				
		X3 = 5.90 (m)	Y3 = (m)	X4 = (m)	Y4 = (m)
3.3. Length Ratio of Damaged Wall		$I=(1.25 \times X1 + X3) / Lx$	$II=(1.25 \times Y1 + Y3) / Ly$	$III=(1.25 \times X2 + X4) / Lx$	$IV=(1.25 \times Y2 + Y4) / Ly$
		0.523	0.625	0	0
Total		$V=1.2 \times I + III= 0.623$ or $VI=1.2 \times II + IV=0.75$			
DAMAGE INFORMATION OF THE LOAD-BEARING SYSTEM					
This will be completed on the floor, where the largest damage is observed.					
For the surveyed boundary walls, the most severe damage condition among the following articles will be taken as basis.					
		The corner and the wall concurrent to the corner		The walls in the middle of the fronts	
		X-X (m)	Y-Y (m)	X-X (m)	Y-Y (m)

3.1. Lengths of the Heavily Damaged Walls	Damage condition observed	5.90	6.20	0	0
	Segregation of out-of-plane collapsed wall and Concurrent walls ($\geq 20\text{mm}$); diagonal/X cracks on Corner/Front walls ($\geq 10\text{mm}$);				
		X1 = 5.90 (m)	Y1 = 6.20 (m)	X2 = (m)	Y2 = (m)
3.1. Lengths of the Moderately Damaged Walls	Damage condition observed	5.90	0	0	0
	Segregation of out-of-plane collapsed wall and Concurrent walls (10~20mm); diagonal/X cracks on Corner/Front walls (5~10mm);				
		X3 = 5.90 (m)	Y3 = (m)	X4 = (m)	Y4 = (m)
3.3. Length Ratio of Damaged Wall		$I = (1.25 \times X1 + X3) / L_x$	$II = (1.25 \times Y1 + Y3) / L_y$	$III = (1.25 \times X2 + X4) / L_x$	$IV = (1.25 \times Y2 + Y4) / L_y$
		0.523	0.625	0	0
Total		V = 1.2xI + III = 0.623		or VI = 1.2xII + IV = 0.75	

Table 5. Damaged evaluation for building-1 (1. Binaya ait hasar değerlendirme)

STATUS OF DAMAGE FOR NON-STRUCTURAL ELEMENTS FOR BUILDING-1									
N1 Gamble wall damage		N2 Staircase damage		N3 Flue or parapet damage		N4 Shear damage at infill walls		Additive to damage (HK)	
YES 1; NO 0		YES 1; NO 0		YES 1; NO 0		YES 1; NO 0		0.025* (N1 + N2 + N3 + N4)	
NO		NO		NO		NO			
N1 =0	0	N2 =0	0	N3 =0	0	N4 =0	0	HK	00



Figure 6. Damages on masonry building-4 (4.Yiğma binaya ait hasarlar)

After information on the buildings and damages to the buildings was given, the damage assessment rating form was completed separately for each building. The damage rating procedure for four buildings considered

in the study is shown in Table 6. As a result of the evaluation, two of them were determined to be moderately damaged, one to be heavily damaged, the other one to be slightly damaged. The damage assessments will be controlled by different people more easily with the help of these forms. The values obtained from the surveys conducted on the site will enable to get results in a healthy and rapid in a more comfortable environment. Completing the damage assessment forms properly is directly proportionate to the trainings to be provided for the technical staff to complete the form. The damage rating on these forms will have a more realistic and scientific base thanks to the trainings to be provided. These forms that used to be complex in previous years were made more usable following the 2011 Van earthquakes.

Table 6. Damage evaluation of investigated buildings (İncelenen binalara ait hasar değerlendirme)

BUILDING NO		1	2	3	4
VALUE					
X-X	Facade (m)	5.90	8.00	9.75	9.80
	Rear front (m)	8.20	10.60	10.80	10.50
	Lx	14.10	18.60	20.55	20.30
Y-Y	Left (m)	6.20	7.70	7.20	5.00
	Right (m)	6.20	8.50	7.70	6.00
	Ly	12.40	16.20	14.90	11.00
X1	5.90	11.50	0	0	
Y1	6.20	8.50	0	0	
X2	0	0	0	0	
Y2	0	4.20	0	0	
X3	0	3.80	4.20	7.00	
Y3	0	0	4.00	0	
X4	0	0	4.20	0	
Y4	0	0	3.60	3.8	
I	0.523	0.98	0.204	0.345	
II	0.625	0.66	0.268	0	
III	0	0	0.204	0	
IV	0	0.3	0.241	0.345	
V	0.623	1.14	0.448	0.345	
VI	0.75	1.09	0.562	0.345	
Z1	1	1	1	1	
Z2	1	1.2	1	1	
N1	0	0	0	0	
N2	0	0	0	0	
N3	0	0	0	0	
N4	0	1	0	0	
HK	0	0.025	0	0	
HO	0.75	1.14	0.562	0.345	
THO	0.75	1.393	0.562	0.345	
THO x 100 (%)	75	130	56.20	34.50	
DAMAGE STATUS	MEDIUM	HEAVY	MEDIUM	SLIGHTLY	

5. WEB-BASED ASSESSMENT (WEB TABANLI DEĞERLENDİRME)

As a result of the developments in the information technology, local governments started to collect, store and process the positional data they use for their own service areas in the computer environment and to produce new information as a result of analysis. The desire to use information technologies in evaluation and monitoring systems is increasing day by day. It is because the mobile devices are spread and increased in use since they are smaller, are able to work as wireless and have high memory capacity. These elements require mobile devices to be used in many areas such as environmental control, monitoring of health services and security, transportation and automation[28-39].

Structural control has a wide area that combining automatic control and structural engineering areas using a variety of applications from aerospace and mechanical engineering to infrastructure systems such as building. Technological developments in seismic instrumentation enable the application of digital communication and computer technologies, real-time early warning and rapid damage assessment systems [40-41]. The form, which was formed after a natural disaster in masonry buildings, was turned into an internet form and transferred to the digital media so that it can be evaluated more rapidly.

A web page was created and each field of the form on this page was associated with a database so that the form can work effectively. In this way, it became possible to make an analysis and assessment for the data entered. It was enabled to create plenty of statistical information by forming a wide database. The web-based post-disaster rapid assessment application developed for the masonry buildings consists of a user interface and a database to which this interface is associated. The interface program was developed in php language, while MySQL language was used for the database. Web-based software is expected to have a flexible, rapid and reliable structure. This type of software should provide the user with ease of programming as well as a flexible and secure structure. These properties specified can be realized effectively using php-based MySQL database.

For the web-based software, a restriction process is also performed for the data entered by the user. In this case and in the event that the user enters incorrect or inadequate data, the system automatically sends a warning message to the user. The most accurate result

is achieved with mathematical and logical expressions created in background by entering the data successfully into the rapid assessment form and the coding created, and these values are automatically registered. The association belonging to the assessment form used in the database registration process is presented in Figure 7. The flow diagram of the software is presented in Appendix-1.

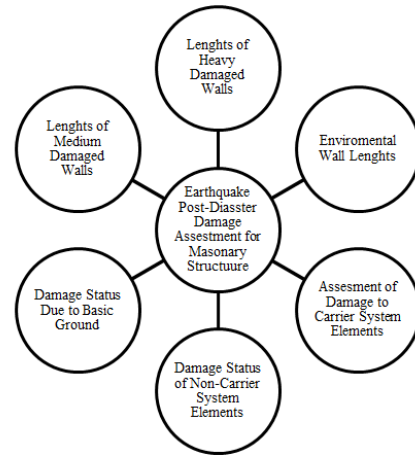


Figure 7. Database evaluation form-data relationship
(Veri tabanı değerlendirme form-veri ilişkisi)

Each building was assigned a value called “Building ID” so that the database registration process can be realized any desired data can be obtained from the database. This is a value belonging to the registered building, and in this way, it was prevented to register another structure with the same value. In addition, each building entered was given a sequence number. The data-interface-database association of the developed web-based software is presented in Figure 8.

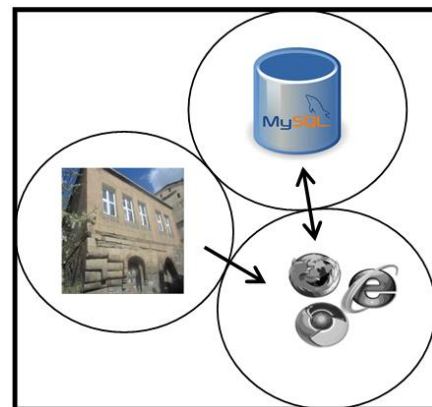


Figure 8. Algorithm of software system operation
(Yazılım geliştirme algoritması)

A site with the address smarthomes.com, which is associated with php-based and MySQL database, was created in order to assess and determine the post-

earthquake damages for the masonry buildings. The post-earthquake assessment of the wooden buildings is carried out on the site, and each building is assessed according to its ID number. The data entered for the building are assessed in two different situations. Firstly, in case of any collapse in the building, the data of the building are registered in the database, and the registration is performed writing “COLLAPSED” in the conclusion section in the database, without any need for data entry. The image for this case is presented in Figures 9 and 10. In Figure 10, the employee logging in to enter the site is asked “Is there any collapse?” If the answer is affirmative, the process is completed by entering data into the fields indicated in Figure 10. At the end of this process, the information that a building collapsed is registered.

No	Building ID	Damage Rate %	Result
1	a	75	MEDIUM DAMAGE X
2	q	0	COLLAPSE X

İncelenen Yapı: 2				
HEAVY DAMAGE	MEDIUM DAMAGE	LIGHT DAMAGE	NO DAMAGE	COLLAPSE
0	1	0	0	1

Figure 9. Home page for damage assessment (*Hasar değerlendirme ana sayfa*)

Figure 10. Data entry for collapse (*Çökme veri girişi*)

The other situation is that there is some collapse in the building. When the question “Is there any collapse?” in Figure 9 is answered negatively, the form indicated in Figure 11 is opened. In case of data entry to the required fields in Figure 11 and upon the completion of the registration process of these data, the collapse condition is formed by the program and the database registration process is completed. Depending on the calculated data, it is assessed as heavy damage, moderate damage, slightly damage, no

damage or collapse and subjected to assessment as statistical data.

Figure 11. Data entry screen in case of non-collapse (*Çökme durumu için veri girişi*)

As shown in Figure 11, there is information on the process result of the buildings, of which database registration process was completed by the user. In addition, the statistical information is presented in the same field depending on the damage status of the wooden buildings entered. As the employees carrying out different surveys use the same database, it prevents assessment of a building by different people and enables the process to be assessed more rapidly and transparently. As the developed web page has a structure that can be used not just for one region or one person but by everyone and for each region, it is expected that the number of users will increase on a global scale. The result screen of earthquake damage evaluation is presented in Figure 12.

No	Building ID	Damage Rate %	Result
1	a	75	MEDIUM DAMAGE X
2	q	0	COLLAPSE X

İncelenen Yapı: 2				
HEAVY DAMAGE	MEDIUM DAMAGE	LIGHT DAMAGE	NO DAMAGE	COLLAPSE
0	1	0	0	1

Fig. 12. Result screen of earthquake damage evaluation for masonry buildings (*Yığılma yapıların için hasar değerlendirme sonuç ekranı*)

6. RESULTS (SONUÇLAR)

The persons that will complete the earthquake damage form should be trained on how to complete the form. As a result of this process, the field works will be faster and more reliable. Generally, the success of data collection significantly depends on this preparation process. Otherwise, the field works need to be repeated in order to collect data.

It is important to issue the information form in a way to be evaluated by computer. Thus, a result can be got in a short time, and depending on the damage level, results can be obtained in forms of graphics by evaluating the information according to the availability of the building and the residential areas. Furthermore, the relations between the loss of life that is the most important issue in the earthquake and the damage level in buildings and the load-bearing system can be obtained. These forms issued by AFAD created a scientific basis for the assessment of damages emerging on buildings.

In this study, four masonry buildings were selected in order to reveal the effects of the damages caused by the Van earthquake in the province of Bitlis. The damage assessment forms were completed separately for each building, and the damage levels were determined. This study has an important place in terms of revealing the importance of masonry buildings, which are widely used in rural areas of Anatolia.

This study provides information on the construction techniques of masonry buildings in Bitlis. In this context, horizontal beams should be used to ensure the connection between the walls in the construction of earth shelters used on these houses. Heavy loads caused by earth shelters increase the damages in the structure.

In this context, the design principles of the masonry buildings included in the Turkish Building Earthquake Code should be considered. In addition, the project design process for such structures should be placed on a legal basis. It should be a legal obligation that such structures are provided engineering services. Thus, damages and losses that may occur in the buildings with engineering services will be kept at lower levels.

In addition, it will make sense to develop province-based standard masonry building projects for each province. Construction technology and local materials may vary in each province. It will be an important move to minimize wall damages to select

accurately the joining tools to be used especially on the walls.

The damage assessment processes of masonry buildings, which were exposed to earthquake effect and constitute a large part of the buildings in rural areas, were transferred to the electronic media, and damage grading was carried out electronically. With the help of this environment created, information that need to be received or required from different institutions was gathered via internet in MYSQL database operating very rapidly.

Besides creating a database for the masonry buildings, the earthquake-exposed masonry buildings will be transferred to the database thanks to this study. Thanks to the information obtained, the earthquake zones will be determined more realistically as well as and it will enable to develop construction principles related to masonry buildings. Such studies can be used as a supporting tool for the post-earthquake decision makers. Rapid and practical solutions are required to sustain the post-earthquake social life. This study will be very efficient in meeting this kind of deficit.

In this study, local administrations and the relevant public institutions and organizations will be able to directly access the earthquake-exposed building stock and data, and if they desire, will ensure use of these data in the electronic media. Damage assessment in buildings, classification of the same and decision making process for use will be performed in a controlled manner thanks to the post-earthquake data related to the buildings.

In the system installed, all data can be defined, stored, processed and analysed as associated in an efficient and detailed way in a single database. In this way, time and finance can be saved in the decision making and implementation processes, and an institutional resource planning infrastructure can be formed. Thanks to the method used in the study, a knowledge-based management process with a consistent structure information system infrastructure and a knowledge-based strategic plan can be used effectively. In addition, it will be possible to access the data of the earthquake-exposed building stock as independently of the space. This study can be expanded with new modules. Its sustainability can be ensured easily.

The fact that the earthquake-exposed building stock is large results in that evaluations related to such buildings are not very realistic due to lack of time and technical staff. Rapid damage assessment methods are

required so that these evaluations provide scientifically healthy results. Pursuant to this requirement, AFAD developed the damage assessment forms. It is possible to identify some parameters that will affect the behaviour of the building during the earthquake without getting into the building, and in part, within the building. The damage levels of the buildings are identified by this calculation.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors reported no potential conflict of interest

REFERENCES (KAYNAKLAR)

- [1] M.F Işık, E Işık, M.A Bülbül, ve İ.B Karaşin, "Doğal afet sonrası hasarların web tabanlı değerlendirilmesi", *International Conference on Advanced Engineering Technologies*, Bayburt, Türkiye, vol.21, pp. 21-23, September 2017.
- [2] Hadzima-Nyarko, Marijana, G. Pavić, and M. Lešić, "Seismic vulnerability of old confined masonry buildings in Osijek, Croatia", *Earthquakes and Structures*, vol. 11, no. 4, pp.629-648, 2016, doi: 10.12989/eas.2016.11.4.000
- [3] E. Işık, "Consistency of the rapid assessment method for reinforced concrete buildings", *Earthquakes and Structures*, vol. 11, no. 5, pp.873-885. 2016. doi: 0.12989/eas.2016.11.5.873
- [4] M. B. Anoop, K. B. Rao, "Seismic damage estimation of reinforced concrete framed structures affected by chloride-induced corrosion", *Earthquakes and Structures*, vol. 9, no. 4, pp. 851-873. 2015. doi:10.12989/eas.2015.9.4.851
- [5] T. K. Šipoš, M. Hadzima-Nyarko, "Rapid seismic risk assessment", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 24, pp.348-360, 2017. doi: 10.1016/j.ijdr.2017.06.025
- [6] M. Hadzima-Nyarko, N.Ademović, G. Pavić, T. K. Šipoš, "Strengthening techniques for masonry structures of cultural heritage according to recent Croatian provisions", *Earthquakes and Structures*, vol. 15, no. 5, pp. 473, 2018, doi: 10.12989/eas.2018.15.5.473
- [7] İ. F. Çırak, "Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar, Nedenleri ve Öneriler", *SDU International Technologic Science*, vol. 3, no. 2, pp.55-60, 2011.
- [8] E. Işık , İ. Karaşin ve B. Eren , "Mevcut bir Yığma Yapının Farklı Hızlı Değerlendirme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi", *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 5, no. 2, pp. 70-76, Jul. 2016.
- [9] A. Karaşin, M.E.Öncü, "Çok katlı yığma binaların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesi". *Doğu Anadolu Araştırmaları Dergisi*, pp.63-68, 2009.
- [10] A.Korkmaz, A.I. Çarhoğlu, A.V. Orhon A.Nuhoğlu, "Farklı yapısal malzeme özelliklerinin yığma yapı davranışına etkisi", *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol.3, no. 1, pp.69-78, 2014.
- [11] M.Hadzima-Nyarko, D.Morić, G.Pavić, and V.Mišetić, "Spectral functions of damage index (DI) for masonry buildings with flexible floors", *Tehnički vjesnik*, vol. 25, no. 1, pp. 181-187, 2018. doi: 10.17559/TV-20170516090159.
- [12] V.S.Biçen, E.Işık, M.H.Özlük, M. Ülker, "Solution for existing soil housetops of traditional Bitlis houses", *International Engineering, Science and Education Conference (INESEC - 2016)*, Diyarbakir Turkey , 2016.
- [13] E. Işık, "Evaluation of the masonry building stock in Bitlis province with street screening method" *Bitlis Eren University, Journal of the Institute of Science*, vol. 2, no. 1, pp.22-30, 2013.
- [14] V.S.Biçen, E. Işık, "Geleneksel Bitlis evleri'nde yapı elemanları ve malzeme kullanımının örnek yapı üzerinden değerlendirilmesi", *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'18 Dubai)*. Dubai, 2018.
- [15] E.Işık, M.C.Aydın, A.Büyüksaraç, A.E Ulu, "Structural analysis of historic houses of Bitlis", *4 th International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS -2018)*, Kiev, Ukraine, 2018.
- [16] W.Zhai, W.Zeng, "Building damage assessment using a single post-earthquake PolSAR image: a case of the 2010 Yushu earthquake", *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 57, no. 1, pp. 12-18, 2017.
- [17] L.Xian, Z.He, X.Ou, "Incorporation of collapse safety margin into direct earthquake loss estimate", *Earthquakes and Structures*, vol. 10, no. 2, pp. 429-450, 2016. doi: 10.12989/eas.2016.10.2.429

