



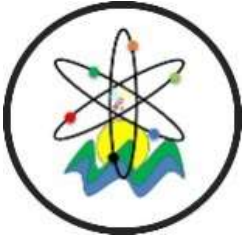
# Black Sea Journal of Engineering and Science

Volume 6 | Issue 1



ISSN: 2619 - 8991

  
BS Journals



**BLACK SEA JOURNAL OF ENGINEERING AND SCIENCE**  
**(BSJ ENGIN SCI)**

  
**BS Journals**

Black Sea Journal of Engineering and Science (BSJ Eng Sci) is a double-blind peer-reviewed, open-access international journal published electronically 4 times (January, April, July and October) in a year by since January 2018. It publishes, in English and Turkish, full-length original research articles, innovative papers, conference papers, reviews, mini-reviews, rapid communications or technical note on advances in a wide range of scientific disciplines from all fields of engineering and science and from any source.

ISSN 2619 - 8991

Phone: +90 362 408 25 15

Fax: +90 362 408 25 15

Email: [bsjsci@blackseapublishers.com](mailto:bsjsci@blackseapublishers.com)

Web site: <http://dergipark.gov.tr/bsengineering>

Sort of publication: Periodically 4 times (January, April, July and October) in a year

Publication date and place: January 01, 2023 - Samsun, TURKEY

Publishing kind: Electronically

**OWNER**

Assoc. Prof. Uğur ŞEN

**DIRECTOR IN CHARGE**

Prof. Dr. Hasan ÖNDER

## EDITORIAL DECLARATION

Dear authors and readers,

First of all, we would like to thank you for being our travel companion by writing, evaluating, and reading us about this broadcasting life we started six years ago. With these thoughts, we are especially thankful for researchers and academicians honoring with the articles, valuable scientists involved in editorial boards, and reviewers for their contributions to the evaluation processes through their opinions/ideas/contributions/criticisms. With this article, we wanted to inform you, our valuable stakeholders, about the development of The Black Sea Journal of Engineering and Science (BSJ Eng Sci). The statistics of the BSJ Eng Sci for the last five years are given below. Hope you will be with us in future issues.

Year	Articles	Cites	Cite Index*	CNA	CNC	CCI
2018	20	1	0.05	20	1	0.05
2019	22	10	0.45	42	11	0.26
2020	29	40	1.38	71	51	0.72
2021	32	55	1.72	103	106	1.03
2022	24	77	3.21	127	183	1.44

CNA= cumulative number of articles, CNC= cumulative number of cite, CCI= cumulative cite index

\*According to Scholar Google

### Rejection rate:

- 2020: 9%
- 2021: 18%
- 2022: 25%

**Average review time (days): 72**

**Average time from send to publish (days): 132**

## **EDITOR BOARDS**

### **EDITOR IN CHIEF**

Prof. Dr. Hasan ÖNDER, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Uğur ŞEN, Ondokuz, Mayıs University, TÜRKİYE

### **SECTION EDITORS\***

Prof. Dr. Ahmet UYANIK, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Berna KILIÇ, Ege University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Çiğdem TAKMA, Ege University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ertan BUYRUK, Sivas Cumhuriyet University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Gökhan CİVELEKOĞLU, Akdeniz University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hasan TANAK, Amasya University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hasan TEMİZ, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. İbrahim Özgür DENEME, Aksaray University, TÜRKİYE

Prof. Dr. İbrahim UĞUR, Süleyman Demirel University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Theodore A. TSİLİGİRİDİS, Athens University of Agriculture, GREECE

Prof. Dr. Ümit Cafer YILDIZ, Karadeniz Technical University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Mehmet EBEOĞLUGİL, Dokuz Eylül University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Belgin KARABACAKOĞLU, Eskişehir Osmangazi University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Bülent BOSTANCI, Erciyes University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Ergün EKİCİ, Çanakkale Onsekiz Mart University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Kadyrbay CHEKİROV, Kyrgyz Turkish Manas University, KYRGYZSTAN

Assoc. Prof. Dr. Nilüfer YURTAY, Sakarya University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Özgür Hakan AYDOĞMUŞ, Social Sciences University of Ankara, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Sinan AKISKA, Ankara University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Mehmet GÜÇYETMEZ, Kırşehir Ahi Evran University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Melahat CİHAN, Samsun University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Sedat KARADAVUT, Trakya University, TÜRKİYE

---

\* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

### **EDITORIAL - ADVISORY BOARD\***

Prof. Dr. Aglaia (Litsa) LIOPA-TSAKALIDI, Institute of Western Greece, GREECE

Prof. Dr. Ercan EFE, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Mohammad Masood TARIQ, University of Balochistan, PAKISTAN

Prof. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Özkan GÖRGÜLÜ, Ahi Evran University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Taner TUNÇ, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Emil OMURZAK, Kyrgyz-Turkish Manas University, KYRGYZSTAN

Asst. Prof. Dr. Yılmaz KAYA, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

---

\* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

### **STATISTIC EDITOR**

Prof. Dr. Mehmet TOPAL, Kastamonu University, TÜRKİYE

### **ENGLISH EDITOR**

Asst. Prof. Dr. Betül ÖZCAN DOST, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

### **TURKISH EDITOR**

Prof. Dr. Serkan ŞEN, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

## REVIEWERS OF THE ISSUE\*

Prof. Dr. Hakan ARSLAN, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. İsmail KOÇAK, Bandırma Onyedli Eylül University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Aziz Cumhur KOCALAR, Niğde Ömer Halisdemir University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Turan ARAT, Sinop University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. İlknur ŞENTÜRK, Sivas Cumhuriyet University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Serhat ODABAŞ, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Temel VAROL, Karadeniz Technical University, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Altuğ KARABEY, Van Yüzüncü Yıl University, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Arslan KAPTAN, Sivas Cumhuriyet University, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Mahmut Can ŞENEL, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Oya CENGİZ, Süleyman Demirel University, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Sema ARIMAN, Samsun University, TÜRKİYE

Dr. Cyril ALİYEBENOMA, University of Benin, NIGERIA.

Dr. Fatih APAYDIN, Bilecik University, TÜRKİYE

Dr. Marcelle Michelotti BETTONI, Navarra University, SPAIN

---

\* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

Table of Contents

Research Article

1. **CALCULATION OF INSULATION THICKNESS DEPENDING ON THE COOLEST AND HOTTEST CLIMATE CONDITIONS FOR DIFFERENT FLAT ROOF TYPES OF BUILDINGS**  
*Okan KON, İsmail CANER*.....1-9
2. **BAĞIRKAÇDERE (ÇANAKKALE) PB-ZN YATAĞI'NIN 3B CEVHER BLOK MODELLEMESİ**  
*Sinan AKISKA, Elif AKISKA*.....10-17
3. **RISK ANALYSIS AND EVALUATION OF THE CURRENT SITUATION IN TERMS OF WORK SAFETY IN THE DRINKING WATER TREATMENT PLANT**  
*Hülya BÖKE ÖZKOÇ, Cemre Gizem SAĞLAM, Ayşenur USLU*.....18-24
4. **THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LOCALLY SOURCED ELECTRIC POWERED STAIR CLIMBING TROLLEY**  
*Dickson David OLODU, Marvellous ABRAHAM, Jackson JESUOROBO, Odezi Oghenerukevwe AKIAKEME*.....25-31
5. **COMPARISON OF DIFFERENT TOOLS AND METHODS IN THE MEASUREMENT OF LEAF AREA IN ALFALFA**  
*Tefide KIZILDENİZ*.....32-35
6. **MEKANİK AKTİVE EDİLMİŞ DİASPORİTİK BOKSİTİN ATMOSFERİK KOŞULLARDA MİKRODALGA DESTEKLİ LİÇ İLE ALÜMİNA ÜRETİMİ**  
*Volkan Murat YILMAZ, Kenan YILDIZ*.....36-43
7. **AĞIR ARAÇ FREN DİSKİNİN SONLU ELEMANLAR İLE TERMO-MEKANİK ANALİZİ**  
*Recep Kadir SİVRİ, İbrahim KELEŞ*.....44-52



## CALCULATION OF INSULATION THICKNESS DEPENDING ON THE COOLEST AND HOTTEST CLIMATE CONDITIONS FOR DIFFERENT FLAT ROOF TYPES OF BUILDINGS

Okan KON<sup>1</sup>, İsmail CANER<sup>1\*</sup>


<sup>1</sup>Balıkesir University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 10145, Balıkesir, Türkiye


**Abstract:** In this study, optimum insulation thicknesses are calculated for three different flat-surfaces which are navigable terrace roof; stone-covered and soil-covered un-navigable flat roof types. The outdoor temperature, the value of January, which is the coldest month in winter, and the value of July, which is the hottest month in summer, and solar radiation, are considered together. Flat roof surfaces are considered to be stone-covered and soil-covered black painted and marble. Firstly, solar-air temperatures were determined for the winter and summer periods. Then, optimum insulation thickness calculations are made using life cycle total cost analysis. Extruded polystyrene (XPS) is accepted as the insulation material. Natural gas is used in winter and electricity in summer as an energy sources. The optimum insulation thicknesses have been calculated for five climate zones and three different roof types based on the TS 825. Then the results are compared. As a result, the optimum insulation thickness calculated considering the hottest and coldest months of the year was determined as 0.128 m in the 5th climate zone in roof one with the highest value, and as the lowest value with the 0.052 m in the 1st climate zone for roof three.

**Keywords:** Flat roof, Green roof, Optimum insulation thickness, Solar-air temperature, TS 825 standard

\*Corresponding author: Department of Mechanical Engineering, Balıkesir University, 10145, Balıkesir, Türkiye

E mail: ismail@balikesir.edu.tr (İsmail CANER)

Okan KON  <https://orcid.org/0000-0002-5166-0258>

İsmail CANER  <https://orcid.org/0000-0003-1232-649X>

Received: June 04, 2022

Accepted: September 08, 2022

Published: January 01, 2023

**Cite as:** Kon O, Caner İ. 2023. Calculation of insulation thickness depending on the coolest and hottest climate conditions for different flat roof types of buildings. *BSJ Eng Sci*, 6(1): 1-9.

### 1. Introduction

Today, green roof applications are implemented all over the world. Green roofs contribute positively to climate change by reducing environmental pollution, especially in city centers, and green roofs are an important application in terms of energy consumption and saving. Green roofs, which are an ecological application, can reduce the heat island caused in city centers, also contribute to the retention of rainwater, especially in humid areas, and reduce the emission release (Tang and Zheng, 2019).

In the literature, green roofs are called vegetated roofs, bio-roofs or ecological roofs. Thanks to the green roof application, it makes a positive contribution to indoor air conditioning, especially in the summer period. It reduces the insulation thickness to be applied to the building envelope. In addition, biodiversity enrichment, air purification, acoustic isolation can be counted as positive effects (Lee and Jim, 2020).

Insulation of the building envelope is an important energy-saving application. Insulation material with a low heat conduction coefficient should be used in building envelope insulation. In addition, the insulation thickness value should be high. On the other hand, the cost of insulation should be below. In a certain life, the value that minimizes the energy consumption and the costs of the

insulation material is important. This value is the optimum point. The insulation thickness at this point is the optimum insulation thickness (De Rosa et al., 2014). In the literature, when determining the optimum insulation value, the degree-day method, which is very simple and can be calculated quickly, is used. This method is based on the temperature difference between the outdoor and indoor environments. Depending on different climate parameters such as a lot of suns and relative humidity, degree-day values can be calculated for the both heating and cooling season. Thanks to this method, it provides convenience in the energy consumption estimation of long-term buildings (Daouas, 2016).

When we examined the literature, Daouas (2016) investigated a dynamic model for multi-layered roofs subjected to constant climate conditions in Tunis by using the incoming solar radiation. A life cycle cost analysis was conducted to determine the optimum insulation thicknesses (Yin et al., 2019). Ozel (2013) numerically investigated the thermal, economic and environmental effects of insulated external walls for different wall layers. In the province of Kars, which is one of the coldest cities in Türkiye, investigations were made for different wall orientations during the winter period. For this purpose, a computer model based on finite



differences under various stable periodic conditions is used in the study (De Rosa et al., 2014). Wang et al. (2022) determined the roof thermal insulation type and optimum insulation thickness. They presented an optimization design method based on an integrated economic and environmental consideration for the best insulation design on building roofs. A double-layered ventilated roof heat transfer model has been developed in a low-temperature granary in Changsha, China. Extruded polystyrene, mineral wool and polyurethane were used as insulation materials. Yin et al. (2019) evaluated the green roof at three heights (30, 60 and 120 cm) during the summer in Nanjing, China. Among the outdoor scenarios, sunny days had the highest effect on the thermal performance of the large green roof, while cloudy and rainy days had less effect (Peng et al., 2019). De Rosa et al. (2014) proposed a model to simulate the energy consumption in buildings. The model has some temporary energy balance equation for walls and indoor air and is implemented using Matlab/Simulink. The results showed that the cooling energy demand on days with low cooling degrees and solar radiation play an important role in this case (Daouas, 2016). Tang and Zheng (2019) examined the thermal properties of green roof using a real data. Equivalent thermal resistance and reduction factor of a green roof compared to a bare roof. Peng et al. (2019) evaluated and compared the long-term energy performance of large-scale green roofs in a humid subtropical climate region of China. Based on the outdoor temperature, roof surface temperature, roof heat flux, and cooling/heating energy load, seasonally, hourly, daily and year-round analyzes were made for green roof and bare roof. Wahba et al. (2019) compared the electricity consumption and savings potential of green roofs and green walls when applied in arid climatic conditions for different latitudes in Cairo, Egypt. The study investigated the effect of green roof and walls on indoor thermal comfort in the arid climate region. These studies were done with the energy simulation DesignBuilder. Huang and Ma (2019) performed a cost analysis of large green roofs containing light expanded clay aggregate (LECA) and Ipomoea batata, both measuring the change in surface temperature and heat amplitude, as well as reducing energy. Kaboré et al. (2020) investigated the performance of heat flows using energy simulation to research the performance of passive cooling technique. In the building models, both a green roof and a wet roof are used. For wet roofs, heat transferred to the environment was found to be higher for a Mediterranean climate. Family et al. (2020) investigated reinforced concrete panels and three different types of plant-covered roofs for passive cooling applications. Combined radiation and conduction heat transfer analyses were performed to evaluate their insulation potential. Mahmoud and Ismaeel (2019) conducted simulation studies to examine the usage of three different roof design principles on the energy consumption in Egypt. Rosti et al. (2019) calculated the optimum insulation