- [18] D.Gautam, G. Forte, H.Rodrigues, "Site effects and associated structural damage analysis in Kathmandu Valley, Nepal" *Earthquakes and Structures*, vol. 10, no. 5, pp. 1013-1032, 2016. doi:10.12989/eas.2016.10.5.1013
- [19] H. S.Kim, C. K.Chung, "Integrated system for site-specific earthquake hazard assessment with geotechnical spatial grid information based on GIS", *Natural Hazards*, vol. 82, no. 2, pp. 981-1007, 2016.
- [20] B. Besson, J.Ö. Bjarnason, "Seismic vulnerability of low-rise residential buildings based on damage data from three earthquakes (Mw =6.5, 6.5 and 6.3)", *Engineering Structures*, vol. 111, pp. 64-79, 2016. doi: 10.1016/j.engstruct.2015.12.008.
- [21] R. C.Sharma, R.Tateishi, K.Hara, H. T.Nguyen, S.Gharechelou and L. V.Nguyen, "Earthquake damage visualization (EDV) technique for the rapid detection of earthquake-induced damages using SAR", *Data Sensors*, vol. 17, no. 2, pp. 235, 2017. doi:10.3390/s17020235i:
- [22] E.Isik, M. F.Isik, M. A.Bulbul, "Web based evaluation of earthquake damages for reinforced concrete buildings", *Earthquakes And Structures*, vol. 13, no. 4, pp. 387-396, 2017. doi:10.12989/eas.2017.13.4.423
- [23] B.Taşkın, M.Aydoğan, M.Çelik, M Gençoğlu, K.Güler, Z.Hasgür, A.I.Saygun, Ü.M Tuğsal, "Deprem sonrasında betonarme binaların hasar sınıflandırılmasında kullanılacak yeni AFAD hasar tespit formları, No: 2010K140130 Hasar Tespit Sisteminin İyileştirilmesi Projesi", *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Mesleki Eğitim Semineri*, 2015.
- [24] K.Güler, M.Aydoğan, M.Çelik, M.Gençoğlu, K.Güler, Z. Hasgür, A.I.Saygun, B.Taşkın, Ü.M Tuğsal, "Deprem sonrasında yığma binaların hasar sınıflandırılmasında kullanılacak yeni AFAD hasar tespit formları, No: 2010K140130 Hasar Tespit Sisteminin İyileştirilmesi Projesi", *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Mesleki Eğitim Semineri*, 2015.
- [25] M. Utkucu, H. Durmus, H.Yalçın, E. Budakoglu, E. Isik, "Coulomb static stress changes before and after the 23 October 2011 Van, eastern Turkey, earthquake (MW= 7.1): implications for the earthquake hazard mitigation", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 13, no. 7, pp. 1889, 2013. doi:10.5194/nhess-13-1889-2013
- [26] E. Işık, "The effects of 23.10. 2011 Van earthquake on near-field and damaged on structures", *International Anatolia Academic Online Journal Science Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 10-25, 2014.
- [27] E.Işık, M.H.Özlük, E.Demir, H.Bilici., "23.10.2011 Van depreminin Adilcevaz ilçesindeki etkilerinin gözleme dayalı incelenmesi", *Bitlis, Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp.1-10, 2012.
- [28] L.Diaz, M. Lafont, J. M Munoz-Guijosa, S.Munoz, O.Echavarri, T.Chacon, O. De la Guerra, "Combining smart materials for enhancing intelligent systems: initial studies, success cases and research trends", *Smart Structures and Systems*, vol. 14, no. 4, pp.517-539, 2014.
- [29] J. Broeders et al., "Mobile Application for Impedance-Based Biomimetic Sensor Readout," *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, no. 7, pp. 2659-2665, July 2013. doi: 10.1109/JSEN.2013.2256346.
- [30] Y. Ishigaki, Y. Matsumoto, R. Ichimiya and K. Tanaka, "Development of Mobile Radiation Monitoring System Utilizing Smartphone and Its Field Tests in Fukushima," *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, no. 10, pp. 3520-3526, Oct. 2013. doi: 10.1109/JSEN.2013.2272734.
- [31] J. Lee, B. A. Reyes, D. D. McManus, O. Maitas and K. H. Chon, "Atrial Fibrillation Detection Using an iPhone 4S," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 60, no. 1, pp. 203-206, Jan. 2013. doi: 10.1109/TBME.2012.2208112.
- [32] C. Qin, X. Bao, R. R. Choudhury and S. Nelakuditi, "TagSense: Leveraging Smartphones for Automatic Image Tagging," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 13, no. 1, pp. 61-74, Jan. 2014. doi: 10.1109/TMC.2012.235.
- [33] P. Zheng, L. Ni, "Smart phone and next generation mobile computing", *Morgan Kaufmann*, 2010.
- [34] J. Andrus, C. Dall, A V. T. Hof, O. Laadan, J. Nieh, "Cells: a virtual mobile smartphone architecture", In *Proceedings of the Twenty-Third ACM Symposium on Operating Systems Principles ACM*, pp. 173-187, 2011.
- [35] T. Y. Liu, W. L Chiang, C. W. Chen, W. K. Hsu, C. W Lin, D. J. Chiou, P. C.Huang, "RETRACTED:

Structural system identification for vibration bridges using the Hilbert–Huang transform”, *Journal of Vibration and Control*, vol. 18, no. 13, pp. 1939-1956, 2012. doi: 10.1177/1077546311428347

[36] M. F. Işık, E. Işık, M. A. Bülbül, “Application of iOS/Android based assessment and monitoring system for building inventory under seismic impact”, *Građevinar*, vol. 70, no. 12, pp. 1043-1056, 2018, doi: 10.14256/JCE.1522.2015

[37] E. Işık, M.F. Işık, M.A. Bülbül, “Betonarme binaların web tabanlı hızlı değerlendirilmesi”, *Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Dergisi*, vol. 23, no. 1, pp. 225-234, 2018.

[38] İ.B. Karaşın, E. Işık, M.F. Işık, M.A. Bülbül, “Web Tabanlı Yapı Hızlı Güvenlik Değerlendirmesi” *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17) Bitlis, Türkiye*, Oct. 27-29, 2017.

[39] E. Işık, M.F. Işık, “The application of iOS/Android based assessment and monitoring system for residential buildings”, *The 3rd CEPPIS International Scientific Conference on Civil Engineering: Present Problems, Innovative Solutions (CEPPIS2017), Poland*, 2017.

[40] M. Ordaz, E. Reinoso, M. A. Jaimes, L. Alcántara, C. Pérez, “High-Resolution early earthquake damage assessment system for Mexico City based on a single-station”, *Geofísica International*, vol. 56, no. 1, pp. 117-135, 2017. doi: 10.19155/geofint.2017.056.1.9

[41] S. Casciati, A. G. Chassiakos, S. F. Masri, , “Toward a paradigm for civil structural control”, *Smart Structures and Systems*, vol. 14, no. 5, pp.981-1004, 2014. doi: 10.12989/sss.2014.14.5.981

AA-6082 T4 Alaşımının Tornalamasında Çok Kristalli Elmas (ÇKE) Takımlara Uygulanan Talaş Kırıcı Formlarının Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Selçuk YAĞMUR^{*a}, Müzeyyen Kübra KAYA^b, Ulvi ŞEKER^a

^{a,*} Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.
^b Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 19.03.2021
Kabul: 21.04.2021

Anahtar Kelimeler:
Çok Kristalli Elmas
(ÇKE), Talaş Kırıcı,
AA6082, Tornalama

ÖZ

Alüminyum alaşımlarının çeliklere oranla daha düşük yoğunluğa sahip olması ile birlikte alaşımlandırma gibi işlemler ile çeliklere yakın dayanıma sahip olmaları sayesinde, havacılık sanayi başta olmak üzere pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu önemli avantajının yanında işleme zorluklarının olması alüminyum alaşımlarının işlenmesinde bazı sorunlar doğurmuştur. Sürekli talaş oluşumu ve yığıntı talaş bu sorunların başında gelmektedir. Özellikle sürekli talaş oluşumu neticesinde malzemeye sarılan talaşın yeniden kesilmesi ile birlikte kesme kuvvetlerin arttığı bilinmektedir. Bu çalışmada sürekli talaş oluşumu engellemek amacıyla talaş kırıcı formu uygulanmış çok kristalli elmas takımlar ile AA 6082 T4 alaşımının tornalamasında meydana gelen kesme kuvvetleri araştırılmıştır. Çalışmada lazer bileme yöntemiyle farklı talaş kırıcı formları oluşturulmuş çok kristalli elmas (ÇKE) takımlar ve talaş kırıcısız ÇKE takımlar kullanılmıştır. Takımların uç yarıçapları 0.4 ve 0.8 mm'dir. Kesme parametreleri olarak 0.14 mm/dev sabit ilerleme miktarı, iki farklı kesme hızı (200 ve 400 m/dak) ve altı farklı kesme derinliği (0.02, 0.06, 0.1, 0.14, 0.20 ve 0.26 mm) belirlenmiştir. Çalışma neticesinde en düşük kesme kuvvetleri değerlerine talaş kırıcılı takımlar ile yapılan deneylerde ulaşıldığı görülmüştür.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.06>

Investigation of the Effects of Chip Breaker Forms Applied to Polycrystalline Diamond (PCD) Tools on Cutting Forces in Turning AA-6082 T4 Alloy

ARTICLE INFO

Received: 19.03.2021
Accepted: 21.04.2021

Keywords:
Poly-Crystalline
Diamond (PCD), Chip
Breaker, AA6082,
Turning

ABSTRACT

Aluminum alloys have lower density compared to steels, and their strength close to steels through processes such as alloying has enabled them to be widely used in many areas, especially in the aviation industry. However, besides this important advantage, machining difficulties have created some problems in the processing of aluminum alloys. Continuous chip formation and built up edge (BUE) are the main problems. It is known that the cutting forces increase with the re-cutting of the chips that are wrapped in the material as a result of continuous chip formation. In this study, the cutting forces occurring during turning of AA 6082 T4 alloy with polycrystalline diamond tools applied in chip breaker form to prevent continuous chip formation were investigated. In the study, different chip breaker forms were formed by laser sharpening PCD tools and PCD tools without breakers were used. Cutting tools have two different tip radius (0.4 and 0.8 mm). As cutting parameters, 0.14 mm/rev constant feed rate, two different cutting speeds (200 and 400 m/min) and six different cutting depths (0.02, 0.06, 0.1, 0.14, 0.20 and 0.26 mm) were determined. As a result of the study, it was seen that the lowest cutting force values were reached in the experiments with the breaker tools.

*Sorumlu yazar: syagmur@gazi.edu.tr

To cite this article: S. Yağmur, M. K. Kaya and U. Şeker, "Investigation of the Effects of Chip Breaker Forms Applied to Polycrystalline Diamond (PCD) Tools on Cutting Forces in Turning AA-6082 T4 Alloy", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.1, pp. 51-57, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.01.06

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.06>

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hafif metaller, özellikle alüminyum ve magnezyum alaşımları yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve kolay üretim gibi özelliklerinden dolayı elektronik, genel mühendislik ve havacılık endüstrilerinde kullanılmaktadır [1]. Birçok alüminyum alaşımı, yüksek kesme hızlarında işlendiğinde, iyi yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü sağlamaktadır. Genellikle, sertleştirilmiş ve temperlenmiş alaşımlar tavlansız alaşımlardan daha kolay işlenir ve daha iyi kalitede yüzey meydana getirirler. Silisyum içeren alaşımları işlemek daha zordur, bunun sebebi talaş kaymadan yırtılır ve bundan dolayı düşük yüzey kalitesi elde edilir [2]. Alüminyum alaşımlarının endüstride yaygın olarak kullanılmasıyla beraber bu alaşımların işlenmesinde yaşanan sorunlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu sorunlar neticesinde araştırmacıların alüminyumun işlenebilirliği ile ilgili çalışmalarına literatürde sıklıkla rastlamak mümkün olmuştur. Agustina ve arkadaşları UNS A9707 alüminyum alaşımının kuru tornalamasında meydana gelen kesme kuvvetlerini incelemiştir. Çalışma sonrasında en etkili faktörlerin sırasıyla ilerleme miktarı, kesme derinliği, kesici takım tipi ve devir sayısı olduğu sonucuna ulaşmışlardır [3]. Sekmen ve arkadaşları kesme hızı ve talaş açısının alüminyum alaşımlarının işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş oluşumu üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonrasında AA 7075 alaşımında, AA 2011 alaşımına göre daha fazla yığıntı katman ve Yığıntı talaş oluştuğu sonucuna ulaşmışlardır [4]. Bayraktar ve Turgut çalışmalarında AL-5083 alaşımının frezelenmesinde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliğinin optimizasyonunu araştırmışlardır. Çalışmada ilerleme parametresinin, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği üzerinde en etkili faktör olduğu sonucuna ulaşmışlardır [5]. Akyüz ve Şenaysoy alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin işlenebilirlik üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak alaşımların işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinde artış görüldüğü sonucuna ulaşmışlardır [6]. Bu çalışmalar ile birlikte optimizasyon ve modelleme gibi çalışmalara da literatürde rastlamak mümkündür [7-12]. Ayrıca farklı soğutma şartlarının alüminyum alaşımlarının işlenebilirliğine etkileri de literatürde görülebilmekte. Çakır ve arkadaşları soğutma şartları ve kesme parametrelerinin AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının delinmesindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Artan ilerleme oranlarının

ilerleme kuvvetlerini arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır [13]. Çakır ve arkadaşları AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının tornalanmasında farklı parametreler altında minimum miktarda yağlamanın etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler sonrasında MQL kullanımının işlenebilirlik açısından olumlu bir etki yaptığı sonucuna varmışlardır [14]. Cönger ve arkadaşları alüminyum 6061 malzemenin MQL yöntemi ile frezelenmesinde Nano MoS2 katkılı kesme sıvısı kullanımının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, MQL yönteminde yüksek debide nano akışkanın kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü olumlu etkilediği sonucuna ulaşmışlardır [15].

Yapılan literatür araştırması neticesinde, AA 6082 T4 ısıl işleme uygulanmış malzeme ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça az olduğu görülmüştür. Ayrıca İmalat sektöründe ÇKE takımlara talaş kırıcı uygulanması yeni bir uygulama olup talaş kırıcı ÇKE takım ile işleme konusunda ise daha önce yapılmış olan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada ÇKE kesici takımlara uygulanan talaş kırıcıların kesme kuvvetlerine etkisi AA 6082 T4 malzeme üzerinde yapılan deneylerle birlikte incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada deney malzemesi olarak AA 6082 T4 alaşımı kullanılmıştır. Numuneler 100 mm çapında 170 mm boyunda hazırlanmıştır.

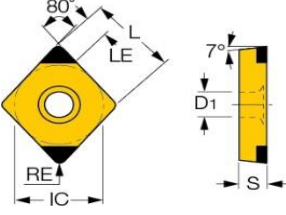
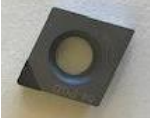

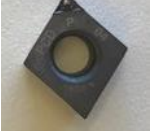



İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesici takımlar DTS GmbH (Almanya) takım firması tarafından lazer bileme yöntemiyle farklı talaş kırıcı geometrilerine sahip olarak üretilmiştir. Kesici takımların görüntüleri Tablo 1'de toplu halde verilmiştir. Uç yarıçapı 0.4 mm olan talaş kırıcı ve talaş kırıcısız takımlar 308 FN, 304 SPL-P, 304 SPL-N olarak 0.8 mm uç yarıçaplı talaş kırıcı ve talaş kırıcısız takımlar ise 308 FN, 308 SPL-P, 308 SPL-N şeklinde kodlanmıştır. FN kodlu takımlar talaş kırıcısız takımları ifade ederken SPL-P ve SPL-N kodlu takımlar ise talaş kırıcı takımları ifade etmektedir.

Kesme parametreleri, takım üretici firmanın (DTS GmbH) önerdiği değerler esas alınarak özellikle belirlenmiştir. Kesme derinlikleri kesici takım uç yarıçaplarından düşük olarak seçilmiştir. Bu durum kesici takım üretici firmasının isteği doğrultusunda

gerçekleşmiştir. Çalışmada kullanılan kesme parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. Deneylerde, “Johnford TC-35” sanayi tipi

CNC torna tezgâhı kullanılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçümü için KISTLER 9257 dinamometre ve Kistler Type 5070 yükseltici kullanılmıştır.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan kesici takımlar (*Cutting tools used in the experiments*)

	304	308
FN (Kırcısız)		
SPL-P		
SPL-N		

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri (*Cutting parameters used in the experiments*)

İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Talaş Derinliği (mm)
0.14	200	0.02
		0.06
		0.10
	400	0.14
		0.20
		0.26

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (*EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION*)

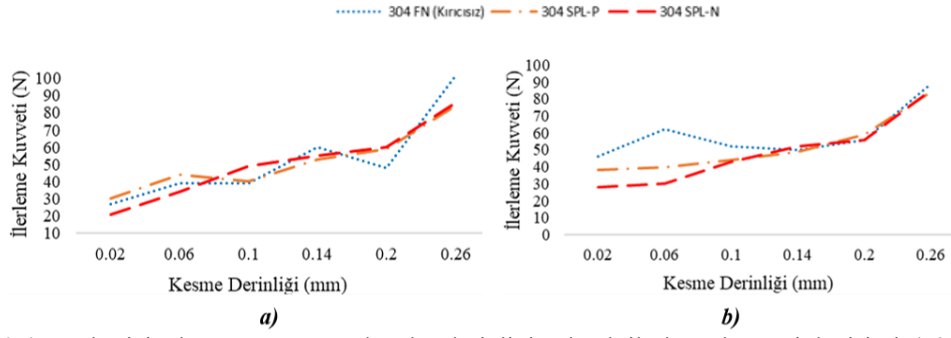
Deneyler sonrasında elde edilen kesme kuvvetleri değerlerinin 0,4 mm kesici takım uç yarıçapına sahip (304) takımlar ile yapılan deneylerde kesme derinliğine göre değişimini gösteren grafik Şekil 1’de verilmiştir.

Şekil 1a’daki grafikte, 200 m/dak sabit kesme hızında 0.4 mm kesici takım uç yarıçapına sahip takımlarda genel olarak en yüksek kesme kuvvetlerinin talaş kırcısız takımlarla yapılan deneylerde elde edildiği görülmektedir. Bununla

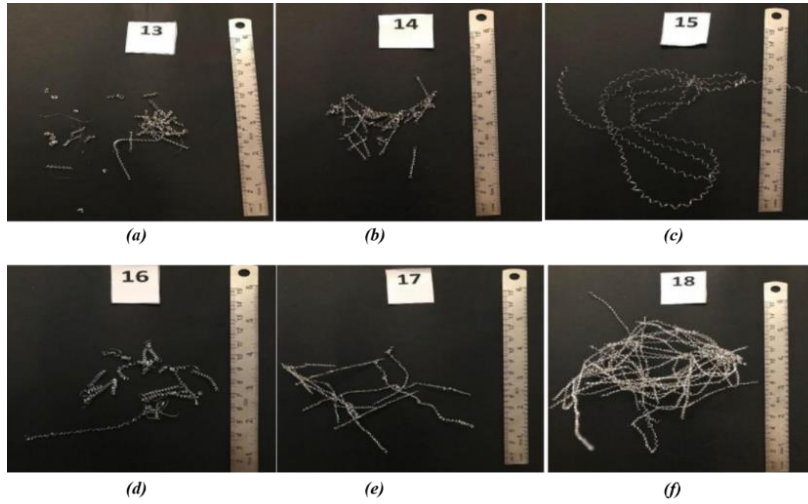
birlikte en düşük kesme kuvvetlerinin ise talaş kırcı formuna sahip SPL-N kodlu takımlarla yapılan deneylerde elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

İstisnalar haricinde kesme derinliğinin artması sonucunda kesme kuvvetleri de artmıştır [16]. Kesme derinliğinin artması kesilen talaş hacminin artmasına sebep olduğundan kesme kuvvetlerini de arttırmıştır. Ayrıca artan kesme derinliği ile birlikte talaş kırcı takımlar ile elde edilen kesme kuvvetlerinin talaş kırcısız takımlarla elde edilen değerlere yaklaştığı görülmektedir. Şekil 2’de verilen talaş resimleri incelendiğinde artan kesme derinliği neticesinde talaş kırcı formuna sahip SPL-P kodlu takımda talaşların kırılmadığı gözlenmiştir. Talaş biçimlerinden görüleceği gibi, artan kesme derinlikleri ile kırılmayan talaş deney numunesine sarılma eğilimi göstermiş ve bu da talaşın yeniden kesilmesine sebep olarak kesme kuvvetlerinin artmasına yol açmıştır. Kesici takımlara uygulanan talaş kırcı formlarının kesme kuvvetlerini olumlu yönde etkilediği literatürde karşılaşılan bir durumdur [17-19]. Talaş