configuration in buildings based on the theory of delay and decay factor. In the study, they made investigations for different multilayer wall configurations using the transient heat conduction equation. Saydam et al. (2021) investigated the effect of green roof application on heating requirement, environmental emissions and fuel cost in two different cities located in different degree day regions. Investigations were made for two different indoor temperatures of 19 °C and 21 °C. Heating requirement, monthly fuel cost and emission values were determined for the non-heat insulated, thermally insulated and green roof conditions of the building. Ragab and Abdelrady (2020) examined the green roof application to reduce the energy need different climate zones. The energy consumption of various types of green roofs with different thermal properties to cool school buildings in Egypt has been studied. As a result, green roofs have been found to be effective to reduce the energy demand compared to traditional roof. Lee and Jim (2020) studied the effect of temperature and solar radiation on the microclimate, by comparing a bare roof with an intense green roof. Microclimatic studies were conducted in subtropical Hong Kong during the winter season. Sunny, cloudy and rainy conditions were adopted for analyzes of interactions between factors such as temperature and solar radiation. Kurekci (2016) determined the optimum insulation thicknesses needed in 81 provincial centers of Türkiye. Calculations were made for four different fuels and insulation materials. Three different situations are considered. Optimum insulation thicknesses were calculated according to these three conditions. Dombayci et al. (2017) examined the usage of energy sources and insulation materials for Denizli on energy consumption. Optimization was made based on life cycle cost analysis. Ulaş (2010) investigated the schools, which are the most widespread institutions in our country, are insulated and uninsulated; Heat loss, fuel consumption and the amount of carbon dioxide released to the atmosphere as a result of the combustion of the consumed fuel for four different thermal insulation zones and three different fuel types. Different insulations were compared with each other by making economic analysis according to the life cycle cost analysis method. Then, optimum insulation thicknesses were calculated in the thermal insulation zones. Lewandowski and Lewandowska-Iwaniak (2014) studied building envelopes depending on their ability to transmit the solar energy flows and investigate the energy-saving building materials. Kon et al. (2021) calculated optimum insulation thicknesses for exterior walls of a hospital building in Balıkesir, taking into account the combustion properties of glass wool, stone wool and polyurethane insulation materials. Based on the non-insulated and optimally insulated external wall, life cycle savings and life cycle total cost values were calculated for energy consumption. Hao et al. (2022) conducted experiments in Hunan, China, using a comparative test platform consisting of two experimental chambers equipped with



greenery systems and the other without greenery systems during the transition seasons. They investigated the effects of Greenery systems on the thermal comfort of indoor environments and saw that energy savings were achieved in the operating times of the air conditioner with this system. Ayin (2021) examined the properties of building materials to be used in the design of roof gardens and offered different solutions for the problems that may occur in roof gardens and gave an information about the situation of roof gardens in Türkiye. Also, he researched emerging building materials in the design of roof gardens. El-Zoklah and Refaat (2021) simulated the effect of Green Facades Systems on energy efficiency in a residence with 12 cm wall thickness in New Cairo, Egypt. They used the Design Builder program. They made calculations for the south, east, and west directions and different thicknesses of the wall. Juras (2022) analyzed the experimental measurements taken on two different large green roofs in Central Europe and compared the results with a single-ply roof with PVC membrane. Vermaa and Asafo-Adjeib (2021) determined the optimum thickness of walls and ceilings according to cities in order to reduce the energy needs of buildings in the housing sector of the country in Ghana. For this, a mathematical model has been developed to determine the threshold values for cooling and heating degree days. Dominguez-Torres et al. (2021) optimized a solution that combines thermal insulation and a cold roof for the renovation of residential roofs in Seville, Spain. Various combinations of solar reflective coatings and insulation layer thickness were considered in the optimization analysis. Mahapatra et al. (2022) investigated how the optimum insulation thickness will change when cellulose, corn-based insulation, polyurethane and polystyrene insulation materials are used together with brick materials with different outer surface absorptivity for the Indian cities of Delhi, Jodhpur, Mangalore and Pune. The aim of the study is to calculate the optimum insulation thicknesses of three different roof types, such as a navigable flat roof, a non-navigable stone-covered roof, and a green roof. While calculating the optimum insulation thickness, the degree-day method and life cycle total cost analysis were used. Firstly, the sol-air air temperatures calculated depending on the solar radiation value for the coldest month of the year, January, and the hottest month of July, was used. Heat transfer calculations are used for outdoor and indoor environments. Secondly, the optimum insulation thickness calculated based on the recommended values for indoor and outdoor environments according to TSE (2013). The results of the two insulation thicknesses were compared. This study shows the importance of green roof application in buildings in terms of energy saving. Finding the optimum insulation thickness values for roofs depending on the coldest and hottest months of the year and changing them with different roof types provides a new contribution to the studies in the literature.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. The Interior-Surface Combined Heat Transfer Coefficient

Convection heat transfer coefficient for horizontal direction;  $h_{c,i} = 3.08 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  for upward direction of heat flow,  $h_{c,i} = 4.04 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  for downward direction of heat flow were taken. Based on the indoor emissivity ( $\epsilon_i = 0.9$ ) radiation heat transfer coefficient was taken as in Equation 1 (Çengel and Boles, 2002; Lewandowski and Lewandowska-Iwaniak, 2014; Daouas, 2016);

$$h_{ri} = 5.72 \epsilon_i \quad (1)$$

### 2.2. The Exterior-Surface Combined Heat Transfer Coefficient

The convection heat transfer coefficient based on the outdoor air speed ( $V$  taken as  $6 \text{ m/s}$ ) (Equation 2);

$$h_{co} = 2.28 V + 8.18 \quad (2)$$

The radiation heat transfer coefficient based on the exterior surface emissivity ( $\epsilon_{os}$ ) and surroundings temperature ( $T_{sur}$ ) can be calculated in Equation 3 (Çengel and Boles, 2002; Lewandowski and Lewandowska-Iwaniak, 2014);

$$h_{ro} = \sigma \cdot \epsilon_{os} \cdot (T_o + T_{sur}) \cdot (T_o^2 + T_{sur}^2) \quad (3)$$

here, the exterior surface emissivity for roof 1 with marble surface was taken as 0.88, and for roof 2 and roof 3 which accepted as black painted, exterior surface emissivity were taken as 0.98.  $\sigma$  is Stefan Boltzmann constant (Çengel and Boles, 2002; Daouas, 2016). The surroundings temperature ( $T_{sur}$ ) (Equation 4) based on the outside temperature ( $T_o$ );

$$T_{sur} = 0.0552 T_o^{1.5} \quad (4)$$

According to TS 825, interior surface combine heat transfer coefficient is  $7.69 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  and outer surface heat transfer coefficient is  $25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . The equation for combined heat transfer coefficient ( $h_{comb}$ ) for the interior and exterior surfaces (Equation 5) (Çengel and Boles, 2002; TSE, 2013);

$$h_{comb} = h_c + h_r \quad (5)$$

### 2.3. Calculation of Sol-Air Temperature

Sol-air temperature is given in Equation 6;

$$T_{sol-air} = T_o + \frac{\alpha_{abs} I_{sol}}{h_{comb}} - \frac{\epsilon_{os} \sigma \cdot (T_o^4 - T_{sur}^4)}{h_{comb}} \quad (6)$$

here,  $\alpha_s$  is surface absorbtivity,  $I_{sol}$  is the solar radiation value and  $T_o$  is outdoor temperature. For roof 1 with marble surface,  $\alpha_s$  (absorbty) is taken as 0.40, and for roof 2 and roof 3 as a black painted surface,  $\alpha_{abs}$

(absorbty) are taken as 0.98.  $I_{sol}$  is the solar radiation value. For January which is the coldest month of the year, the solar radiation on the horizontal surface is taken as  $72 \text{ W/m}^2$  and for the July which is the hottest month of the year is taken as  $93 \text{ W/m}^2$  (Çengel and Boles, 2002; Ozel, 2013; TSE, 2013).

#### 2.4. Calculation of Degree-Day

The degree-day values based on the coldest and hottest month temperature can be calculated as in Equation 7 and 8;

$$HDD = M_h \cdot 30 \cdot (T_i - T_{sol-airmin}) \quad (7)$$

$$CDD = M_c \cdot 30 \cdot (T_{sol-airmax} - T_i) \quad (8)$$

Here,  $M_h$  is the number of months with heating which outdoor air temperatures are below  $19 \text{ }^\circ\text{C}$ .  $M_c$  is the number of months with cooling which outdoor air temperatures are above  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ .  $T_{sol-airmin}$  is the sol-air temperature belongs to the lowest outdoor air temperature of the January which is the coldest month of the year and  $T_{sol-airmax}$  is the sol-air temperature belongs to the highest outdoor air temperature of July which is the hottest month of the year. Each month is accepted as 30 days. Degree-day calculation based on the TS 825 (Equation 9 and 10)(Ulaş, 2010; TSE, 2013).

$$HDD = 30 \sum_1^{12} (T_i - T_o) \quad (9)$$

$$CDD = 30 \sum_1^{12} (T_o - T_i) \quad (10)$$

here,  $T_o$  is outdoor temperature and  $T_i$  indoor air temperature. In the study, the heating temperature is taken as  $19 \text{ }^\circ\text{C}$  and cooling temperature is taken as  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  (Ulaş, 2010; TSE, 2013).

#### 2.5. Optimum Insulation Calculation

The heat loss from unit area of roof (Equation 11) (Ozel, 2013; TSE, 2013; Kurekci, 2016; Dombayci et al., 2017; Kon et al., 2021);

$$q = U \cdot \Delta T \quad (11)$$

The heat loss for heating season (Equation 12);

$$q_H = 86400 \cdot HDD \cdot U \quad (12)$$

The heat loss from unit area for cooling season (Equation 13);

$$q_C = 86400 \cdot CDD \cdot U \quad (13)$$

Roof total heat transfer coefficient can be calculated with Equation 14;

$$U = \frac{1}{(R_{t,roof} + (\frac{x_{opt}}{\lambda_{ins}}))} \quad (14)$$

Optimum insulation thickness for both season with Equation 15;

$$x_{opt,H,C} = \left( \frac{86400 \cdot HDD \cdot a \cdot C_{ng} \cdot \lambda_{ins} \cdot PWF}{H_u \cdot C_{ins} \cdot \eta} + \frac{86400 \cdot CDD \cdot a \cdot C_e \cdot \lambda_{ins} \cdot PWF}{C_{ins} \cdot COP} \right) \cdot \lambda_{ins} \cdot R_{t,roof} \quad (15)$$

where, HDD is heating degree-day, CDD is cooling degree-day,  $R_{t,roof}$  is thermal resistance of uninsulated roof,  $C_{ng}$  is natural gas price for the heating period ( $0.385 \text{ } \$/\text{m}^3$ ),  $H_u$  ( $34.485 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$ ) is the fuels' lower heating value,  $\eta$  (93%) is the heating system efficiency,  $C_e$  is the electricity price for cooling period ( $0.107 \text{ } \$/\text{kWh}$ ) (Topçuoğlu, 2017; Limak, 2021), COP (2.5) is the cooling system performance coefficient,  $\lambda_{ins}$  is insulation materials conduction heat transfer coefficient ( $0.031 \text{ W/m.K}$ ),  $C_{ins}$  is insulation price ( $180 \text{ } \$/\text{m}^3$ ) and  $a$  is adjustment coefficient and it is taken as 1.0 for ceilings open to the external environment and 0.8 for ceilings covered with roofs.

If  $i > g$ ; real interest rate (Equation 16);

$$r = \frac{i-g}{1+g} \quad (16)$$

If  $i < g$ ; real interest rate (Equation 17);

$$r = \frac{g-i}{1+i} \quad (17)$$

Present Worth Factor (Equation 18);

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad (18)$$

where,  $i$  is the inflation rate (7.91%),  $g$  is the interest rate (8.25%), and  $N$  is life (10 year) (Dombaycı et al., 2006; Kurekci, 2016).

#### 2.6. The Values Used in Calculations

In the study, firstly, the outdoor bulb temperature dependent surroundings (sky) temperature value was calculated. Surroundings temperature outdoor radiation heat transfer coefficient was found. The outdoor convection heat transfer coefficient was determined depending on the outdoor air wind speed. The outdoor combine heat transfer coefficient, which is the sum of the outdoor radiation and convection heat transfer coefficient, was found. Likewise, indoor radiation heat transfer coefficient and convection heat transfer coefficient were calculated separately. Then, the combined heat transfer coefficient, which is the sum of the indoor radiation and convection heat transfer

coefficient, was determined. Depending on the surroundings (sky) temperature, the maximum and minimum values of the left-air temperature were calculated. Then, heating and cooling degree days were found depending on these values and indoor temperature. Financial values and present worth factors

were calculated to use in the optimization process. Optimum insulation thickness values were determined for three different roof types by using other cost values and the conduction heat transfer coefficient of the coatings forming the roof layer. These are given in Figure 1.