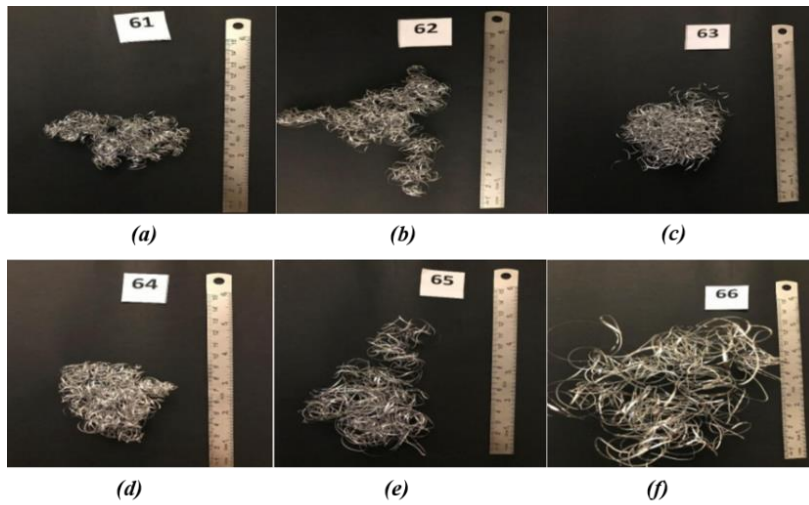
kırcısız takımlar ile yapılan deneylerde meydana gelen talaş biçimleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 1. 0.4 mm kesici takım uç yarıçapında talaş derinliğine bağlı ilerleme kuvveti değişimi a) 200 m/dak b) 400 m/dak (Cutting force variation depending on depth of cut at 0.4 mm cutting tool radius a) 200 m/min b) 400 m/min)



Şekil 2. 200 m/dak kesme hızında SPL-P kodlu talaş kırcılı takımda kesme derinliğine göre oluşan talaş biçimleri a) 0.02 mm b) 0.06 mm c) 0.1 mm d) 0.14 mm e) 0.2 mm f) 0.26 mm (Chip formations according to cutting depth in SPL-P coded with chip breaker tool at 200 m/min cutting)



Şekil 3. 200 m/dak kesme hızında FN kodlu talaş kırcısız takımda kesme derinliğine göre oluşan talaş biçimleri a) 0.02 mm b) 0.06 mm c) 0.1 mm d) 0.14 mm e) 0.2 mm f) 0.26 mm (Chip formations according to cutting depth in FN coded without chip breaker tool at 200 m/min cutting)

Kesme hızının 200 m/dak'dan 400 m/dak'a çıkması genel olarak kesme kuvvetlerinde düşüşe sebep olmuştur (Şekil 1b). Artan kesme hızlarında kesme kuvvetlerindeki düşüş beklenen bir durumdur ve bu durum literatürle benzerlik arz etmektedir. [20-22]. Artan kesme hızlarının kesme bölgesindeki sıcaklığını arttırdığı bilinmektedir [23]. Kesme bölgesindeki sıcaklığın artması, kesme işlemini nispeten kolaylaştırdığı ve kesme kuvvetlerinin düşmesine yol açtığı düşünülmektedir. Artan kesme hızları ile birlikte kesme kuvvetlerinin düşmesi literatürde karşılaşılan bir durumdur [24-26]. Fakat talaş kırıcısız takımda 0.26 mm kesme derinliğinde 200 m/dak kesme hızına göre kesme kuvvetlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum artan kesme derinliği neticesinde talaşın kırılmayarak yeniden kesilmesine atfedilmiştir (Şekil 3).

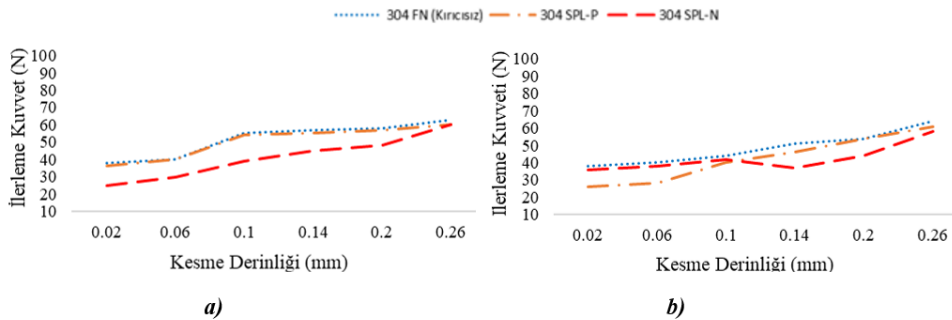
0.8 mm uç yarıçapına sahip kesici takımlarla yapılan deneylerde elde edilen kesme kuvvetleri incelendiğinde; genel eğilimin 0.4 mm yarıçapına sahip kesicilerdeki gibi olduğu görülmektedir.

Şekil 4'a'daki grafikte 0.8 mm uç yarıçapına sahip kesici takımlarda (308) meydana gelen kesme kuvvetlerinin 200 m/dak kesme hızında kesme derinliğine bağlı olarak değişimi verilmiştir. Grafikte, artan kesme derinliklerinin kesme kuvvetlerini arttırdığı görülmektedir. Bu durum 0.4 mm uç yarıçapına sahip takımlarda olduğu gibi kırılmayan talaşların yeniden kesilmesine atfedilmiştir. Grafikte, talaş kırıcısız takım ve SPL-N kodlu talaş kırıcı formuna sahip takımları ile elde edilen kesme kuvvetleri değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Her ne kadar bu iki takım arasındaki fark oldukça küçük olsa da 0.4 mm kesici takım uç

yarıçapına sahip takımlarda olduğu gibi en düşük kesme kuvvetlerinin talaş kırıcısız takımlar ile yapılan deneylerde elde edildiği görülmektedir. SPL-P kodlu talaş kırıcı formuna sahip takımlar ile yapılan deneylerde elde edilen değerlerin diğer iki takıma oranla oldukça düşük gerçekleştiği grafikten görülebileceği (Şekil 4a) gibi 0.26 mm kesme derinliğinde bu üç takım ile elde edilen değerlerin birbirine oldukça yaklaşılmaktadır.

Benzer bir durum Şekil 4b'de verilen grafikte de mevcuttur. Grafikte 400 m/dak kesme hızında 0.8 mm uç yarıçapına sahip kesiciler ile yapılan deneylerde kesme kuvveti değişimi gösterilmiştir.

Özellikle düşük kesme derinliklerinde, uç yarıçapının artması, kesme kuvvetlerinde artışa sebep olmuştur. Bu durum 400 m/dak kesme hızında daha belirgin olarak meydana gelmiştir. Takım uç yarıçapı ile birlikte kesme kuvvetlerinin artması literatürde karşılaşılan bir durumdur [27, 28]. Kesici takımın oluştuğu bileşke kuvvetin, talaş yüzeyinde oluşan kesme kuvveti ile kesici takım uç yarıçapı etkisiyle oluşan kuvvetin bileşkesi olduğundan uç yarıçapının artması kuvvetleri de arttırmıştır. [29]. 400 m/dak kesme hızında 0.4 mm uç yarıçapına sahip takımlarda olduğu gibi en düşük kesme kuvvetlerinin talaş kırıcısız takımlar ile yapılan deneylerde elde edildiği görülmektedir. SPL-P kodlu talaş kırıcı formuna sahip takımlar ile yapılan deneylerde, 0.02 mm ve 0.06 mm kesme derinliklerinde elde edilen kuvvet değerleri diğer iki takıma göre daha düşük gerçekleşmiştir. Grafikten görülebileceği gibi (Şekil 4b) 0.1mm kesme derinliğinden sonra kuvvetlerde artış başlamış ve 0.26 mm kesme derinliğinde her üç takım ile elde edilen kuvvet değerleri birbirine oldukça yaklaşılmıştır.



Şekil 4. 0.8 mm kesici takım uç yarıçapında talaş derinliğine bağlı ilerleme kuvveti değişimi a) 200 m/dak b) 400 m/dak (Cutting force variation depending on depth of cut at 0.8 mm cutting tool radius a) 200 m/min b) 400 m/min)

Talaş kırıcısız takımlar ile yapılan deneylerde, artan kesme derinliklerinin her iki uç yarıçapına sahip kesici takımlarda kesme kuvvetlerini arttırdığı görülmektedir. Talaş derinliği uç yarıçapı ilişkisi neticesinde en düşük kesme kuvvetleri 0.8 mm uç

yarıçapına sahip takımlarla yapılan deneylerde meydana gelmiştir. Her ne kadar talaş kırıcı formları beklenen sonucu vermese de en düşük kesme kuvvetleri talaş kırıcılı SPL-N, SPL-P kodlu takımlarda görülmüştür. En yüksek kesme

kuvvetlerinin ise kırıcı FN kodlu takımında meydana gelmesi, talaş kırıcı formlarının kesme kuvvetlerini olumlu etkilediğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada AA 6082 T4 malzemesinin talaş kırıcı formuna sahip olan ve talaş kırıcı formuna sahip olmayan takımlar ile tormalanması sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- İstisnalar haricinde genel olarak bütün takımlarda kesme derinliğinin artması sonucunda kesme kuvvetleri de artmıştır.
- En düşük kesme kuvveti 0.4 uç yarıçapına sahip SPL-N kodlu takımında 400 m/dak kesme hızında 0.26 mm kesme derinliğinde meydana gelmiştir.
- En yüksek kesme kuvveti 304 FN kodlu (talaş kırıcı) 0.4 mm uç yarıçapına sahip takımında 400 m/dak kesme hızında 0.26 mm kesme derinliğinde meydana gelmiştir.
- Artan kesme hızlarının literatüre paralel bir şekilde kesme kuvvetlerinde düşüşe yol açtığı gözlemlenmiştir.
- Talaş kırıcı ve talaş kırıcı olmayan takımlarda kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetleri değerleri birbirine yaklaşmıştır.
- Talaş kırıcı formuna sahip takımlarla yapılan deneylerde meydana gelen kesme kuvvetlerinin daha düzenli bir eğilim sergilediği görülmüştür.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] F.C. Walsh, C.T.J. Low, R.J.K. Wood, K.T. Stevens, J. Archer, A. R. Poeton, A. Ryder, "Plasma electrolytic oxidation (PEO) for production of anodised coatings on lightweight metal (Al, Mg, Ti) Alloys" *A review, Transactions of the Institute of Metal Finishing*, vol. 87, pp. 122-135, 2009. doi: <https://doi.org/10.1179/174591908X372482>
- [2] Y. Şahin, *Talaş Kaldırma Prensipleri 2*. Ankara, Nobel Yayın Dağıtım, 2001
- [3] B. Agustina, C.Bernal, A.M.Camacho, E.M.Rubio, "Experimental analysis of the cutting forces obtained in dry turning processes of UNS A97075 aluminium alloys" *Procedia Engineering*,

vol. 63, pp 694-699, 2013. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.248>

[4] M. Sekmen, M. Günay, U. Şeker, "alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi" *Politeknik Dergisi*, vol. 18, pp. 141-148, 2015.

[5] B. Şenol, Y. Turgut, "AL-5083 alaşımının frezelenmesinde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliğinin optimizasyonu" *7 th International Symposium on Machining, November, 2016, Marmara University, Istanbul*, pp. 24-34.

[6] B. Akyüz, S. Şenaysoy, "Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerindeki etkisi" *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol.1, pp. 1-9, 2014.

[7] A.Saravanakumar, S.C.Karthikeyan, B.Dhamotharan, V.G. Kumar, "Optimization of CNC turning parameters on aluminum alloy 6063 using Taguchi robust design" *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 8290-8298, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.520>

[8] S.P. Palaniappan, K. Muthukumar, R.V. Sabariraj, S. Dinesh Kumar, T. Sathish, "CNC turning process parameters optimization on Aluminium 6082 alloy by using Taguchi and ANOVA" *Materials Today: Proceedings*, vol. 21, pp. 1013-1021, 2020. doi <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.053>

[9] H. Gürbüz, F. Sönmez, Ş. Baday, U. Şeker, "Farklı talaş kırıcı formlarının esas kesme kuvvetlerine etkisinin matematiksel modellenmesi" *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, vol. 8, pp. 13-21, 2018.

[10] B. Özlü, H. Demir, E. Nas, " CNC tormalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etki eden parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi" *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, vol. 3, pp. 75-86, 2014.

[11] C.V. Ajay, V.Vinoth, "Experimental optimization of cutting parameters in turning of brass alloy using Taguchi method" *Materials Today: Proceedings Today*, pp. 1-7, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.561>

[12] R. A. Mali, M. D. Agrahari, T.V.K. Gupta, "FE based simulation and experimental validation of forces in dry turning of aluminium 7075" *Materials Today: Proceedings*, vol. 27, pp. 2319-2323, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.120>

- [13] A. Çakır, A. Duran, U. Şeker, “The Effect of different cooling methods to hole quality and tool life in the drilling of AA7075 and AA2024 aluminum alloys” *Manufacturing Technologies and Applications*, vol. 1, pp. 1-13, 2020.
- [14] A. Çakır Şencan, S. Yağmur, N. Kavak, G. Küçüktürk, U. Şeker, “The effect of minimum quantity lubrication under different parameters in the turning of AA7075 and AA2024 aluminium alloys”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 84, pp. 2515-2521, 2016. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7878-4>.
- [15] D. B. Cönger, U. Emiroğlu, A. Uysal, E. Altan, “Alüminyum 6061 malzemenin MQL yöntemi ile frezelenmesinde nano MoS2 katkili kesme sıvısı kullanımının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi” *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, vol. 17, pp. 31-37, 2019.
- [16] S. A. Yaşar, G. Uzun, İ. Korkut, “17-4 PH ve 15-5 PH paslanmaz çeliklerinin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin araştırılması” *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 10, pp. 71-81, 2020.
- [17] B. Yılmaz, Ş. Karabulut, A. Güllü, “Performance analysis of new external chip breaker for efficient machining of Inconel 718 and optimization of the cutting parameters” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 32, pp. 553-563, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.03.025>.
- [18] H. Gürbüz, A. Kurt, İ. Korkut, U.Şeker, “The experimental investigation of the effects of different chip breaker forms on the cutting forces” *Advanced Materials Research*, vol 23, pp. 191-194, 2007.
- [19] H. Gürbüz, A. Kurt, U.Şeker,” Investigation of the effects of different chip breaker forms on the cutting force using artificial neural networks” *Gazi University Journal of Science*, vol. 25, pp. 803-814, 2012.
- [20] Ö. Tekaslan, N. Gerger, M. Günay, U. Şeker, “AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin titanyum karbür kaplamalı kesici takım ile tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin incelenmesi” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 13, pp. 135-144, 2011.
- [21] A. Turhan, “Tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve iş parçası uzunluğunun geometrik toleranslara etkilerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [22] P. Chandra, C. P. Rao, R. Kiran, V. R. Kumar “Influence of machining parameter on cutting force and surface roughness while turning alloy steel”. *Materials Today: Proceedings*: vol. 5, pp. 11794-11801, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.149>
- [23] S. Yağmur, A. ACIR, U. Şeker, M. Günay, “Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 28, pp. 1-6, 2013.
- [24] T. Meral, M. Günay “Kaplama ve kaplamasız karbür matkap ile ferritik paslanmaz çeliğin delinebilirlik analizi” *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 5, pp.159-166, 2019.
- [25] H. Gökçe, M. Yavuz, H. Gökçe, U. Şeker “Orjinal matkap geometrisinde delme performansının sonlu elemanlar yöntemi ile doğrulanması” *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 3, pp.27-34, 2017.
- [26] M. E. Korkmaz, T. Meral, M. Günay “AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin delinebilirliğinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi” *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 4, pp.223-229, 2018.
- [27] K. Gök, M. Erdem, A. Gök, “AISI 1006 çeliğinin tornalama sürecinde kesici takım uç yarıçapının kesme sıcaklığı ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin numerik olarak incelenmesi” *TÜBAV Bilim Dergisi*, vol. 4, pp.1-8, 2010.
- [28] A. Uysal, E. Altan, “Experimental investigation of cutting forces in orthogonal cutting using rounded edge worn tool” *Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. 31, pp. 350-362, 2013.
- [29] K. Okushima, Y. Kakino, “Study on the Generating of Machined Surface”, *Bulletin of Japan Society of Mechanical Engineers*, vol. 12, pp. 141–1, 19.

Yüksek İlerleme ile Frezeleme İşlemi Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetinin ve İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

Ramazan ÇAKIROĞLU^{a,*}, Gültekin UZUN^b

^{a,*} Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 06560, Ankara, Türkiye.

^b Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği, 06560, Ankara, Türkiye.

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 20.03.2021
Kabul: 24.04.2021

Anahtar Kelimeler:
Östemperleme, yüksek ilerleme (High-Feed), bileşke kuvvet, yüzey pürüzlülüğü, yapay sinir ağları

ÖZ

Bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada vermüküler grafitli dökme demir numunelerine farklı östemperleme işlemi uygulayarak üç farklı sertlikte (42.77, 44.07 ve 45.6 HRC) malzemeler elde edilmiştir. İkinci aşamada frezeleme deneyleri yüksek ilerleme miktarı (High-Feed) (0.6-0.9 ve 1.2 mm/dak) değerlerinde, üç farklı kesme hızında (50-70 ve 98 m/dak) ve 0.5 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilerek bileşke kuvvet (Fr) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda Ra değeri 0.461 µm ile 4.635 µm değerleri arasında değişirken, Fr değerleri 1310 N ile 2563 N arasında oluşmuştur. Son aşamada ise elde edilen Fr ve Ra değerleri kullanılarak Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemiyle matematiksel model geliştirilmiştir. Elde edilen model sonucu tahmin edilen değerler ile deney sonuçları arasında uyum olduğu görülmüştür.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.07>

Modeling of the Cutting Force and Workpiece Surface Roughness During the Milling Process with High Feed Using Artificial Neural Networks

ARTICLE INFO

Received: 20.03.2021
Accepted: 24.04.2021

Keywords:
Austempering, High-Feed, cutting force, surface roughness, artificial neural networks

ABSTRACT

This study consists of three stages. In the first stage, materials of three different hardness (42.77, 44.07 and 45.6 HRC) were obtained by applying different austempering process to cast iron samples with vermicular graphite. In the second stage, milling experiments are performed at high feed rate (0.6-0.9 and 1.2 mm/rev), three different cutting speeds (50-70 and 98 m/min) and 0.5 mm cutting depth, and the resultant force (Fr) and average Surface roughness (Ra) values were obtained. As a result of the experiments, Ra value varied between 0.461 µm and 4.635 µm, while Fr values were between 1310 N and 2563 N. In the last stage, a mathematical equation was developed by using the Artificial Neural Networks (ANN) method using the obtained Fr and Ra values. As a result of the obtained equation, it was observed that there was a harmony between the estimated values and the experimental results.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.07>

*Sorumlu yazar: rcakiroglu@gazi.edu.tr

To cite this article: R. Çakıroğlu and G. Uzun, "Modeling of the Cutting Force and Workpiece Surface Roughness During the Milling Process with High Feed Using Artificial Neural Networks", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.1, pp. 58-66, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.01.07

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Vermiküler grafitli dökme demir, hem gri dökme demirin hem de sfero dökme demirin mükemmel özelliklerine sahiptir. Çekme mukavemeti gri dökme demir ve sfero dökme demir arasındadır ve döküm özellikleri, titreşim emilimi ve ısı iletkenliği sfero dökme demirinkinden daha yüksektir [1]. Tüm bu faktörlerden dolayı vermiküler grafit dökme demir, büyük gelişme potansiyeline sahip, otomobil endüstrisinde ideal bir üretim malzemesi haline gelmiştir; yaygın olarak otomobil egzoz borularında, silindir gömleklerinde ve diğer otomobil parçalarında kullanılmaktadır [2-3]. Vermiküler grafit dökme demirin daha yüksek çekme mukavemetine ve sertliğine sahip olması motorun ağırlığını azaltır, deformasyon direncini artırır, böylece segman gerilimi ve sürtünme kaybını azaltılmasına yardımcı olmaktadır [4]. Ancak vermiküler grafitli dökme demirin düşük termal iletkenliğe sahip olması bu malzemenin işlenebilirliğini zorlaştırmaktadır [5]. Bu malzemenin mekanik özelliklerinin (çekme dayanımı, akma dayanımı ve yorulma dayanımı, sertlik vb.) ve işlenebilirliğinin iyileştirilmesi için östemperleme işlemleri uygulanmaktadır [6].