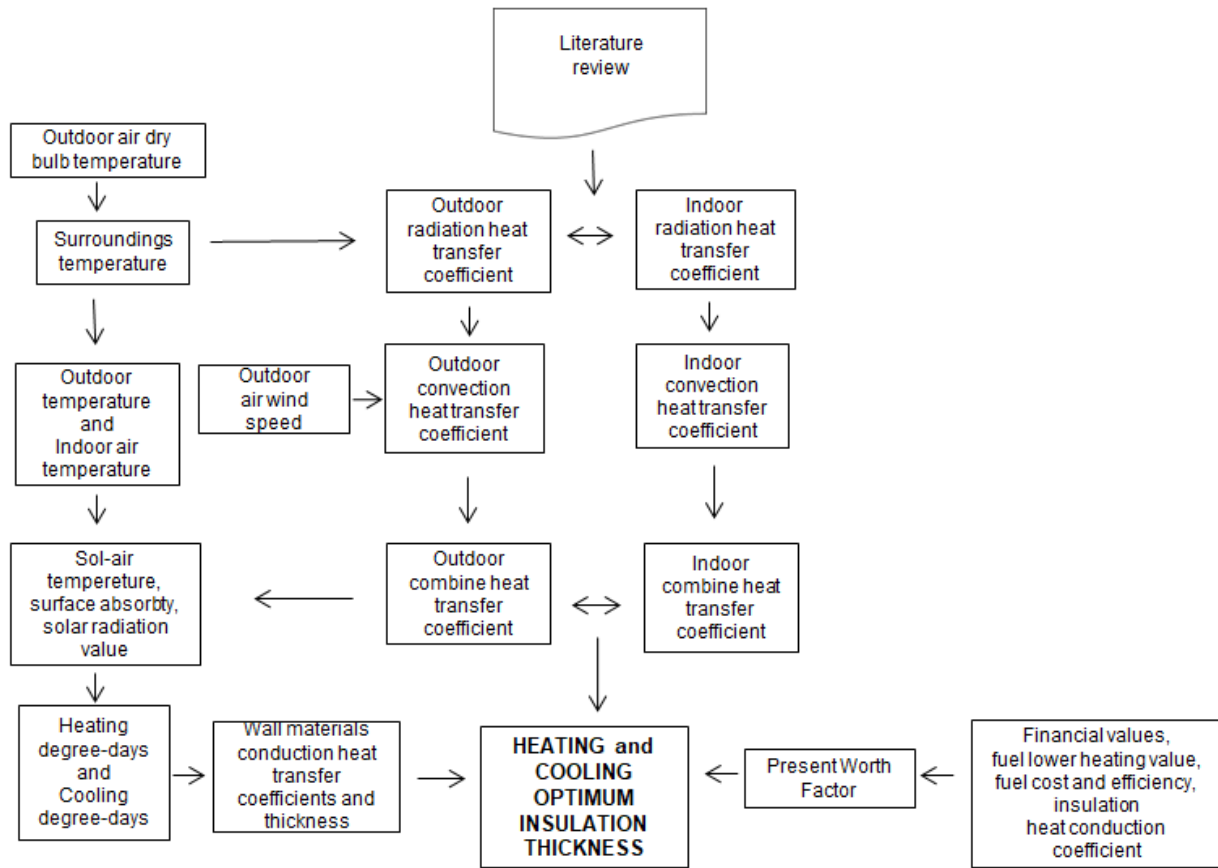


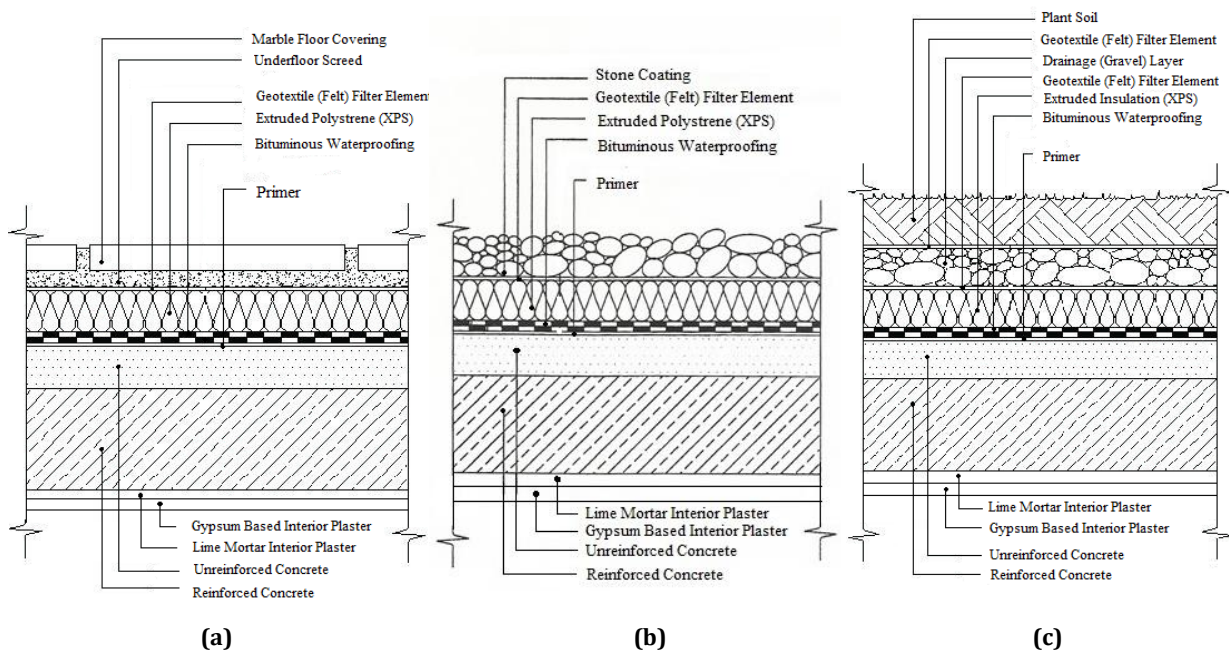
Figure 1. Study conceptual framework.

In Table 1, the structural components of three different roof types are given. The details of roof types are given in Figure 2. The details of plant density that can be applied on a soil covered roof for a green roof are given in Figure 3. Outdoor temperature values calculated in the study

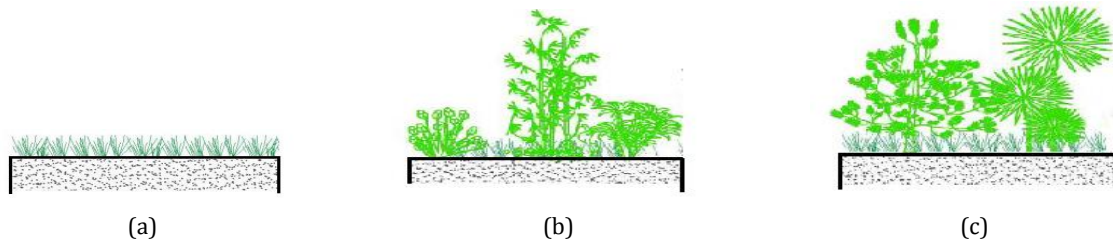
and recommended in TS 825 are shown in Table 2. In Table 3, the heating and cooling degree-day values calculated in the study and determined depending on the temperatures recommended in TSE (2013) are given.