Östemperleme işlemlerinde sıcaklık ve süre mikro yapıyı dolayısı ile de mekanik özellikleri etkileyen en önemli faktörlerdir. Östemperleme sıcaklığı yüksek seçilirse (350-400 °C), mikro yapıdaki yüksek karbonlu östenit miktarı artar bu da yüksek süneklik ve kırılma tokluğuna, nispeten daha düşük sertlik ve dayanımın ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte daha düşük östemperleme sıcaklığı (<350 °C) seçilirse, yüksek dayanım, yüksek sertlik ve aşınma direnci fakat düşük kırılma tokluğu gözlemlenmektedir. Östemperleme süresi yüksek olursa, sert ve kırılma karbür parçacıkları sünekliği ve kırılma tokluğunu önemli ölçüde azaltmaktadır [7].

Frezeleme işlemlerinde özellikle, takım salgısı, kesme kuvvetlerinin [8] neden olduğu takım sapmaları veya titreşimleri [9] gibi çeşitli etki faktörleri iş parçası yüzey topografyasını etkilemektedir [10]. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için son yıllarda yüksek ilerlemeli frezeleme işlemiyle iş parçalarının yüzey kalitelerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu yöntem yüksek talaş kaldırma oranlarını küçük çaplı takımlarla uygulanabilirliğinin yanında daha hızlı, daha verimli bir üretim için geleneksel işlemeye alternatif bir yöntemdir [11-12]. Tilman vd., iş parçası hem kuru kesme koşulunda hem de yüzeye yüksek hızda oksijen yakıt püskürtülerek yüksek ilerleme ile frezeleme işlemi sonrası işlenen yüzeylerin

yapılarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kuru işleme koşullarına kıyasla sürtünme katsayısının yaklaşık %40 azaldığını belirlemişlerdir [13]. Tilman vd., bir başka çalışmalarında ise Cr bazlı sert PVD kaplamalar kullanarak yüksek ilerleme ile frezeleme performansını araştırmışlardır. CrAlN ve CrAlCN ince kaplamaların uygulanmasının, sertleştirilmiş yüksek hızlı takım çeliği 62.38 ± 0.18 HRC ile karşılaştırıldığında yüksek ilerlemeli frezelenmiş yüzey yapılarının aşınma direncini artırdığını belirlemişlerdir [14]. Zhang vd., yüksek hızlı frezeleme işleminde enerji verimliliği üzerine araştırma yapmışlardır. Takımın dönüş hızı 2000 dev/dak'dan 8000 dev/dak'ya çıktığında gerinim sertleşmesi ve termal yumuşamanın etkisiyle enerji tüketimi azalmıştır. Devir, dış başına ilerleme, kesme derinliği ve frezeleme genişliğinin artmasıyla enerji verimliliğinin arttığını belirtmişlerdir [15]. Lin vd., kaplamalı seramik takımlar kullanılarak yüksek mukavemetli vermiküler grafit dökme demirin işlenmesi sırasında oluşan takım aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Kaplamalı seramik takımların vermiküler grafit dökme demirin işlenmesinde sinterlenmiş karbür takımlardan daha uygun olduğunu belirlemişlerdir. Kaplanmış seramik takımlar, düşük kesme hızında (Vc 200 m /dak) esas olarak adhesive, abrasive ve difüzyon aşınması sergilemişlerdir. Devir hızı arttıkça, kaplamalı seramik takımların difüzyon aşınması önce artmış sonra azalmıştır [16].

Kesme işlemi sırasında elde edilen veriler (kesme kuvvetleri, kesme bölgesi sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, titreşim vb.) işleme koşullarına ve işleme parametrelerine bağlı olduğundan tahmin etmek zordur. Ancak meydana gelebilecek olan olumsuz durumların önceden tahmin edilmesi işleme maliyetlerinin azalmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan işleme parametrelerine bağlı olarak sonuçların tahmin edilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Mundada vd., çalışmalarında, kesme hızı, ilerleme oranı, talaş açısı ve kesici takım uç yarıçapı parametrelerine bağlı olarak elde ettikleri yüzey pürüzlülüğü verilerini matematiksel model şeklinde etmişlerdir. Deneysel değerler ile tahmin edilen değerler arasında iyi bir uyum olduğunu belirtmişlerdir [17]. Çakıroğlu vd., kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplar kullanılarak delme işleminde matkap ucu sıcaklığını ve kesme kuvvetini tahmin etmek için yapay sinir ağları (YSA) metodundan faydalanmışlardır. Matematiksel modelleme sonuçları incelendiğinde tahmin edilen matkap ucu sıcaklığı ve kesme kuvvetleri sonuçlarının

deneysel sonuçlarla kabul edilebilir değerler dâhilinde olduğunu ifade etmişlerdir [18]. Parmar vd., yapay sinir ağı kullanarak frezeleme parametrelerinin modellenmesini yapmışlardır. Girdi parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği çıktı parametreleri olarak da talaş kaldırma oranı, kesme kuvvetini, takım ömrünü, tork ve güç değerlerini kullanarak matematiksel model geliştirmişlerdir. YSA modelinin sonuçları ile deneyler arasında iyi bir uyum olduğunu açıklamışlardır [19].

Literatürün incelenmesi sonucunda yüksek ilerleme ile östemperlenmiş malzemelerin işlenebilirliğine yönelik çalışmaların az olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışmalarda kullanılan parametrelerin daha sonraki çalışmalarda değerlendirilmesine yönelik matematiksel modellemelerin yapılmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada östemperleme işlemi ile malzemenin mekanik özellikleri değiştirilerek farklı sertliklerde numunelerin yüksek ilerleme ile frezelenmesi sonucu elde edilen bileşke kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün yapay sinir ağı ile modellenmesi yapılmıştır.

2. MATERYAL YÖNTEM (MATERIAL METHOD)

2.1. Deneysel Ekipmanlar (Experimental Equipment)

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak 25x30x100 mm ölçülerinde vermüküler grafitli dökme demir kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Vermüküler grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi (Chemical composition of vermicular graphite cast iron) [2]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
3.82	1.80	0.33	0.03	0.01	0.07	0.01	0.00
Cu	Mg	Sn	Ti	Al	Zn	Bi	Fe
0.87	0.01	0.09	0.02	0.00	0.08	0.00	92.8

Aynı özelliklere sahip üç deney malzemesine (23 HRC) farklı sıcaklıklarda östemperleme ile sertleştirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlemlerde Östemperleme işlemi, numuneler geleneksel östenitleme sıcaklığı $\sim 900^{\circ}\text{C}$ ’de 90 dakika östenitlendikten sonra hızlı bir şekilde, 315°C sıcaklığındaki %50 oranında potasyum nitrat ve %50 sodyum nitrat (%50 KNO_3 + %50 NaNO_3) karışımından oluşan tuz (Petrofer AS 135) banyosuna daldırılan numuneler farklı sürelerde (60, 120 ve 180 dakika) bekletilmiştir. Bu işlemler esnasındaki sıcaklık ölçümleri için K tipi ısı çifti kullanılmıştır. Sertlik ölçümlerinde Instron-Wolpert marka

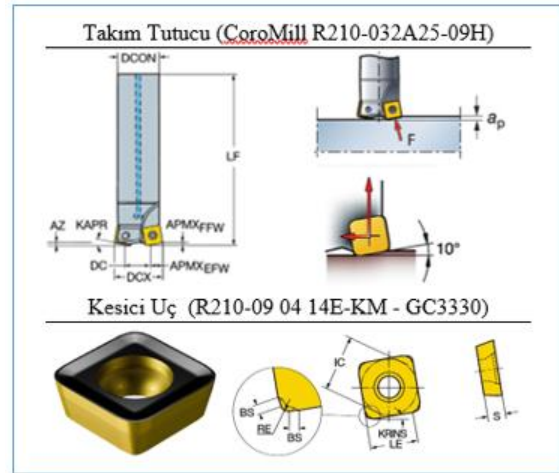
DIATESTOR 7551 tipi universal sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Tablo 2’de farklı bekleme sürelerine göre deney malzemelerinde oluşan sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Deney malzemesinin özellikleri (Experiment material properties)

Östemperlenme Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	315
Östemperlenme Süresi (min)	60 120 180
Malzeme Sertliği (HRC)	45,6 44,07 42,7

Deneylerde SANDVIK Coromant tarafından yüksek ilerleme miktarına sahip takım olarak üretilen silindirik saplı, maksimum kesme çapı 32 mm olan ve 10° kesici kenar açılı CoroMill R210-032A25-09H kodlu takım tutucu ile Coromant tarafından üretilen GC3330 kalite (R210-09 04 14E-KM) CVD yöntemi ile kaplanmış $\text{Ti}(\text{C},\text{N})+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$ kaplamalı sementit karbür kesici uçlar kullanılmıştır (Şekil 1).

Deneyler, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde bulunan Johnford VMC550 işleme merkezinde yapılmıştır. Kesme parametreleri, literatür incelemesi ve kesici takım firmasının önerileri doğrultusunda yapılan ön deneyler sonucunda belirlenmiştir. Bu bağlamda üç farklı kesme hızında (60, 120 ve 180 m/dak), üç farklı ilerleme değerinde (0,6, 0,9 ve 1,2 mm/dak) ve sabit aksenal talaş derinliğinde (0,5 mm) kuru şartları altında 27 adet deney yapılmıştır.



Şekil 1. Takım tutucu ve kesici uç geometrisi (Tool holder and insert geometry)

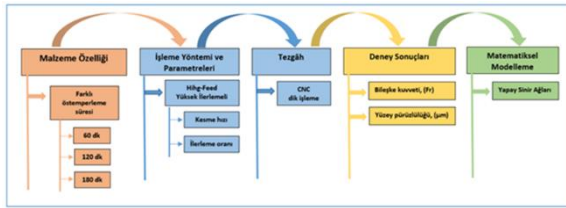
Yüzey frezelemede kesici takımın bir kesici ucunun üzerine etki eden kesme kuvveti bileşenleri F_x ’anlık ilerleme bileşeni (X yönünde elde edilen kesme kuvvetinin doğrultusu), F_y ’anlık normal bileşendir (Y yönünde elde edilen kesme kuvvetinin doğrultusu), F_z ’anlık dikey bileşen (Z yönünde elde edilen kesme kuvvetinin doğrultusu) ve FR ’anlık iş

parçası üzerinde oluşan bileşke kesme kuvvetidir. F_x , F_y ve F_z sırasıyla X, Y ve Z yönlerinde ilerleme bir kesici uç üzerindeki anlık kesme kuvvetleridir. Elde edilen F_x , F_y , F_z kesme kuvvetleri, bileşke kuvvet (FR) formülü ile hesaplanmıştır [20-21].

$$F_r = \sqrt{((F_x) + (F_y) + (F_z))} \quad (1)$$

Kesme kuvveti ölçümleri Kistler 9257B üç bileşenli piezoelektrik dinamometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu dinamometre Kistler 5070A çok kanallı şarj amplifiere bağlanmıştır. Kesme kuvveti verileri Dynoware yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için MAHR-Perthometer M1 ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümü işleme yönünde ve üç bölgede (başlangıç bölgesi, orta bölge ve bitiş bölgesinden) belirlenen noktalardan üçer adet olmak üzere toplamda dokuz adet ölçülmüş ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 2’de çalışmanın işlem basamakları verilmiştir.



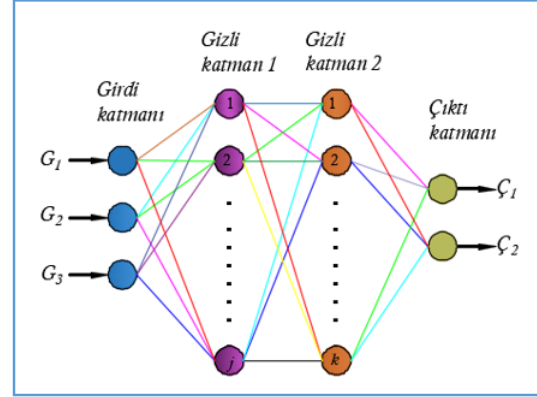
Şekil 2. Çalışmanın işlem basamakları (The process steps of the study)

2.2. Yapay Sinir Ağları (Artificial neural networks)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninden esinlenerek geliştirilmiştir [22]. Eldeki verileri kullanarak öğrenme, hatırlama ve daha sonra hiç görmediği verilerle karşılaşınca öğrendiği bilgileri kullanarak yeni veri üretebilen matematiksel bir modelledir. Öğrenme sürecindeki girdi ve çıktı bilgilerine bağlı kalarak bilmediği çıktı(lar) için sonuç üretebildiğinden günümüzde çok farklı alanlarda (İmalat, otomotiv, havacılık, enerji, finans, tıp, yazılım) kullanılmaktadır.

Girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır. YSA modelleri; tek katmanlı algılayıcılar, çok katmanlı algılayıcılar, ileri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli olmak üzere dört çeşittir. Bu çalışmada geri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır. Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ileri beslemeli olanların aksine bir hücrenin çıktısı sadece kendinden sonra gelen hücrenin katmanına girdi olarak verilmez. Kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir hücreye

de girdi olarak bağlanabilmektedir. Bu yapısı ile geri beslemeli yapay sinir ağları doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Şekil 3’de geri beslemeli yapay sinir ağının çalışma şekli gösterilmiştir [23].



Şekil 3. Yapay sinir ağ yapısının örnek gösterimi (Sample representation of artificial neural network structure)

Bu ağ modeli girdi katmanı, gizli (ara) katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır. YSA’da katmanlar ile nöronlar arasındaki her bağlantı ağırlık vektörü (w) olarak tanımlanmaktadır [18,21]. Modellemede malzeme sertliği (HRC), ilerleme oranı (f) ve kesme hızı (Vc) girdi katmanı olarak tanımlanırken bileşke kuvvet (Fr) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) çıktı katmanları olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalara bağlı kalarak “PHYTICA” yazılımında Şekil 3’de gösterilen 3-4-5-2 ağ yapısında Levenberg-Marquardt algoritmasında kullanılan Eşitlikler aşağıda verilmiştir [18]:

Gizli katman hesaplamaları;

$$Net_i = \sum x_i w_{ij} \quad (2)$$

$$y_i = f(Net_i)$$

Çıktı katman hesaplamaları;

$$Net_k = \sum y_i w_{jk} \quad (3)$$

$$O_k = f(Net_k)$$

Burada x_i giriş verilerini, y_i katman birden elde edilen sonuçları ve O_k ikinci katman sonuçlarını ifade etmektedir.

Transfer fonksiyonu;

Fermi aktivasyon fonksiyonu hem gizli hem de çıktı katmanların hesaplamasında kullanılmıştır;

$$F_i = \frac{1}{1 + e^{-4(NE_{T1} - 0.5)}} \quad (4)$$

YSA modeli eğitim aşaması ve test aşaması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirildiğinden tahmin değer ile gerçek değer arasındaki sapma (hata) miktarlarını belirlemek için istatistiksel analiz yapılmaktadır. Bunlar istatistiksel kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve mutlak değişim yüzdesi (R^2) değerleridir [24].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^n (y_{pre,m} - t_{mea,m})^2}{n}} \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_j \left[\frac{t_{mea,m} - y_{pre,m}}{t_{mea,m}} \right] \times 100 \quad (6)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{m=1}^n (y_{pre,m} - t_{mea,m})^2}{\sum_{m=1}^n (t_{mea,m})^2} \quad (7)$$

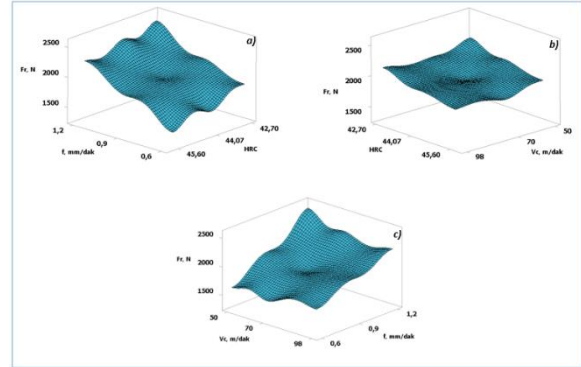
Burada n, veri desenlerinin sayısını, ypre, m, tmea, m, sırasıyla bir m veri noktasının tahmin edilen değeri ve ölçülen değerini göstermektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSIONS)

3.1. Bileşke Kuvvetin Değerlendirilmesi (Evaluation of Resultant Force)

Kesme hızı, ilerleme oranı ve sertlik değerlerine göre elde edilen bileşke kuvvet sonuçlarına göre oluşturulan 3D grafikleri Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4a'da gösterilen sertlik ve ilerleme oranına bağlı olarak oluşturulan bileşke kuvvetin grafiği incelendiğinde sertlik arttıkça Fr azalmıştır. Sertlik ve ilerleme oranına bağlı kuvvet değişiminin %28-%39 arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük kesme kuvveti 45,6 HRC sertlikte 1310 N olarak 0,6 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. Bunun sebebi düşük östemplendirme süresinde ince ösferitik yapının oluşması ve bu yapının işlenebilirliğe olumlu etkisi olarak ifade edilebilir [2-3]. Ayrıca artan sertlik miktarı ile talaşın kırılması kolaylaştığı ve kuvvetleri azalttığı düşünülmektedir. Sertlik ve kesme hızına göre oluşturulan Şekil 4b incelendiğinde, kesme hızının artması Fr değerini belirgin bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Kesme hızının artışı ile kesme bölgesinde beklenen sıcaklık artışı frezeleme işleminde süreksiz talaş nedeni ile etki gösterememiştir. Bu durum kesme hızına bağlı sıcaklık etkisinin kuvvet değişimini minimize etmiştir. Şekil 4c incelendiğinde ise, Fr değerinin hem ilerleme oranına hem de kesme hızına göre değişimi görülmektedir. Grafikten Fr değeri ilerleme oranı ile doğru orantılı değişim göstermiştir. Talaş hacminin artmasına bağlı olarak kesme kuvvetinin artışı beklenen

bir sonuçtur. Kesme hızının sıcaklığa bağlı etkisinin olmayışı kuvvetleri minimize ettiği kanısına varılmıştır.

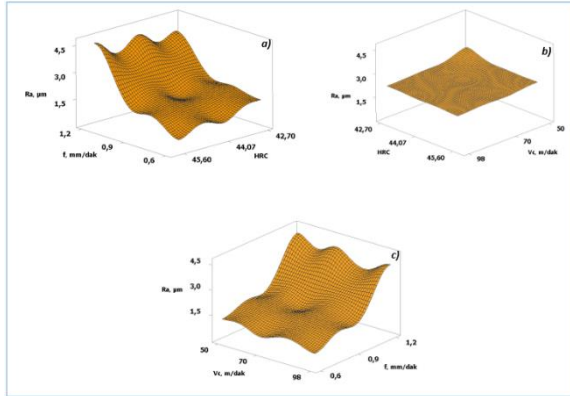


Şekil 4. Bileşke kuvvet grafikleri; a) sertlik-ilerleme oranı, b) sertlik-kesme hızı, c) kesme hızı-ilerleme oranı (Resultant force plots; a) hardness-feed rate, b) hardness-cutting rate, c) cutting speed-feed rate)

3.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

(Evaluation of Surface Roughness)

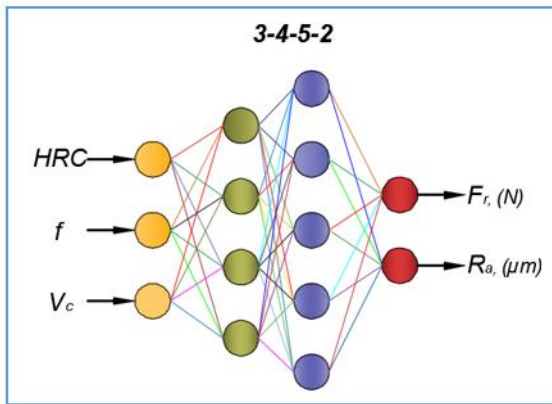
Girdi değişkenlerine göre elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına göre oluşturulan 3 boyutlu grafikleri Şekil 5'de verilmiştir. Ölçülen Ra değerleri, 0,461-4,635 μm aralığında değişmiştir. Şekil 5a'da gösterilen sertlik ve ilerleme oranına bağlı olarak oluşturulan yüzey pürüzlülüğü grafiği incelendiğinde ilerleme oranı arttıkça Ra değerinin arttığı görülmektedir. En düşük sertlik değeri olan 42,77 HRC malzemesinde en düşük ilerleme oranı ile en yüksek ilerleme oranı değerlerine göre Ra'daki artış yaklaşık %66 oranında olurken 45,6 HRC sertliğindeki malzemede ise bu oran yaklaşık %89 oranında olmuştur. Sertlik ve kesme hızına göre oluşturulan Şekil 5b incelendiğinde, en yüksek Ra değeri en düşük kesme hızında (50 m/dak) 4,635 μm olarak ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça Ra değerinde az da olsa bir azalma gerçekleşmiştir. Şekil 5c incelendiğinde ise, ilerleme oranı 0,6 mm/dev'den 1,2 mm/dev'e çıkarıldığında Ra değerinde belirgin bir artış meydana gelmiştir. Kesme hızı 50 m/dak'dan 70 m/dak'ya çıkarıldığında Ra'nın başlangıçta hafifçe düştüğü gözlenmiştir. Daha sonraki aşamalarda ise, ilerleme oranındaki artış nedeniyle Ra'da kademeli olarak artmıştır.