**Table 1.** Building components of three different roof types (TSE, 2013; Topçuoğlu, 2017)

Roof components	Thickness (m)	Heat transmission coefficient (W/m.K)
Roof 1 (navigable terrace roof)		
Marble Floor Covering	0.01	3.50
Underfloor Screed	0.02	1.40
Geotextile (Felt) Filter Element	0.005	0.06
Extruded Polystyrene(XPS)	$x_{opt}$	0.031
Bituminous Waterproofing	0.01	0.19
Unreinforced Concrete	0.05	1.65
Reinforced Concrete	0.15	2.20
Lime Mortar Interior Plaster	0.02	1.00
Gypsum Based Interior Plaster	0.01	0.70
Roof 2 (un-navigable stone-covered terrace roof)		
Stone Coating	0.15	2.00
Geotextile (Felt) Filter Element	0.005	0.06
Extruded Polystyrene (XPS)	$x_{opt}$	0.031
Bituminous Waterproofing	0.01	0.19
Unreinforced Concrete	0.05	1.65
Reinforced Concrete	0.15	2.20
Lime Mortar Interior Plaster	0.02	1.00
Gypsum Based Interior Plaster	0.01	0.70
Gypsum Based Interior Plaster	0.01	0.70
Roof 3 (un-navigable soil-covered green roof)		
Plant Soil	0.15	0.60
Geotextile (Felt) Filter Element	0.005	0.06
Drainage (Gravel) Layer	0.10	2.00
Geotextile (Felt) Filter Element	0.005	0.06
Extruded Insulation (XPS)	$x_{opt}$	0.031
Bituminous Waterproofing	0.01	0.19
Unreinforced Concrete	0.05	1.65
Reinforced Concrete	0.15	2.20
Lime Mortar Interior Plaster	0.02	1.00
Gypsum Based Interior Plaster	0.01	0.70



**Figure 2.** Details of the roof types used in the study; a) Navigable terrace roof (Roof 1) b) Un-navigable stone-covered terrace roof (Roof 2) c) un-navigable soil-covered green roof (Roof 3) (Gel, 2010).



**Figure 3.** a) Superficially planted green roof b) Semi-densely planted green roof c) Densely planted green roof section (Seçkin and Seçkin, 2016).

**Table 2.** Outdoor temperature values calculated in the study and recommended in TS 825 (2013)

Zone	This study						TS 825	
	Heating Solar-air Temperature (°C)			Cooling Solar-air Temperature (°C)			Heating Outdoor Temperature (January) (°C)	Cooling Outdoor Temperature (July) (°C)
	Roof 1	Roof 2	Roof 3	Roof 1	Roof 2	Roof 3		
Zone 1	6.35	7.58	7.58	27.72	29.43	29.43	8.40	28.70
Zone 2	0.72	2.00	2.00	23.72	25.44	25.44	2.90	24.90
Zone 3	-2.53	-1.25	-1.25	21.70	21.70	21.70	-0.30	21.70
Zone 4	-7.67	-6.38	-6.38	21.40	21.40	21.40	-5.40	21.40
Zone 5	-12.76	-11.47	-11.47	18.60	18.60	18.60	-10.50	18.60

**Table 3.** The heating and cooling degree-day values calculated in the study and determined depending on the temperatures recommended in TS 825 (2013)

Zone	This study			TS 825
	Roof 1	Roof 2	Roof 3	Roof
Heating Degree-Day (HDD)				
Zone 1	2657	2398	2398	1430
Zone 2	4387	4080	4080	2573
Zone 3	6459	6075	6075	3248
Zone 4	8001	7610	7610	4074
Zone 5	11434	10969	10696	5052
Cooling Degree-Day (CDD)				
Zone 1	687	892	892	556
Zone 2	207	413	413	176
Zone 3	---	---	---	---
Zone 4	---	---	---	---
Zone 5	---	---	---	---

### 3. Results and Discussion

In the study, detailed heat transfer calculations and the values of the coldest and hottest months of the year used in degree day calculations, which are based on the recommended outdoor temperature values in the Turkish insulation standard TS 825, are given. Accordingly, the values calculated based on the solar air temperature for January, the coldest month of the year, are from the first to the fifth climate zone, between 6.35 to (-12.76) for roof 1, 7.58 to (-11.47) for roof 2 and 7.58 to (-11.47) °C for roof 3. On the other hand, depending on the outdoor temperature data in TS 825, the temperature values for January were found between 8.40 to (-10.50) °C. The values calculated based on the solar air temperature for July, the hottest month of the year, were

calculated between 27.72 to 18.60 °C for roof 1, 29.43 to 18.60 °C for roof 2 and 29.43 to 18.60 °C for roof 3. On the other hand, depending on the outdoor temperature data in TS 825, the temperature values for July were found to be between 28.70 to 18.60 °C.

In the study, the heating degree days calculated based on the solar air temperature were calculated from the first to the fifth climate zone, from 2657 to 11434 for roof 1, 2398 to 10969 for roof 2 and 2398 to 10696 for roof 3. On the other hand, depending on the temperature data in TS 825, heating degree days were determined from 1430 to 5052. Since cooling will be done for the first and second climate zones with cooling degree days, the solar air temperature has been calculated as between 687 to 207 on roof 1, 892 to 413 on roof 2 and 892 to 413 on roof 3. According to the temperature given in TS 825, the

cooling degree days were determined from 556 to 176. This is due to both heating and cooling degree days and when detailed heat transfer calculations are used, it is seen that optimum insulation thicknesses are much higher. This is an important situation in terms of energy saving in buildings. Thus, much more energy savings can be achieved on the ceilings of buildings

In the study, the coldest month of the year is January and the hottest month of the year is July. For the values calculated depending on the outdoor temperature, solar radiation value, and heat transfer; the optimum insulation thicknesses on roof 1 are calculated as 0.063-0.128 m for zone1 and zone 5, 0.061-0.123 m for roof 2, and 0.052-0.114 m on roof 3. The optimum insulation thickness values determined by considering the recommended values in TS 825 (2013) are 0.045-0.080 for roof 1, 0.043-0.078 m for roof 2 and 0.034-0.069 m for roof 3. In the insulation thicknesses calculated according to the data recommended in TS 825 (2013), it is stated by the engineers working in the market that the residents of the buildings experience heating or cooling problems during the hottest and coldest periods throughout the year in some meteorological conditions. For this reason, such special cases should be taken into account when calculating optimum insulation

thicknesses. In Figure 4, the optimum insulation thickness values determined based on a) the values calculated in the study and b) the recommended values in TS 825 (2013) are given.