Şekil 5. Yüzey pürüzlülüğü grafiği; a) sertlik-ilerleme oranı, b) sertlik-kesme hızı, c) kesme hızı-ilerleme oranı (Surface roughness plot; a) hardness-feed rate, b) hardness-cutting rate, c) cutting speed-feed rate)

3.3. Modelleme Sonucu (Modeling Result)

Bu çalışmada; üç girişli, iki gizli katmanlı ve iki çıkışlı ağ modeli uygulanarak Fr ve Ra değerlerinin sonuçları modellenmiştir. Vermiküler grafitli dökme demirin yüksek ilerleme ile frezelenmesi için yapılan 27 deneyin 21 tanesi eğitim için kullanılmış olup 6 deney sonucu ise ağ yapısının test edilmesi için ayrı tutulmuştur. Deney sonuçlarının eğitimi ve ağ yapılarının belirlenmesinde Pythia yazılımından yararlanılmıştır. Yapılan modellemelerde Şekil 6'da gösterilen 3-4-5-2 ağ yapısı kullanılmıştır. Fr ve Ra sonuçları için oluşturulan modellemelerin girdi katmanı, gizli katmanı ve çıkış katmanının ağırlık değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Vermiküler grafitli dökme demirin yüksek ilerleme ile frezelenmesi sonucu elde edilen Fr ve Ra değerleri için herhangi bir deneysel çalışmaya ihtiyaç olmaksızın hesaplanabilecek en iyi YSA modellemelerinin matematiksel denklemleri Eş. 7 ve 8'de verilmiştir. Deney ve YSA modelinin eğitim/test sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 6. Kullanılan YSA modeli (The ANN model used)

Tablo 3. Seçilen modelin ağırlıkları (The weights of the selected model)

Bileşke kuvvet, (Fr) - Yüzey pürüzlülüğü, (Ra)				
$NET_{j(1-4)} = w_{1i} \cdot xHRC + w_{2i} \cdot xf + w_{3i} \cdot xVc$				
i	W_{1i}	W_{2i}	W_{3i}	W_{4i}
1	4.299687	-1.821207	1.916135	
2	-0.589665	-2.143265	-0.286139	
3	-0.875122	-0.022023	0.046007	
4	-0.052944	1.000483	-0.006077	
$NET_{k(5-9)} = w_{1i} \cdot xF_1 + w_{2i} \cdot xF_2 + w_{3i} \cdot xF_3 + w_{4i} \cdot xF_4 + w_{5i} \cdot xF_5$				
5	-0.979067	-3.974732	-1.484790	0.690837
6	-1.116290	-0.955121	-7.505080	2.320721
7	0.526570	0.964413	0.539747	0.727727
8	-2.906060	1.975210	2.023518	-1.300785
9	0.269967	0.488085	-3.913328	-1.121614

$$F_r = (1 + \exp(-4x(1.958551xF_1 + 0.050568xF_2 + 0.737112xF_3 + 1.696945xF_4 - 1.766269xF_5 - 0.5)))^{-1} \quad (7)$$

$$R_a = (1 + \exp(-4x(-1.010790xF_1 + 1.272682xF_2 + 0.275862xF_3 + 2.926367xF_4 - 1.961603xF_5 - 0.5)))^{-1} \quad (8)$$

Tablo 4. Deney ve YSA modelinin eğitim/test sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of the training / test results of the experiment and ANN model)

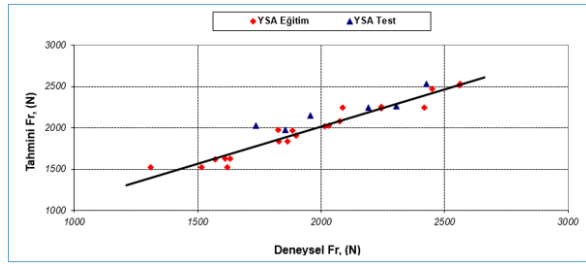
Deney No	HRC	f mm/dak	V_c m/dak	Deney Fr, (N)	YSA Fr, (N)	Deney Ra, (μ m)	YSA Ra, (μ m)
1	45.6	0.6	50	1515	1526	0.852	0.685
2	45.6	0.6	70	1310	1525	0.494	0.686
3	45.6	0.6	98	1620	1525	0.461	0.688
4	45.6	0.9	50	1825	1974	1.365	1.494
5*	45.6	0.9	70	1856	1973	1.365	1.482
6	45.6	0.9	98	1883	1970	1.321	1.466
7	45.6	1.2	50	2418	2242	4.635	4.422
8*	45.6	1.2	70	2191	2241	4.486	4.418
9	45.6	1.2	98	2087	2241	4.400	4.413
10	44.07	0.6	50	1571	1621	0.945	0.794
11	44.07	0.6	70	1611	1625	0.805	0.807
12	44.07	0.6	98	1633	1631	0.800	0.823
13	44.07	0.9	50	2016	2017	1.575	1.614
14*	44.07	0.9	70	1736	2027	1.435	1.512
15	44.07	0.9	98	2033	2028	1.384	1.492
16	44.07	1.2	50	2560	2517	4.378	4.262
17*	44.07	1.2	70	2304	2265	4.330	4.423
18	44.07	1.2	98	2244	2239	4.193	4.264
19	42.77	0.6	50	1829	1836	2.047	2.035
20	42.77	0.6	70	1863	1834	1.357	1.205
21	42.77	0.6	98	1900	1907	1.276	1.263
22	42.77	0.9	50	2243	2250	2.113	1.993
23*	42.77	0.9	70	1956	2151	1.693	1.571

24	42.77	0.9	98	2075	2083	1.633	1.483
25	42.77	1.2	50	2563	2534	4.144	4.051
26*	42.77	1.2	70	2428	2531	3.870	4.046
27	42.77	1.2	98	2450	2472	3.753	4.108

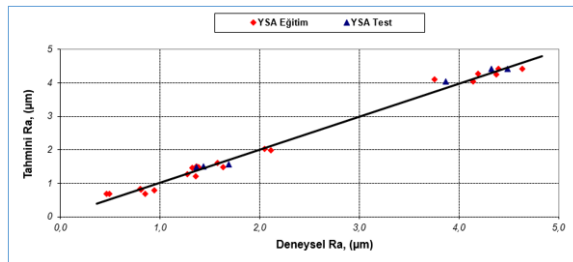
Yapılan modelleme sonucu tahmin edilen değerler ile gerçek değerler Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 6 ve 7’de görüldüğü gibi tahmin değerleri ile deney sonucu elde edilen değerler benzer sonuçlar vermiştir. Ek olarak YSA modelinin doğruluğu R2, RMS ve MAPE değeri ile kontrol edilmiştir. Fr ve Ra sonuçları için bu üç istatistik değeri sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. Ayrıca, Fr ve Ra’nın test ve eğitim sonuçları için YSA tarafından tahmin edilen deneysel değerlerin ve deney sonuçları ile karşılaştırması, Şekil 9 ve 10’da verilmiştir.

Tablo 5. Fr ve Ra için istatistiksel sonuçlar (Statistical results for Fr and Ra)

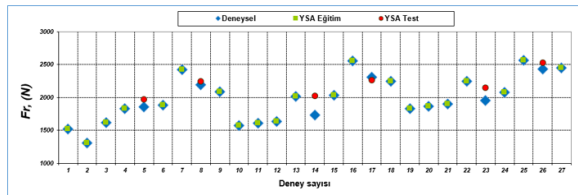
	R ² test	RMS test	MAPE test
Fr, N	0.982312	0.091904	0.008446
Ra, µm	0.994272	0.053139	7.987364



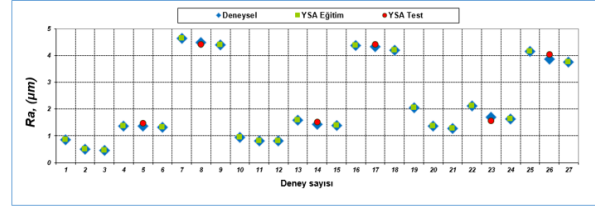
Şekil 7. Fr'nin YSA modeli sonuçlarıyla karşılaştırılması (Comparison of Fr with ANN model results)



Şekil 8. Ra'nın YSA modeli sonuçlarıyla karşılaştırılması (Comparison of Ra with ANN model results)



Şekil 9. Fr için deney, YSA eğitim ve YSA test sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of test, ANN training and ANN test results for Fr)



Şekil 10. Ra için deney, YSA eğitim ve YSA test sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of test, ANN training and ANN test results for Ra)

2. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada östempereleme işlemi ile malzemenin mekanik özellikleri değiştirilerek farklı sertliklerde numunelerin yüksek ilerleme ile frezelenmesi sonucu elde edilen bileşke kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün yapay sinir ağları ile modellenmesi yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Östempereleme süresindeki artış, malzemenin sertliğinin azalmasına neden olmuştur. Düşük östempereleme süresinin malzemenin işlenebilirliği üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir.
- En düşük bileşke kuvvet 45.6 HRC sertliğinde 0.6 mm/dev ilerleme oranında ve 70 m/dak kesme hızında 1310 N olarak elde edilmiştir.
- En düşük yüzey pürüzlülüğü 45.6 HRC sertliğinde 0.6 mm/dev ilerleme oranında ve 90 m/dak kesme hızında 0.461 µm olarak elde edilmiştir.
- Bu çalışma ile YSA yöntemini kullanarak matematiksel modeller oluşturularak bileşke kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının tahmin edilebileceğini kanıtlamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

REFERENCES (KAYNAKLAR)

- [1] J. Keller, V. Fridrici, Kapsa, P., S. Vidaller, and J. F. Huard, "Influence of chemical composition and microstructure of gray cast iron on wear of heavy duty diesel engines cylinder liners," *Wear*, vol. 263, no. 7-12, pp. 1158-1164, September 2007. Doi:https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.01.091
- [2] G. Uzun, "Analysis of grey relational method of the effects on machinability performance on austempered vermicular graphite cast irons," *Measurement*, vol. 142, pp. 122-130, August 2019.

Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.04.059>

[3] A. Mavi, and I. Korkut. "The effects of austempering temperature and time on the machinability of vermicular graphite iron," *Materials Testing*, vol. 56.4 pp. 289-293, September 2014. Doi: <https://doi.org/10.3139/120.110559>

[4] H. Zhou, Q. C. Guo, P. Y. Lin, X. L. Zhang, and L. Q. Ren, "Influence of H13 steel unit on wear behavior of vermicular cast iron," *Applied Surface Science*, vol. 255, no. 5, 3394-3399, December 2008. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.09.065>

[5] D. Holmgren, "Review of thermal conductivity of cast iron," *International Journal of Cast Metals Research*, vol. 18, no. 6, pp. 331-345, November 2005. Doi: <https://doi.org/10.1179/136404605225023153>

[6] M. X. Zhang, J. C. Pang, Y. Qiu, S. X. Li, M. Wang, and Z. F. Zhang, "Influence of microstructure on the thermo-mechanical fatigue behavior and life of vermicular graphite cast irons," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 771, 138617, January 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138617>

[7] E. Öztürk, and M. Yıldırım, "Östemperleme Sıcaklık ve Süresinin Östemperlenmiş Sünek Dökme Demirlerin Mikro Yapı ve Sertliğine Etkisi". *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 7, no. 3, pp. 604-611, September 2019. Doi: <https://doi.org/10.36306/konjes.613878>

[8] S. H. Ryu, D. K. Choi, and C. N. Chu, "Roughness and texture generation on end milled surfaces," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 46, no. 3-4, pp. 404-412, March 2006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.05.010>

[9] D. Biermann, P. Kersting, T. Surmann. "A general approach to simulating workpiece vibrations during five-axis milling of turbine blades. CIRP Ann," *Manuf Technol* vol. 59, no. 1, pp.125–128, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.057>

[10] R. Hense, C. Wels, P. Kersting, U. Vierzigmann, M. Löffler, D. Biermann, and M. Merklein, "High-feed milling of tailored surfaces for sheet-bulk metal forming tools," *Production Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 215-223, September 2015. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11740-014-0597-0>

[11] F. J. Amigo, G. Urbikain, O. Pereira, P. Fernández-Lucio, A. Fernández-Valdivielso, and L. L. de Lacalle, "Combination of high feed turning with cryogenic cooling on Haynes 263 and Inconel 718 superalloys," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 58, pp. 208-222, October 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.08.029>

[12] A. Zabel, T. Surmann, A. Peuker "Surface structuring and tool path planning for efficient milling of dies," In: 7th international conference on high speed machining proceedings, *Bamberg*, pp 155–160, 2008.

[13] W. Tillmann, D. Stangier, L. Hagen, D. Biermann, D. Freiburg, and A. Meijer, "Tribological investigation of surface structures processed by high-feed milling on HVOF sprayed WC-12Co coatings," *Surface and Coatings Technology*, vol. 395, 125945, August 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125945>

[14] W. Tillmann, D. Stangier, I. A. Laemmerhirt, D. Biermann, and D. Freiburg, "Investigation of the tribological properties of high-feed milled structures and Cr-based hard PVD-coatings," *Vacuum*, vol. 131, pp. 5-13, September 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2016.05.024>

[15] T. Zhang, Z. Liu, X. Sun, J. Xu, L. Dong, & G. Zhu, "Investigation on specific milling energy and energy efficiency in high-speed milling based on energy flow theory," *Energy*, vol. 192, 116596, February 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116596>

[16] Y. Lin, S. He, D. Lai, J. Wei, Q. Ji, J. Huang, and M. Pan, "Wear mechanism and tool life prediction of high-strength vermicular graphite cast iron tools for high-efficiency cutting," *Wear*, vol. 454, 203319, August 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203319>

[17] V. Mundada, & S. K. R. Narala, "Optimization of milling operations using artificial neural networks (ANN) and simulated annealing algorithm (SAA)," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 4971-4985, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.075>

[18] R. Çakıroğlu, S. Yağmur, A. Acır, and U. Şeker, Modelling of Drill Bit Temperature and Cutting Force in Drilling Process Using Artificial Neural Networks, pages: 333-340. *Politeknik Dergisi*, vol. 20, no. 2, pp.

333-340, April 2017. Doi:
<https://doi.org/10.2339/2017.20.2.333-340>

[19] J. G. Parmar, K. G. Dave, A. V. Gohil, and H. S. Trivedi, "Prediction of end milling process parameters using artificial neural network," *Materials Today: Proceedings*. Vol. 38, Part 5, pp. 3168-3176, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.644>

[20] M. Günay, A. Kaçal and Y. Turgut , "Optimization of Machining Parameters in Milling of Ti-6Al-4V Alloy Using Taguchi Method", *Engineering Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 428-440, Feb. 2011. Doi:10.12739/nwsaes.v6i1.5000067046

[21] Y. Altintas, and A. A. Ber, "Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design," *Appl. Mech. Rev.*, vol. 54, no. 5, B84-B84, September 2001. Doi: <https://doi.org/10.1115/1.1399383>

[22] Ç. Elmas. Yapay Sinir Ağları. Ankara: Seçkin Yayıncılık, pp.192, 2003

[23] E. Sütçü, "Kaynaklı İmalat Operasyon Sürelerinin Matlab Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, vol. 4, no. 1, pp. 16-24, 2018. <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2018.04.01.003>

[24] İ. Şahin , "Yapay Sinir Ağları İle Al/Sic Kompozit Malzemenin Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmini", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 29, no. 1, pp. 209-216, Mar. 2014, doi:10.17341/gummfd.82690

Kaynak Yapımında Kullanılan Robotik Kolun Maliyetinin Azaltılması İçin Bir Öneri

Farshid KHOSRAVI^a, Ebucihat AKTAŞ^a, Evren CANTÜRK^a, Mehmet AKYEMİŞ^a

^aBartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye.

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 24.03.2021
Kabul: 24.04.2021

Anahtar Kelimeler:
Kaynak robotu, robot
kol, elektrot kaynağı

ÖZ

Bu çalışmada kaynak yapımı için tasarlanmış bir robotik kolun maliyetinin azaltılması için bir öneri sunulmuştur. Son yıllarda endüstrinin hedefi hem işgücünün artırılması hem de maliyetin azaltılmasıdır. Bu çalışmada robotik kolların uzuvlarının hafifletilmesi ve daha hassas hareket mekanizmasının oluşturulması amaçlanmıştır. Bunun için, Ansys Workbench programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş ve robotik kolun uzuvları olan sigma profilleri için Al6063 0 ve Al6063 T-5 malzemelerinin bir karşılaştırması yapılmıştır. İlk olarak malzemelerin sınır koşulları belirlenip her parça için statik analiz gerçekleştirilmiş olup çıkan veriler karşılaştırılmıştır. Robotik kolların uzuvları için kullanılacak malzeme olarak sigma profil (Alüminyum 6063) tercih edilmiştir. Sigma profilin korozyona karşı dirençli olmasından dolayı boyama işlemine gerek duyulmamaktadır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.08>

A Recommendation for Reducing the Cost of the Robotic Arm Used in Welding

ARTICLE INFO

Received: 24.03.2021
Accepted: 24.04.2021

Keywords:
Welding robot, robot
arm, electrode welding

ABSTRACT

In this study, reducing the cost of a robotic arm designed for welding is discussed and its application is shown. The goals of the industries in recent years are both increasing the labour and reducing the cost. The aim of this study is to lighten the limbs of the robotic arms and a more sensitive movement mechanism. According to this aim, an analysis was performed using the Ansys Workbench program and a comparison of Al6063 0 and Al6063 T-5 materials for sigma profiles, which are the limbs of the robotic arm, was made. Firstly, the boundary conditions of the materials were determined and a static analysis was performed for each part, and the obtained results were compared. Here, Sigma profile (Aluminum 6063) was preferred as the material to be used for the limbs of the robotic arms. Since the Sigma profile is also resistant to corrosion, painting is not required.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.01.08>

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Yaşadığımız dönemde çalışma verimliliğini arttırmak ve kaliteli parça üretmek sanayinin amaçlarındandır. Bu çalışmaların daha hızlı, daha kaliteli ve minimum düzeyde hatayla yapılabilmesi

için otomasyon sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerin en yaygın kullanılabilecek olanı ise robotik koldur.

Literatürde robotik kollar ile ilgili bir dizi çalışma yapılmıştır. Bunlar aşağıda kısaca sıralanmıştır. Isık ve Çetin [1] bir robotik kolun doğal afet durumunda hastalara ilaç ve yiyecek yardımında bulunma gibi

*Sorumlu yazar: fmaleki@bartin.edu.tr

To cite this article: F. Khosravi, E. Aktaş, E. Cantürk and M. Akyemiş, "A Recommendation for Reducing the Cost of the Robotic Arm Used in Welding", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.1, pp. 67-80, 2021. doi:10.30855/gmbd.2021.01.08

hizmetlerde kullanımını amaçlamışlardır. Çalışmada mikro denetleyiciler kullanılarak düşük maliyetli otonom mobil tasarlanmışlardır. Mikro denetleyici olarak Arduino ve Raspberry kartları tercih edilmiştir. Raspberry kartı ve Pi kamera yardımıyla aktiviteler başka bir bilgisayara aktarılmıştır. Otonom hareket edebilmesi için GPS kullanılmıştır

Rüstemli vd. [2] kullanım alanları çoğaldığı için, iki eksenli robot kol tasarlanmışlardır. Tasarımda step motorları ve motor sürücü devreleri kullanılmıştır. Ayrıca kolay programlanabilme özelliğinden dolayı paralel port üzerinden kontrol sağlanmıştır. Çalışma bölgesinde uygun olmayan moment değerlerinde adım atlama hatası alınabileceği fakat uygun yüklerde herhangi bir pozisyon kaybı olmayacağı belirtilmiştir. Kolun en az 3 eksenli olmasının da çalışma alanı açısından faydalı olacağı da çalışmada belirtilmiştir.

Bozdemir ve Adıgüzel [3] robot kollarının insan gücü yerine kullanılmasının yaygınlaşması üzerine, PUMO tipi robot kol ile insan kol hareketlerini karşılaştırıp, yeni bir robot kol üzerinde omuz tasarlanmışlardır. Çalışmada önce insan omzunun anatomik yapısı incelenmiş ve omuzun küresel mafsallı yapısında ve üç eksen de hareket kabiliyetine sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmada robot kol insan kol hareketlerini yapabilecek şekilde karmaşık yapıya sahip mafsallarla desteklenmiştir.

Yavuz ve Hocaoğlu [4] Robot kolun uç nokta konumu üzerine yaptıkları çalışmada ileri kinematik analizlerinin trigonometrik fonksiyonlar ile büyük mertebeli matrislerle yapılabileceğini ifade etmişlerdir. Çalışma sonunda, yapay sinir ağlarının robot kolların kinematik analizinde güçlü bir alternatif olabileceğini ve hızlı sonuçlar alınabileceği ifade edilmiştir.

Tonbul ve Sarıtaş [5] Edubot adını verdikleri robotun uç noktasının gideceği konumun koordinatlarını (x, y, z) ve başlangıç durumundaki kol açısını girmek suretiyle, 4 farklı eklemden oluşan açıları $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$, ters kinematik problem olarak tanımlamışlar ve Matlab 5.02 yardımıyla çözmüşlerdir. Ayrıca hareketin düzgün ve titreşimsiz olabilmesi için yörünge planlaması yapmışlar, Bunu için konum, hız, ivme denklemlerinden yararlanmışlardır.

Kayışlı ve Uğur [6] üç serbestlik derecesine sahip bir robotun işlemcisine değişik yükler uygulayarak herhangi bir giriş sistem bozukluğu olup olmadığını araştırmışlardır. Bu yükleri test etmek için PID kontrol yöntemi ile bulanık mantık yöntemini tercih

etmişlerdir. Kontrol ortamında tasarım ve simülasyon gerçekleştirilmiş olup sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Ersin vd. [7] kol kasında güç kaybı yaşayan insanlar için, günlük işlerini kısmen yapabilecek şekilde alüminyum malzemeden giyilebilir robot kol tasarlanmışlardır. Eklemlere ve dirseklere servo motorlar monte etmişlerdir. Tasarım SolidWorks yazılımıyla yapılmış olup, kol, el ve omuz yükleri emniyet katsayısı dikkate alınarak 250N olarak dikkate alınmıştır. Bu hesaplar ışığında tork, güç hesapları yapılmış olup omuz, el ve kol için maksimum çalışma alanı belirlenmiştir.

Mühürücü [8] beş eklemlilik mafsallı robot kolunun ileri kinematik analizlerini yapmıştır. Bunu yaparken kolun başlangıç eklemleri ve hareket eklemleri açı girdileri yardımıyla robot elin erişim noktaları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda her eklemler için 3x3 boyutlu matrisler tanımlanmıştır.

Coşkun ve Sümbül [9] uzaktan kumanda yardımıyla kontrol edilebilir bir robot tasarlanmışlardır. Kumanda sistemi için klavye tercih edilmiştir. Klavye bilgilerini yorumlamaya sahip mikro denetleyici LCD ye bağlıdır. Robot üzerinde birçok algılayıcı mevcuttur. Robot üzerinde bulunan bu algılayıcılar gelen verileri ana kart üzerinden okuyup yorumlamaktadır. Taşkaya vd. [10] doğrudan ulaşılamayan bölgelerden bilgi toplama ve müdahale görevini üstlenecek bir makine modellemişlerdir. Çalışmada robotik kola kamera ile görüş sağlanıp bilgisayar ile kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Robotik kol kamera sayesinde bulunduğu ortamı görebilmekte ve bilgisayar sayesinde istediği hareketi yaptırabilmektedir. Buradaki hedef robotik kolun istenen her fonksiyona cevap verebilecek nitelikte olmasıdır.

Başka bir çalışmada Gezin robot adı verilen bir yön veya konum boyunca otomatik olarak hareket edebilen serbest programlanabilir bir araç geliştirilmiştir [11]. Kullanıcının bilgisayar yardımı ile girdiği karmaşık komutlar temel hareket komutlarına dönüşmekte ve elektronik denetim kartlarına iletilmektedir. Bilgisayar ile mekanik sistem arasında arayüz işlevi gören elektronik denetim kartı bilgisayardan aldığı verileri mekanik sistem için gerekli elektriksel işaretlere dönüştürmektedir. Bu dönüştürme ile birlikte hareket organları komutlarını yerine getirmektedir.

Başka bir çalışmada ise eklemler sayısı azaltılmış bir robotik kolun Kinect 360 yardımı ile insan kolu

hareketlerini taklit edebilmesi sağlanmıştır [12]. Burada robotun çalışacağı ortam bir canlı üzerinde denenerek tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada önceden tasarlanan robotik kollar kinect sensörü ile anlık kontrol edilebilmektedir.

Kinect'in algıladığı kol hareketleri, daha önceden tasarlanan matematiksel verilerin yazılıma aktarılmasıyla daha sonra da Arduino kart ile servo motorların sürme işlemi ile sağlanmaktadır. Burada Joystick ya da kumanda kollarına verilecek olan görevlerin önceden belirlenmiş olması gerekmektedir. Başka bir çalışmada 4 serbestlik dereceli bir robot kolu için bulanık yapay sinir ağı tabanlı hesaplanan tork kontrolü önerilmiştir [13]. Bu tür robotik kollar çoğunlukla endüstriyel uygulamalarda kullanıldığından bunların yüksek hareket ve hassasiyet kabiliyetine sahip olmaları istenir. Yüksek hızda çalışma ve robot kollarına uygulanan dış yükler robot kontrolünde önemlidir. Bu nedenle robotun verilen yörüngeleri en iyi şekilde takip edebilmesi için hesaplanan tork yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntemin bulanık ağırlarıyla birleşimi, geri beslemeli kontrolün iyileştirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar önerilen kontrol yönteminin başarılı olduğunu ispatlamıştır.

Genç [14] talaş kaldırma işleminde kullanılacak bir robotik kol modellemiştir. Çalışmada hedef çapağın ürün kalitesini düşürmesi tehlikesinin ve çevreye verdiği zararların bir robotik kol ile azaltılmaktadır. Diğer bir çalışmada iki uzuvlu eksenle hareket edebilen esnek bir robotik kolun matematiksel işlem şablonu tasarlanarak buna uygun deney ortamı hazırlanmıştır [15]. Model olarak Bernoulli-Euler giriş modeli kullanılmış olup Sanal uzuvlar, Pasif eklemler yöntemi ile tasarlanmıştır. Yazılımın denenebilmesi için bilgisayar ortamında örnek bir model oluşturularak, Yapay Sinir Ağları kullanılarak model çalıştırılmıştır. Bu yöntem ilk defa bu çalışmada uygulanmıştır.

Yüksel vd. [16] 2-DOF PID kontrolör ile 4 serbestlik dereceli robot kolu uç elemanı pozisyon kontrolü yapmışlardır. Robot kolun her bir uzvunun hareketi için DC motoru kullanılmış olup sistem Matlab/Simmechanics ortamında modellenmiştir. DC motorun transfer fonksiyonu elde edilerek robotik kol hem PID kontrolör hem de 2-DOF PID kontrolör ile kontrol edilmiştir. Kontrolörlerin parametreleri parçacık sürü optimizasyon (PSO) yöntemi ile optimize edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 2-DOF

PID kontrolör performansının PID kontrolörün performansından daha iyi olduğu saptanmıştır.

Görel ve Altaş çalışmalarında [17] iki eksenli bir manipülatörün dairesel iş yörüngesi üzerindeki hareketini bulanık mantık denetim kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada yazılım algoritmasını oluşturmak için MATLAB/SIMULINK kullanılmıştır. Tasarlanan sistemin performansı PI denetleyicisinin performansı ile karşılaştırılarak BMD denetleyicinin uygunluğu irdelenmiştir. Burada motor olarak sürekli mıknatıslı DC Motor tercih edilmiştir.

Başka bir çalışmada dinamik bir esnek robot modelinin karmaşıklığı nedeniyle, basit bir kontrol cihazı tasarlanmıştır [18]. Ayrıca robotik kolun yüksek bir yük taşıma kapasitesine sahip olması gerektiğinden kontrol sisteminin sağlamlığı çok önemlidir. Kapalı döngü sisteminin kararlılığı Lyapunov teorisi dikkate alınarak gösterilmiştir.

Başka bir çalışmada ise kaynak, iz bölgesine tanımlanarak fuzzy kontrol algoritması yardımıyla tanımlanan bölge hesaplanmıştır. [19]. Koordinatlardaki değişimler bulanık mantık kontrol algoritması ile tahmin edilmiştir. Ani değişim durumunda, hata değişim miktarı bulanık mantık algoritması ile hesaplanarak hareket elemanlarına sinyal gönderilmiş ve bu durumda elemanların hızları değişmiştir.

Bu çalışmalarda kaynak robotlarındaki eksen sayısı artırılarak yeni bir yazılım oluşturulmuş ve genellikle malzeme olarak yapısal çelik, dökme demir vb. malzemeler tercih edilmiştir.

Bu çalışmada ise literatürde kullanılan malzemelerden farklı olarak Al6063 0 malzemesi kullanılmış ve böylece maliyetin azaltılması ve enerji tasarrufunun gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Robotik kol uzvunda malzeme olarak Al6063 0 seçilmiştir. Bu malzemenin tercih edilmesinin sebebi korozyona karşı dirençli olup boyanmasına gerek olmamasıdır. Ayrıca bu malzeme kolay montajlanabilme özelliğine sahiptir. Çalışmada karşılaştırma için Al6063 T-5 malzemesi seçilmiştir. Tablo 1'de Al6063 0 ve Al6063 T-5'in mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1 Al-6063 0 ve Al-6063 T-5 mekanik özellikleri (Mechanical properties of Al-6063 0 and Al-6063 T-5) [20]

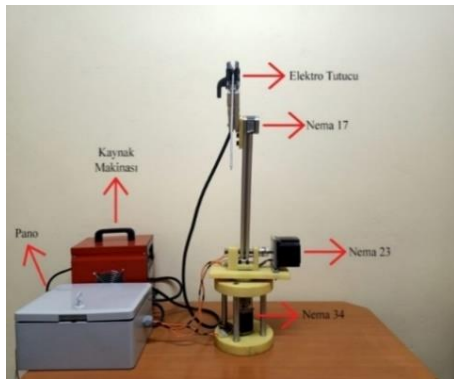
	Elastik Modülü (N/mm ²)	Poisson Oranı	Kütle Yoğunluğu (kg/mm ³)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Gerilme Mukavemeti (N/mm ²)
Al-6063 0	6900	0.33	25800	50	90
Al-6063 T-5	6900	0.33	2710	145	185

Robotik kol tasarlanırken ISO 8373 standartlarına uyulmuştur. (ISO 8373: Üç ve daha fazla kodlanabilir eksene sahip olan, otomatik kontrollü, çok kullanışlı manipulatördür [21].)

Robotik kol 3 eksenenden oluşmuştur. Tablo 2’de çalışmada kullanılan parçalar ve adetleri verilmiştir. Şekil 1’de kolun montaj hali ve Şekil 2’de ise kolun mafsıl açıları gösterilmiştir. Statik analiz, analizini yaptığımız parça üzerindeki yüklerin ve kısıtlamaların, lineer olarak tanımlanmış malzeme özellikleri ile oluşturduğu anlık çözümlerdir. Statik analiz sonuçları anlık sonuçlardır. Bu analize göre parçalarımıza gelen gerilmelerin dağılımı görülmektedir.

Tablo 2. Robotik kol tasarımında kullanılan parçalar (Parts used in the robotic arm design)

Kullanılan parçalar	Adet
Alt tabla	1
Robotik kolun y eksenine hareketini sağlayan mil	1
Üst tabla	1
Alt ve üst tablayı birleştiren mil	4
30x30 sigma profil 200 mm robotik kolun ilk uzvu	1
30x30 sigma profil 400 mm robotik kolun ikinci uzvu	1
Elektrot tutucu	1



Şekil 1. Robotik kolun montaj hali (Assembly of the robotic arm)



Şekil 2. Robotik kolun mafsıl ve açıları (Joints and angles of the robotic arm)

2.1. Mikro Denetleyici ve Yazılım (Micro Controller and Software)

Mikro denetleyici olarak robotik kolda Atmega328 kullanılmıştır. Mikro denetleyicinin görevi kısa olarak gelen bilgileri bilgisayardan alıp seri bilgiler halinde step motorlara iletmektir. Yazılımda ise Arduino yazılımı tercih edilmiştir. Bu yazılımın seçilmesinin temel sebebi mikro denetleyicisinin çalışma prensibine uygun bir kütüphanesinin olmasıdır. Ayrıca arduino çevresel modüller sayesinde devre kurmayı daha basit hale getirmektedir.

2.2. Step Motorlar (Stepper Motors)

Step motorlar (Şekil 3) elektrikten güç alarak dönme hareketi sağlayan, girişlerine pals sinyalleri uygulanarak dönme hareketi meydana getiren aygıtlardır. Step motorlar bu dönme hareketini adımlamalı bir biçimde ve kontrollü olarak yaparlar ve son derece hassastırlar.

Step motor, genellikle bir rotordan (kalıcı mıknatıs), stator sargılarından ve rulmanlardan oluşur. Rulmanlar, rotora bağlı şaftın hareketinin

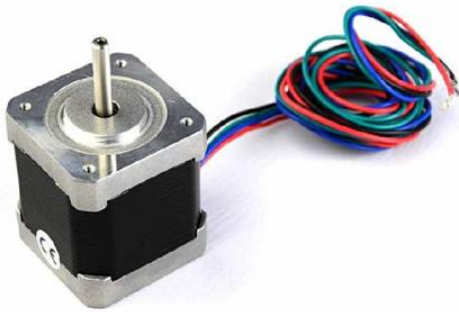
rahatlığını sağlarlar. Sargıları belirli bir sırayla adım adım harekete geçirip, içinden bir akım geçmesine izin verdiğimizde, statoru mıknatıslamak suretiyle elektromanyetik itmeler oluştururlar. Oluşan bu her elektromanyetik itmeye step denir ve bu da step motorların çalışma prensibini oluşturur.

Motorun dönme miktarı, bobinlere sırasıyla verilen pals sinyallerine bağlıdır. Step motorlarda motorun yapısına bağlı olarak dönme açısı değişkenlik gösterir. Genellikle 90° , 45° , 18° , 7.5° , 1.8° değerlerinde motorlar bulmak mümkündür. Daha küçük açı değerlerinde motorlar da olabilir. Bu ise maliyetleri arttıran bir durumdur. Açı değeri küçüldükçe motor maliyetleri artacağından bu açı değeri, tasarımlar yapılırken göz önüne alınması gereken önemli bir parametredir.

Step motorların hassas konumlandırılabilmesi mümkündür. Yine hassas olarak hız ayarlamaları yapılabilir. Düşük devirlerde bile yüksek döndürme etkisine (torka) sahip olmaları, avantajları olarak söylenebilir. Step motorlarda adım açısı ve adım sayısı şu şeklide hesaplanır. 360° dönen step motorlarda gerekli adım açısı (θ), faz sayısının (F) ve motordaki rotorun çıkıntılı kutup sayısı (K) olmak üzere;

$$\theta = \frac{360^\circ}{F.K} \quad (1)$$

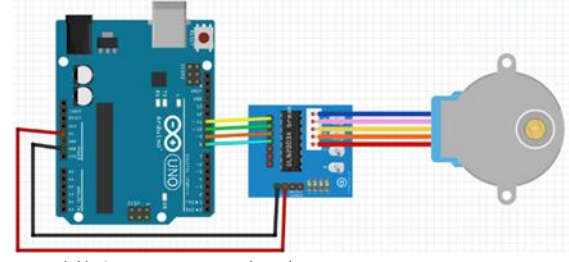
ile, adım sayısının (S) ise adım açısı (θ) olmak üzere, $S = \frac{360^\circ}{\theta}$ ile hesaplanır.



Şekil 3. Step motor (Stepper motors)

Bu çalışmada step motorlar, konumlandırmada ve hız kontrolünde kolaylık sağladıklarından ve yüksek tork elde edilebildiğinden tercih edilmişlerdir. Şekil 4'te örnek bağlantı şemasında, arduino, motor sürücü ve step motor bağlantısı gösterilmiştir. Çalışmamızda 1 adet Arduino uno ile

3 adet step motor ve her bir motor için 1 adet olmak üzere toplam 3 adet motor sürücü planlanmıştır. Tabla kısmında (1 adet), üst tabla ile 1. uzun bağlantısında (1 adet), 1. ve 2. uzuvların bağlantısında (1 adet) olacak şekilde 3 step motor kullanılmıştır. Yine, değerleri 8.5A-24V ve 10.5A-24V olmak üzere 2 adet güç adaptörü de planlanmıştır. Güç adaptörlerinin biri (8.5A-24V) Nema 34 motor için, diğeri (10.5A-24V) Nema 17 ve Nema 23 step motorlar için tasarlanmıştır.



Şekil 4. Step motor bağlantı şeması (Stepper motor connection diagram)

Kullanılan Motorlar, motor sürücüleri ve adaptörlerin özellikleri, NEMA 34 Step Motor 4.5 Nm 86Hs45 (1.8° adım açılı, 200 adımlı), Nema 23 Step motor 2.2 Nm 57Hs22 (1.8° adım açılı, 200 adımlı), Nema 17 Step Motor 0.47 Nm (1.8° adım açılı, 200 adımlı), 3 adet M542 (Cwd556) Step Motor Sürücüsü Nema 34 ve güç adaptörleri 10.5A-24V ve 8.5A-24V şeklindedir.

2.3. Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis)

Bu çalışmada robotik kolların uzuvlarının hafifletilmesi ve daha hassas bir hareket mekanizması geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, Ansys Workbench programı kullanılarak statik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada robotik kolun uzuvları için sigma profilleri Al6063 0 ve Al6063 T-5 malzemelerinin kullanılması durumları için bir karşılaştırma yapılmıştır.