Wang H. et al. (2022) calculated the optimum insulation thickness of expanded polystyrene, polyurethane and mineral wool for a single-layered roof with a solar radiation reflection coefficient of 0.55 as 0.148 m, 0.082 m and 0.122 m, respectively. The optimum insulation thickness for a single-layered roof with a solar radiation reflection coefficient of 0.25, thicknesses are 0.171 m, 0.095 m and 0.142 m, respectively. The optimum insulation thickness is 0.128 m, 0.068 m and 0.104 m, respectively, for a double-skin roof with a solar radiation reflection coefficient of 0.55. The optimum insulation thickness for a double skin roof with a solar radiation reflection coefficient of 0.25 is 0.153 m, 0.081 m and 0.127 m, respectively. In this study, the optimum insulation thicknesses determined by using detailed heat transfer calculations are in accordance with the studies in the literature. However, the optimum insulation thickness values determined based on TS 825 was found to be much lower than the studies in the literature. For this reason, the calculation techniques and values in TS 825 should be updated again.

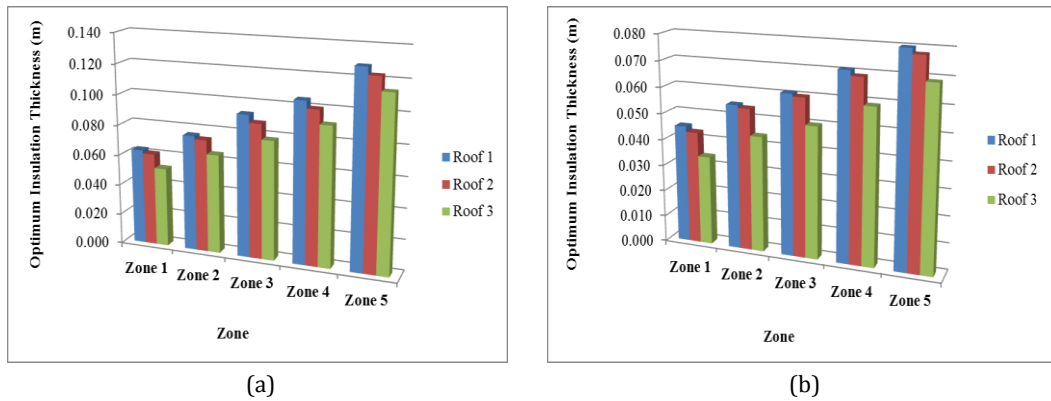


Figure 4. a) The optimum insulation thickness values calculated in the study, b) The optimum insulation thickness values determined based on the values recommended in TS 825 (2013).

#### 4. Conclusion

In this study, the highest optimum insulation thickness for five climate zones was determined between 0.063-0.128 m on Roof 1. Based on TS 825 data, the highest insulation thickness in roof 1 was calculated between 0.045-0.080 m for five climate zones. The optimum insulation thickness calculated for the roof is higher than the optimum insulation thickness values found in TS 825 for all regions. Thus, with the higher optimum insulation thickness in this study, less heat loss will occur when the thickness of the roof insulation is compared to TS 825 and a lower heat transfer coefficient will be obtained.

As the climate zone increases, the optimum insulation thickness value also increases. In the optimum insulation thickness values calculated in this study and the optimum insulation thickness values calculated with the recommended values in TS 825, 65.4-71.4% for the 1st

climate zone, 67.7-73.0% for the 2nd climate zone, 64.1-68.2% for the 3rd climate zone, 64.8%-69.0% in the 4th climate zone and 60.5-63.4% in the 5th climatic zone.

In future studies, the effect of covering the exterior walls of buildings with plants and materials with different properties will be evaluated in terms of heat transfer. Accordingly, the energy saving potential and environmental impacts will be investigated for summer, winter and transition periods connected to external walls.

**Author Contributions**

Percentages of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

%	O.K.	İ.C.
C	50	50
D	50	50
S	50	50
DCP	50	50
DAI	50	50
L	50	50
W	50	50
CR	50	50
SR	50	50
PM	50	50
FA	50	50

C= concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

**Conflict of Interest**

The authors declared that there is no conflict of interest.

**References**

Aydın B. 2021. Examination of conventional and innovative carrier systems used in roof gardens in terms of energy efficient building design and application. MSc Thesis, İstanbul Aydın University, Graduate Education Institute, Department of Architecture, İstanbul, Türkiye, pp: 105.

Çengel YA, Boles MA. 2002. Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik. Literatür Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, pp: 978.

Daouas N. 2016. Impact of external longwave radiation on optimum insulation thickness in Tunisian building roofs based on a dynamic analytical model. *Appl Energ*, 177: 136-148.

De Rosa M, Bianco V, Scarpa F, Tagliafico LA. 2014. Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach. *Appl Energ*, 128: 217-229.

Dombaycı ÖA, Gölcü M, Pancar Y. 2006. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Appl Energ*, 83(9): 921-928.

Domínguez-Torres CA, Domínguez-Torres H, Domínguez-Delgado A. 2021. Optimization of a combination of thermal insulation and cool roof for the refurbishment of social housing in southern Spain. *Sustainability*, 13(10738): 1-32.

El-Zoklah MH, Refaat T. 2021. The Green facades systems (GFS) consideration to insure the maximum environmental benefits. *Int J Appl Sci Eng Res*, 4(3): 462-473.

Family R, Celik S, Mengüç MP. 2020. Coupled heat transfer analysis and experiments to evaluate the radiative cooling potential of concrete and green roofs for buildings. *Heat and Mass Transf*, 56: 2605-2617.

Gel MK. 2010. Polimer bitümlü membranlarla temel ve teras su yalıtım uygulamaları, uygulama teknikleri. BTM A.Ş. Teknik

Yayınlar. URL: <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/polimerbitumlumembranlarlatemel-ve-terassuyalitimuyg.pdf> (access date: May 15, 2022).

Hao X, Liu L, Tan H, Lin Y, Hu J, Yin W. 2022. The impacts of greenery systems on indoor thermal environments in transition seasons: an experimental investigation. *Buildings*, 12(506): 1-21.

Huang YY, Ma TJ. 2019. Using edible plant and lightweight expanded clay aggregate (LECA) to strengthen the thermal performance of extensive green roofs in subtropical urban areas. *Energies*, 12(3): 424.

Juras P. 2022. Positive aspects of green roof reducing energy consumption in winter. *Energies*, 15(1493): 1-14.

Kaboré M, Bozonnet E, Salagnac P. 2020. Building and urban cooling performance indexes of wetted and green roofs—a case study under current and future climates. *Energies*, 13(23): 6192.

Kon O, Caner İ, İlten N. 2021. Life cycle assessment of energy-efficient improvement for external walls of hospital building, *Int J Glob*, 25(3/4): 408-423.

Kurekci NA. 2016. Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers. *Energy Build*, 118: 197-213.