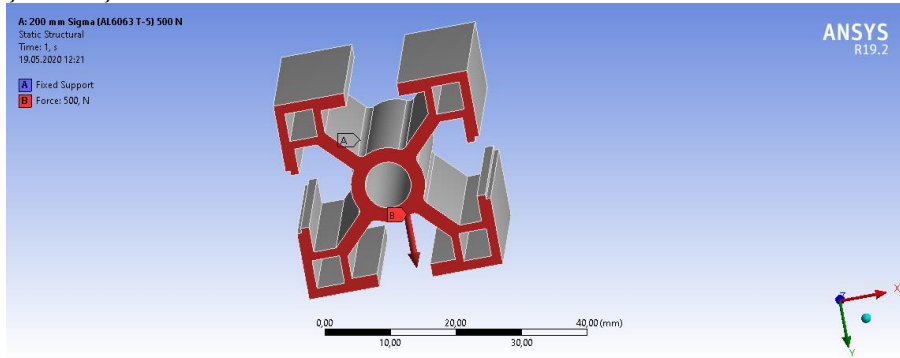
3. BULGULAR (RESULTS)

3.1 200 mm Sigma Profilin Statik Analizi (Static Analysis of 200 mm Sigma Profile)

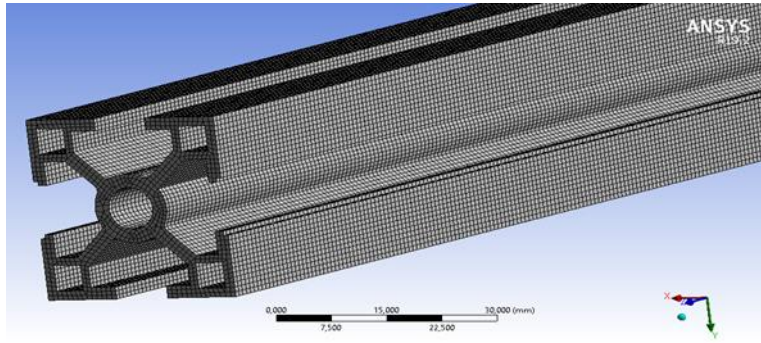
Parçamız Şekil 5'de görüldüğü üzere alt tablo ile montaj olacağı bölgeye sabitlenmiştir. Step motor ağırlığı ve 400 mm sigma profil ağırlıkları toplamı 20kg'dır. Emniyet katsayısını 2.5 olarak uygulanan kuvvet 500 N olmaktadır. Şekil 5'teki gibi her iki taraftan compenant şeklinde uygulanan kuvvet Y

ekseninde, -500N değerinde uygulanmıştır. Alt tablo ile montajı olacağı bölge sabitlenmiştir.

Malzeme özellikleri için Tablo 1'den yararlanılmıştır. Mesh kalitesi olarak Local Mesh uygulanmıştır ve multizone mesh tercih edilmiştir (Şekil 6). Mesh elemanları ise dörtgen ve piramit şeklinde tercih edilmiştir. Parçamızda çok fazla keskin köşeler bulunduğu için bu keskin köşelerde dörtlü mesh yetersiz kalmıştır. Bu nedenle dörtlü ve piramit mesh kullanılmıştır. Ayrıca 123200 tane mesh elemanı çıkarılmıştır.



Şekil 5. 200 mm sigma profilin sabitlenme noktası ve kuvvet uygulanma noktaları (Fixing point and force application points of 200 mm Sigma profile)



Şekil 6. 200 mm sigma profilin Mesh görüntüsü (Mesh of 200 mm Sigma profile)

Robotik kolumuzun ilk uzvuna baktığımızda Şekil 8'de gördüğümüz gibi Al6063 T-5 ve Al 6063 0 sigma profillerde 0.75 mm maksimum yer değiştirme görülmüştür.

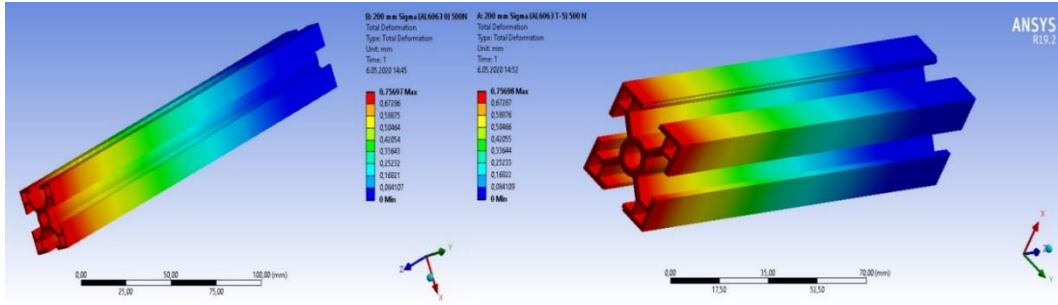
Mesh Metric	Skewness
Min	2,5675e-003
Max	0,55634
Average	0,19126
Standard Deviation	0,10326

Şekil 7. 200 mm sigma profilin Skewness değeri (Skewness Value of 200 mm Sigma profile)

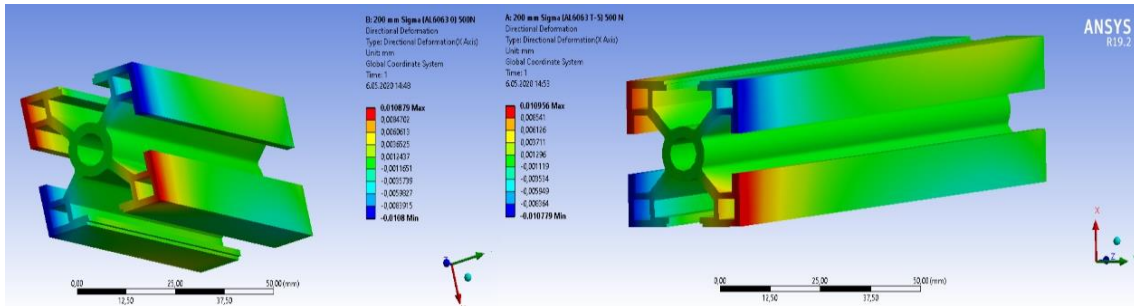
$$Skewness = \frac{Optimum\ Eleman\ Boyutu - Aktif\ Eleman\ Boyutu}{Optimum\ Eleman\ Boyutu} \quad (2)$$

Mesh kalitemizin ne kadar iyi olduğunu görebilmek için skewness değerine bakılmıştır kullanılan modelde skewness değeri 0.55 olarak bulunmuştur (Şekil 7). Skewness değeri Denklem 2'den hesaplanmaktadır.

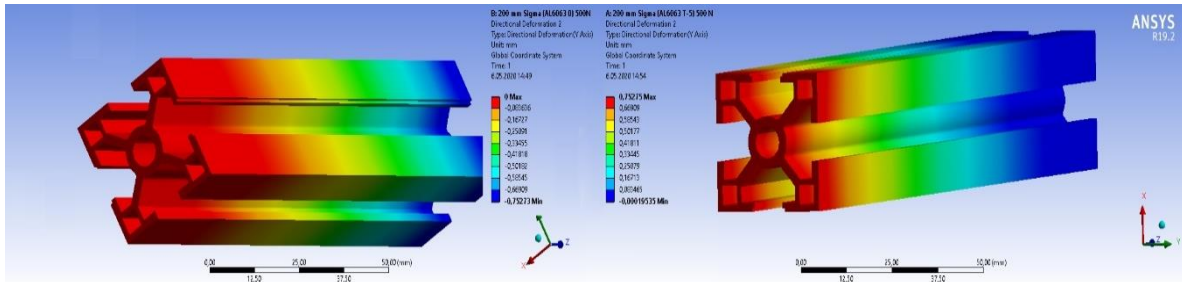
Aynı zamanda X ve Y eksenlerinde görüldüğü üzere Al6063 T-5 malzemesi ile Al6063 0 malzemesi aynı oranda deformasyon yapmıştır. Şekil 9'dan X eksenindeki maksimum deformasyonun 0.010879 mm olduğu, buna karşın Şekil 10'dan Y ekseninde maksimum deformasyonun Al6063-0'da sıfır ve Al6063 T-5'de 0.752275mm olduğu görülmektedir.



Şekil 8. 200 mm sigma profillerin total deformasyonları (Total deformation of 200 mm Sigma profiles)



Şekil 9. 200 mm sigma profilin X ekseninde toplam deformasyonları (Total deformation of 200 mm sigma profile in X)



Şekil 10. 200 mm sigma profilin Y ekseninde toplam deformasyonları (Total deformation of 200 mm sigma profile in Y)

Robotik kolun uzvundaki gerilmelere bakıldığında ise sigma profilinin her iki noktada da tam bağlantı noktasındaki radius kısmının alt tarafında maksimum gerilmenin meydana geldiği görülmektedir. Gerilmele bakıldığında Şekil 11'de görüldüğü üzere AL6063-0 ve AL6063-T5 sigma profillerin maksimum gerilmelerinin 62Mpa olduğu görülmektedir.

Tablo 3. 200 mm sigma profillerin yatak kuvvetleri (Reaction forces of 200mm sigma profiles)

	X	Y	Z
AL 6063 0	0	-500 N	0
AL6063 T-5	0	-500 N	0

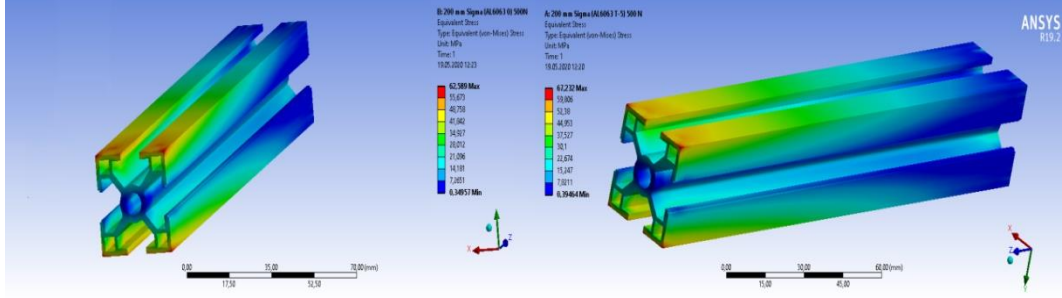
200 mm sigma profilinin sabitlendiği bölgedeki yatak kuvveti sonuçları Tablo 3'de görülmektedir.

Sonuçlara bakıldığı zaman toplam kuvvetin aynı olduğu görülmektedir. Şekil 12'ye baktığımızda ise yatak kuvvetlerinin aynı yönde olduğu görülmektedir.

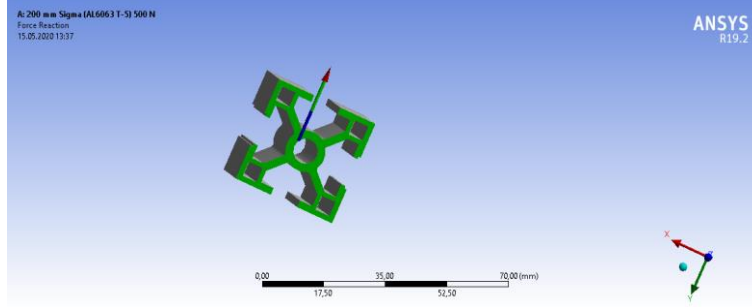
Sigma profilin sabitlendiği bölgede elde edilen momentlerin sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Elde sonuçlardan toplam momentin aynı olduğu görülmektedir. Şekil 13'te ise momentlerin yönü görülmektedir.

Tablo 4. 200 mm sigma profillerin yatak momentleri (Reaction moments of 200 mm sigma profiles)

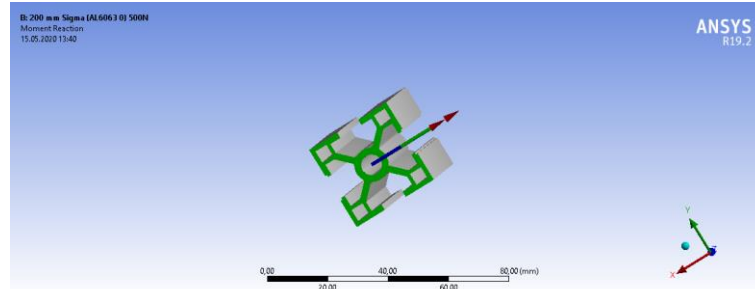
	X	Y	Z
AL 6063 0	0	0	-0.4303 N.mm
AL6063 T-5	0	0	-0.40363 N.mm



Şekil 11. 200 mm sigma profilin Von-Mises gerilmeleri



Şekil 12. 200 mm sigma Al6063 0 ve Al6063-T5'in yatak kuvvetlerinin yönü (Direction of reaction forces of 200 mm sigma Al6063 0 and Al6063-T5)



Şekil 13. 200 mm sigma Al6063 0 ve 6063-T5'in momentlerinin yönü (Direction of moments of 200 mm sigma Al6063 0 and 6063-T5)

3.2 400 mm Sigma Profilin Statik Analizi (Static Analysis of 400 mm Sigma Profile)

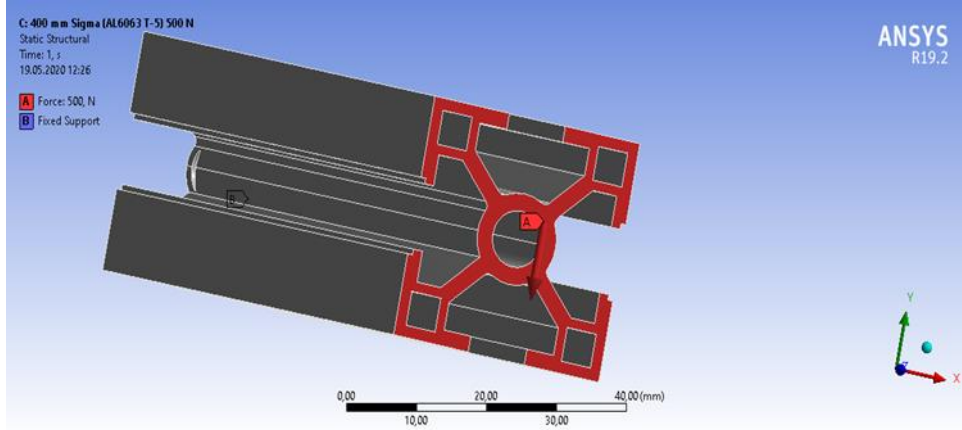
400 mm uzunluğundaki sigma profilin analizinde kullanılan malzeme aynıdır. Tablo 1'de malzeme özellikleri verilmiştir. Şekil 14'deki gibi iki sigma profilin bağlanacağı yerden sabitlenmiş ve Şekil 8'deki gibi her iki taraftan component şeklinde uygulanan kuvvet Y ekseninde -500 N değerinde uygulanmıştır.

İlk parçamızda da olduğu gibi Mesh kalitesi olarak Local Mesh uygulanmış ve multizone mesh tercih edilmiştir. Parçamızda aynı zamanda step motorların bağlantı bölgelerinde olduğundan Tetra mesh kullanılmamaktadır. Bu nedenle Altigen ve Piramit mesh kullanılmıştır (Şekil 15). Ayrıca bu parça daha uzun olduğundan keskin elemanlardaki

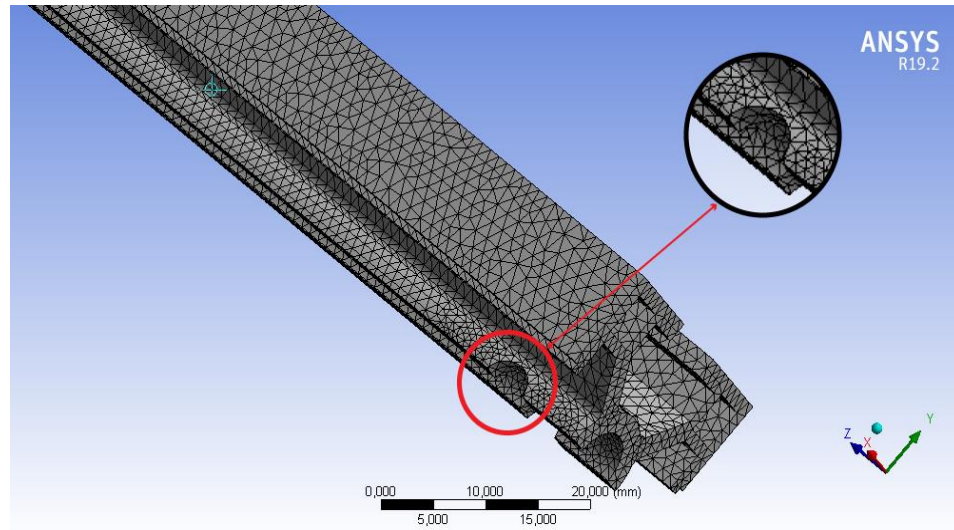
mesh geçişini küçültmek ve Skewness değerinin azaltılması için Transition seçeneğinden Slow yapılmıştır. Böylelikle 2 eleman arasındaki geçiş detaylandırılmıştır. Bu bölgede 455086 tane mesh kullanılmıştır.

Robotik kolun ikinci uzvuna bakıldığında bir önceki parçalara kıyasla yer değiştirmenin arttığı ve maksimum deformasyonların birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Şekil 16'dan maksimum deformasyonun Al6063-0 ve Al6063-T5 için 5.72 mm olduğunu görülmektedir.

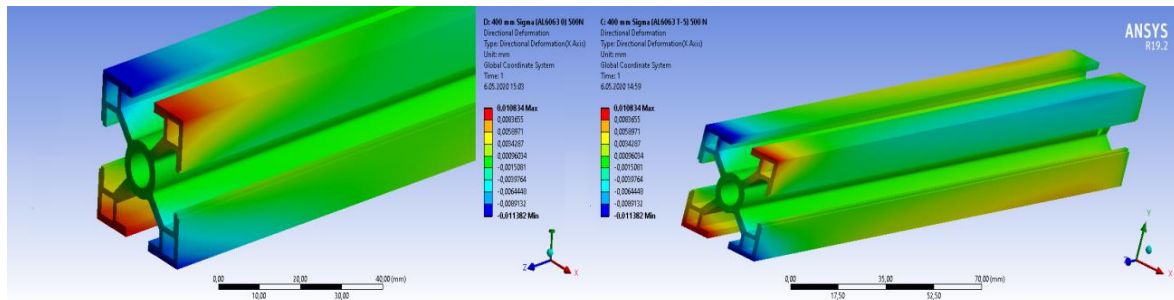
Sigma profilin X ve Y eksenlerinde görüldüğü üzere birbirlerine yakın deformasyon yaptıkları görülmektedir. Şekil 17 ve Şekil 18'de sırasıyla X ve Y eksenlerindeki maksimum deformasyonlar görülmektedir. Bu değerler Tablo 5'te de verilmiştir.



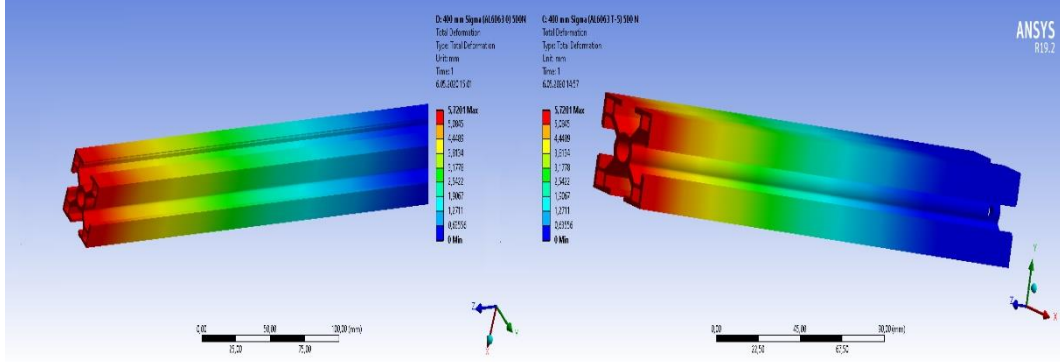
Şekil 14. 400 mm sigma profilin sabitleme noktası ve kuvvet uygulanma noktaları (Fixing point and force application points of 400 mm Sigma profile)



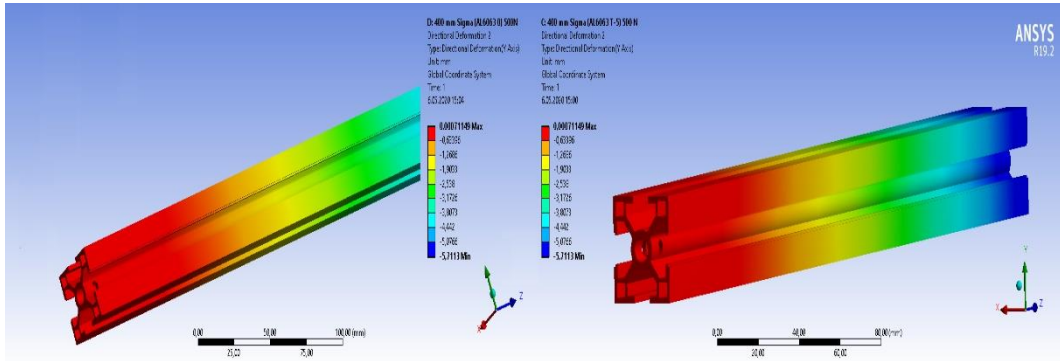
Şekil 15. 400 mm sigma profilin Mesh yapısı (Mesh of 400 mm Sigma profile)



Şekil 16. 400 mm sigma profillerin total deformasyonları (Total deformations of 400 mm sigma profiles)



Şekil 17. 400 mm sigma profillerin X eksenindeki total deformasyonları (Total deformations of 400 mm sigma profiles in X-axis)



Şekil 18. 400 mm sigma profillerin Y eksenindeki total deformasyonları (Total deformations of 400 mm sigma profiles in Y axis)

Tablo 5. 400 mm sigma profillerin X ve Y eksenlerinde maksimum deformasyonlar (Maximum deformations of 400 mm sigma profiles in X-axis and Y-axis)

Toplam maksimum deformasyon	X	Y
AL 6063 0	0.010834 mm	0
AL6063 T-5	0.010834 mm	0

Burada maksimum gerilmelere bakıldığında Al 6063 0'da Şekil 19'da görüldüğü üzere 200 Mpa gerilmesine oluştuğu, Al6063 T-5 malzemesinin maksimum gerilmesinin de bundan farklı olmadığı görülmektedir.

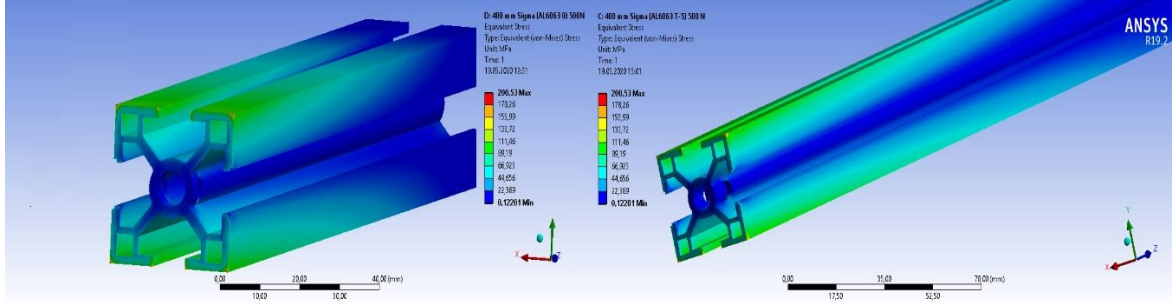
400mm sigma profilinin sabitlendiği bölgedeki yatak kuvvetleri Tablo 6'da verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında toplam kuvvetin aynı olduğu

görülmektedir. Şekil 20'de ise yatak kuvvetlerinin yönü görülmektedir.

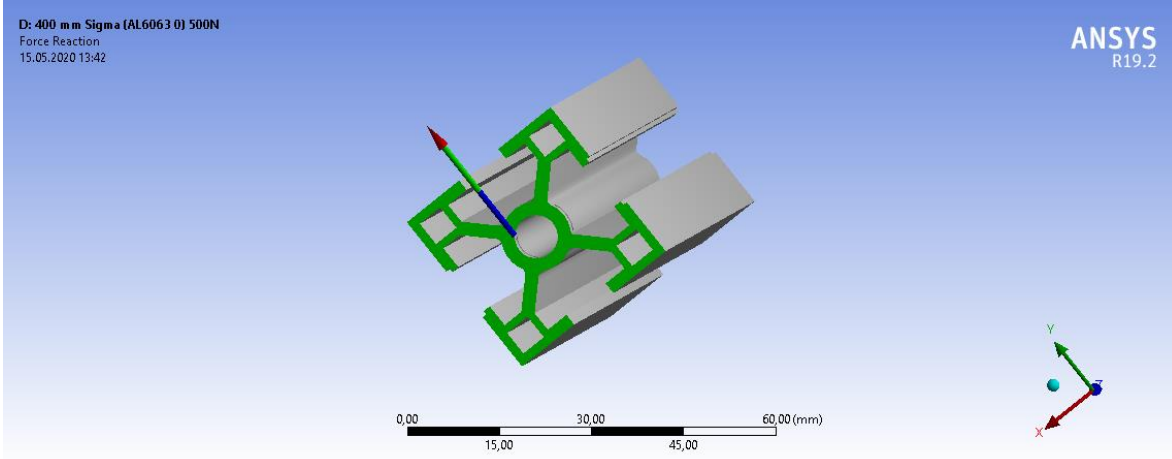
Tablo 6. 400mm sigma profillerin yatak kuvvetleri (Reaction forces of 400mm sigma profiles)

	X	Y	Z
AL 6063 0	0	500 N	0
AL6063 T-5	0	500 N	0

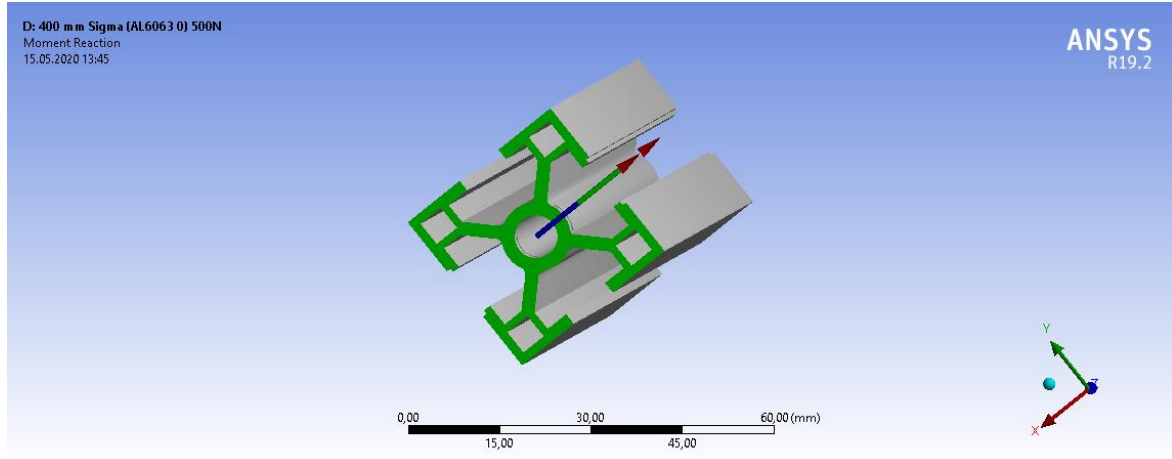
Sigma profilin sabitlendiği bölgedeki momentlerin sonuçları Tablo 7'de görülmektedir. Burada da total momentlerin aynı olduğu görülmektedir. Şekil 21'de ise momentlerin yönü görülmektedir.



Şekil 19. 400 mm sigma profillerin Von-Mises gerilmeleri (*Von-Mises stresses of 400 mm sigma profiles*)



Şekil 20. 400 mm sigma Al6063 0 ve Al6063-T'in yatak kuvvetleri (*Reaction forces of 400 mm sigma Al6063 0 and Al6063-T*)



Şekil 21. 400 mm sigma Al6063 0 ve Al6063-T 5'in momentlerinin yönü (*Direction of moments of 400 mm sigma Al6063 0 and Al6063-T 5*)

Tablo 7. 400 mm sigma profillerin yatak momentleri (*Reaction moments of 400 mm sigma profiles*)

	X	Y	Z
AL 6063 0	0	0	0.38308 N.mm
AL6063 T-5	0	0	0.38308 N.mm

3.3 200 mm Sigma Profilin Burkulma Analizi (*Buckling Analysis of the 200 mm Sigma Profile*)

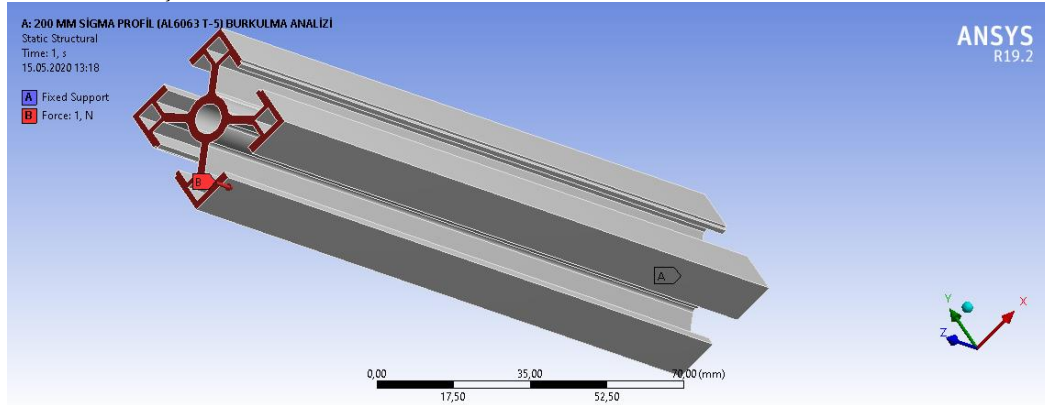
Bir malzemenin ani bir şekilde hasar görmesinin iki sebebi vardır. Bunlar, malzeme hasarı ve burkulma (yapısal kararsızlık) dır. Burkulmanın meydana geldiği yük, yapının dayanımına değil

rijitliğine (stiffness) bağlıdır. Ele alınan örnek görüldüğü üzere sabitlenmiş olup Z ekseninden 1 N yüke maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda her bir malzemenin 4 mod için kritik yükleri elde edilmiştir (Şekil 23). Meshleme Şekil 6'da görüldüğü üzere bir önceki statik yüklemde kullanılan meshleme ile aynı olarak yapılmıştır. Tablo 8'de her bir mod için maksimum kuvvetler görülmektedir. Denklem 3'den yararlanılarak analitik olarak kritik burkulma yükleri bulunmuş ve sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçlarla Tablo 8'de karşılaştırılmıştır. Her iki malzeme için Elastisite modülü (E) 69 GPa, atalet momenti (I) $2.91 \times 10^4 \text{ mm}^4$ ve çubuğun boyu (L_k) 200 mm olarak alınmıştır.

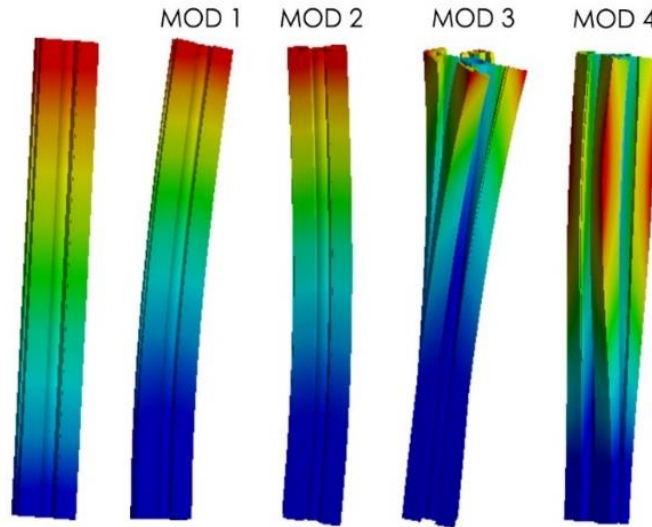
$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2} \quad (3)$$

3.4 400 mm Sigma Profilin Burkulma Analizi (Buckling Analysis of the 400 mm Sigma Profile)

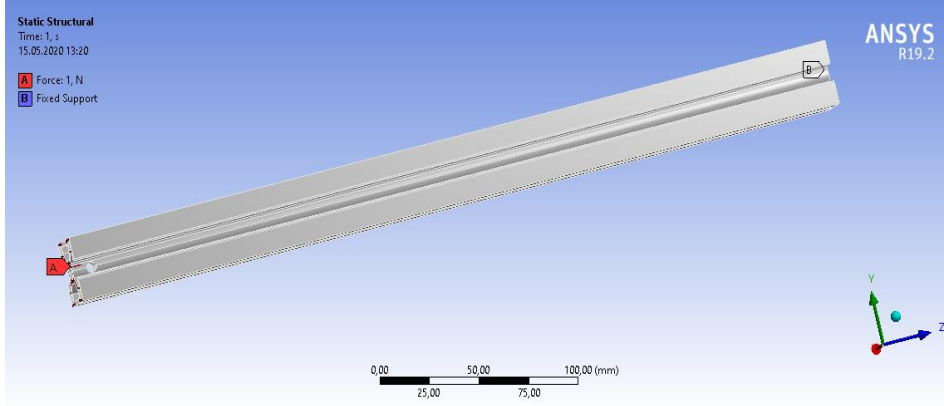
Ele alınan parça şekil 24'de görüldüğü üzere sabitlenmiş olup Z ekseninden 1 N yüke maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda her bir malzemede 4 mod için kritik burkulma yükleri elde edilmiştir. 400 mm sigma profilleri içinde analitik çözüm yapılmıştır. Analitik ve sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen kritik yükler Tablo 9'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 22. 200 mm sigma Al6063 0 ve Al6063-T5'in sabitlenme noktası ve kuvvet uygulanma noktaları (Fixing point and force application points of 200 mm sigma Al6063 0 and Al6063-T5)



Şekil 23. 200 mm sigma Al6063-0 ve T-5'in burkulma modları (Buckling modes of 200 mm sigma Al6063-0 and T-5)



Şekil 24. 400 mm sigma profilin sabitlenme noktası ve kuvvet uygulanma noktaları (Fixing point and force application points of 400 mm Sigma profile)

Tablo 8. 200 mm Sigma profillerin kritik kuvvetleri (Critical loads of 200 mm Sigma profiles)

	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4
Al6063-0/Ansys	109530 N	111100 N	411430 N	570087 N
Al6063-0 ve T5/Analitik Çözüm	115345 N	226075 N	346034 N	461379 N
Al6063-T5/Ansys	108340 N	109910 N	406220 N	564240 N

Tablo 9. 400 mm Sigma profillerin kritik kuvvetleri (Critical loads of 400 mm Sigma profiles)

	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4
Al6063-0/Ansys	28493 N	28593 N	232850 N	236410 N
Al6063-0 ve T5/Analitik Çözüm	28906 N	56519 N	86719 N	115625 N
Al6063-T5/Ansys	28515N	28916 N	232760 N	235780 N

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada robotik kolun uzuvlarını hafifletmek için bir malzeme önerilmiştir. Çalışmada önerilen malzeme davranışı için oluşturulan sonlu elemanlar modeli uygun bir mesh yapısı ile oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar analiz sonuçlarından Al 6063-0 ile Al6063 T-5 deformasyon ve gerilmelerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında ayrıca Burkulma analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerden önerilen malzemenin burkulmaya karşı emniyetli olduğu gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardan Al6063-0 kullanılması durumunda robotik kolun uzuvlarının ağırlığının azaldığı ve dolayısıyla maliyet açısından 'da önemli bir tasarruf sağlandığı görülmektedir. Çalışmada sigma profil kullanılması durumunda bu profilin korozyona karşı dirençli olması nedeniyle kaplama veya boyamaya gerek kalmamakta böylece buda maliyeti düşürmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir. Kuruma desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Isık and Ö. Çetin, "Multifunctional and Low Cost Autonomous Mobile Robot," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, vol. 6, no. 2, pp. 105-110, August, 2020.
doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.02.02>
- [2] Rüstemli M. Yılmaz and N. İnanç, "İki Eksenli Robot Kolun Paralelport Üzerinden Kontrolü,"

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 14, no. 1, pp. 45-49, 2009.

[3] M. Bozdemir and E. Adıgüzel, "Puma Tipi Robot ile İnsan Kolu Hareketlerinin Karşılaştırılması; Alternatif Bir Robot Kol Omuz Tasarımı," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 5, no. 2, pp. 1057-1061, 2011.

[4] Ş. Yavuz and M. Hocaoglu, "İki Serbestlik Dereceli Robot Kollarında Uç Nokta Konumunun Yapay Sinir Ağları ile Bulunması," in *Proc. of the Trc-IFTtoMM Symposium on Theory of Machines and Mechanisms, İzmir*, June 14-17 2015.

[5] T. Tonbul and M. Sarıtaş, "Beş Eksenli Bir Edubot Robot Kolunda Ters Kinematik Hesaplamalar Ve Yörünge Planlaması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 18, no. 1, pp. 0, April 2013.

[6] K. Kayışlı and M. Uğur, "Fuzzy Logic and PID control of a 3 DOF Robotic Arm," *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, vol. 5, no. 4, pp. 223-233, December 2017, doi: 10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.339907

[7] Ç. Ersin, M. Yaz and H. Gökçe, "Upper Limb Robot Arm System Design and Kinematic Analysis," *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 1320-1331, 2020, doi: 10.31202/ecjse.753267

[8] A. Mühürücü, "Solution of Forward Kinematic for Five Axis Robot Arm using ANN," *Electronic Letters on Science and Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 55-59, August 2005.

[9] H. Sümbül and A. Coşkun, "Mayın Tarama ve Bomba İmha Sistemlerinin Tek Robot Üzerinde Modernizasyonu," *Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Akademik Bilişim'11-XIII.*, İnönü Üniversitesi, Malatya, Turkey, February, 2011, pp. 37-42.

[10] H. O. Taşkaya, D. Özgür and L. Özyılmaz, "Bilgisayar Kontrollü Kameralı Robot Kolu Tasarımı," *Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Bursa, Turkey*, December, 2006, pp. 219-219.

[11] S. Özen, E. Yıldız and T. Uzun, "Bilgisayar Kontrollü Gezgin Robot Uygulaması," in *Proc. of the*

2000 1st Int. Conf. on ELECO' 2000, Bursa, Turkey, November, 2000, pp. 323-327.

[12] M. E. Şenli, R. Özcan, and U. Diyarbakır, "Kinect Kontrollü Robot Kol," *Erzurum Teknik Üniversitesi Öğrenci Dergisi*, May 2018.

[13] Ş. Arslan and M. Korkmaz, "Bulanık Yapay Sinir Ağıyla Dört Serbestlik Dereceli Bir Robot Kolunun Kontrolü," *Sakarya University Journal of Science*, vol. 17, no. 1, pp. 131-138, 2013.

[14] Y. H. El Naser, D. Karayel, S. S. Ozkan, and G. Atali, "Talaşlı İmalatta Otomatik Çapak Alma İşlemi için Endüstriyel Robot Kol Tasarımı," in *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Baku, Azerbaijan, September, 2017, pp.1288-1298.

[15] E. Genç, "İki Uzunluklu Düzlemsel Esnek Robot Kol Tasarımı ve Kontrolü," Ph.D. Dissertation, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2015.

[16] G. Yüksel, T. Yiğit and H. Çelik, "DA Motor Tahrikli Dört Serbestlik Dereceli Bir Robot Kolun 2-DOF PID ile Kontrolü," *TOK2018 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Kayseri, Turkey, September*, 2018, pp. 22-26.

[17] G. Görel and H. Altaş, "Bulanık Mantık Kontrollü Çift Eklemlili Robot Kolu," *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elâzığ, Turkey, October*, 2011, Fırat Üniversitesi, pp. 152-156.

[18] K. B. Park and J. J. Lee, "Design of a Simple and Robust Control System for a Single-Link Flexible Robot Arm," *IFAC Proceeding Volumes*, vol. 25, no. 20, pp. 181-186, September 1992.

[19] A. Öztürk, İ. Asiltürk, H. Düzcükoğlu and Ö. Aydoğdu, "Gaz altı Kaynak Uygulamalarında Bulanık Mantık Kontrollü İz Takip Sistemlerinin Uygulanması," *Mühendis ve Makine*, vol. 57, no. 674, pp. 57-64, 2016.

[20] A. Namalan, "Lightening of Robot Arms with Topology Optimization Method," in *The International Aluminium-Themed Engineering And Natural Sciences Conference, Konya, Turkey, October*, 2019.

[21] ISO 8373 1994 standard document, Manipulating industrial robots ~ Vocabulary (EN/ISO 8373 1996).