Lee LS, Jim CY. 2020. Thermal-irradiance behaviours of subtropical intensive green roof in winter and landscape-soil design implications. *Energy Build*, 209: 109692.

Lewandowski WM, Lewandowska-Iwaniak W. 2014. The external walls of a passive building: A classification and description of their thermal and optical properties. *Energy Build*, 69: 93-102.

Mahapatra D, Madav V, Setty ABTP. 2022. Evaluation of optimum thickness of insulation materials and their carbon mitigation potential in Indian climatic zone. *Environ Sci Pollut Res*, (in press). DOI: 10.21203/rs.3.rs-1565499/v1.

Mahmoud S, Ismaeel WS. 2019. Developing sustainable design guidelines for roof design in a hot arid climate. *Archit Sci Rev*, 62(6): 507-519.

Ozel M. 2013. Thermal, economical and environmental analysis of insulated building walls in a cold climate. *Energy Convers Manag*, 76: 674-684.

Peng LL, Yang X, He Y, Hu Z, Xu T, Jiang Z, Yao L. 2019. Thermal and energy performance of two distinct green roofs: Temporal pattern and underlying factors in a subtropical climate. *Energy Build*, 185: 247-258.

Ragab A, Abdelrady A. 2020. Impact of green roofs on energy demand for cooling in Egyptian buildings. *Sustainability*, 12(14): 5729.

Rosti B, Omidvar A, Monghasemi N. 2019. Optimum position and distribution of insulation layers for exterior walls of a building conditioned by earth-air heat exchanger. *App Therm Eng*, 163: 114362.

Saydam DB, Özalp C, Hürdoğan E, Polat C, Kavun E. 2021. Yeşil çatı uygulamasının örnek bir bina için ısıtma ihtiyacı ve çevre emisyonlarına etkisinin incelenmesi. *Müh Makina*, 62(703): 204-220.

Seçkin NP, Seçkin YÇ. 2016, Mimari tasarımda yeşil çatıların gelişimi. 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, June 2-3, 2016, İstanbul, Türkiye.

Tang M, Zheng X. 2019. Experimental study of the thermal performance of an extensive green roof on sunny summer days. *App Energy*, 242: 1010-1021.

Topçuoğlu K. 2017. Yalıtım teknolojisi, 2. Basım, Nobel Yayınları, Ankara, Türkiye, pp: 120.

TSE. 2013. 825, Binalarda ısı yalıtım kuralları, Türk Standardı.

- Ulaş A. 2010. Basen on TS 825 directive, analysis of heat loss, fuel consumption, carbondioxide emission and cost for buildings. MSc Thesis, Gazi University Institute of Science, Mechanical Engineering, Ankara, Türkiye, pp: 155.
- Vermaa M, Asafo-Adjeib D. 2021. Green approach to reducing electricity consumption in Ghana - current status and future prospect: a review. *J Emerg Tech Innov Res*, 8(5): 772-782.
- Wahba SM, Kamel BA, Nassar KM, Abdelsalam AS. 2018. Effectiveness of green roofs and green walls on energy consumption and indoor comfort in arid climates. *Civ Eng J*, 4(10): 2284-2295.
- Wang H, Huang Y, Yang L. 2022. Integrated economic and environmental assessment-based optimization design method of building roof thermal insulation. *Buildings*, 12(916): 1-20.
- Yin H, Kong F, Dronova I, Middel A, James P. 2019. Investigation of extensive green roof outdoor spatio-temporal thermal performance during summer in a subtropical monsoon climate. *Sci Total Environ*, 696: 133976.





## BAĞIRKAÇDERE (ÇANAKKALE) PB-ZN YATAĞI'NIN 3B CEVHER BLOK MODELLEMESİ

Sinan AKISKA<sup>1\*</sup>, Elif AKISKA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ankara University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, 06830, Gölbaşı, Ankara, Türkiye

**Özet:** Bağırkaçdere Pb-Zn yatağı Edremit (Balıkesir)'in yaklaşık 10 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Yatak özellikle son 30 yıldır aralıksız işletilmektedir. Bölgede yüzlek veren birimler; şist, metakumtaşı ve mermer mercceklerinin bulunduğu metamorfik birimler ile cevherleşme zonuna ait cevher-alterasyon kayalarındır. Bölgedeki faylar çoğunlukla KB-GD yönelimli olup cevherleşmeler de bu yönere uyumlu olarak gözlenmektedir. Bu çalışmada çalışma alanında yer alan 19 adet sondajda kesilen cevherli zonlar ve bunlara ait %Pb ve %Zn değerleri modellenmiştir. Yeraltında tespit edilen cevherli alanlar arasında, %Pb ve %Zn'nin işletme tenörü üzerinde kalan alanlarının kesişim bölgeleri belirlenmiş (26.337.500 hacimsel küp) ve bu parametreler yardımı ile yorumlanmış bir galeri haritası çizilmiştir. Bu modelleme çalışmasında Ters Mesafe Ağırlıklı interpolasyon algoritması kullanılmış ve modelleme çalışmasının parametreleri test edilmiştir. %Pb için optimal parametreler, güç değeri ve komşu değeri olarak 3'tür. %Zn için optimal parametreler ise sırasıyla güç değeri ve komşu değeri olarak 3 ve 2'dir. %Pb için Ortalama Mutlak Hata 2,00 ve Kare Kök-Ortalama Hata 4,25 iken, %Zn için Ortalama Mutlak Hata 1,14 ve Kök-Ortalama-Kare Hata 2,95'dir. Yapılan bu çalışma ile bir maden sahasında açılması planlanan bir maden ocağının yeri ve yönü tahmin edilebilmektedir. Ayrıca, metal fiyatlarındaki dalgalanmalar veya diğer artan maliyetler gibi önemli finansal değişiklikler olması durumunda, çalışma sırasında bu modelleme çalışmaları kullanılarak yeraltı madencilik operasyonları yeniden tasarlanabilir.

**Anahtar kelimeler:** Üç boyut, Blok model, Ters mesafe ağırlıklı, Galeri, Maden

### 3D Ore Block Modeling of the Bağırkaçdere (Çanakkale) Pb-Zn Deposit

**Abstract:** Bağırkaçdere Pb-Zn deposit is located approximately 10 km northeast of Edremit (Balıkesir). The deposit has been operated continuously for the last 30 years. The metamorphic units (schist, metasandstone, and marble lenses) and ore-alteration rocks are outcropped in the region. The faults in the region are mostly NW-SE oriented and mineralizations are observed in accordance with these directions. In this study, the ore zones cut in 19 boreholes and their %Pb and %Zn values were modeled. Among the ore zones detected in the subsurface environment, the intersected areas of %Pb and %Zn above the cutoff grades were determined (26,337,500 voxel) and an interpreted gallery was drawn using these parameters. In this modeling study, Inverse Distance Weighted interpolation algorithm was used and the parameters of the modeling study were tested. The optimal parameters for Pb% are 3 both as power value and neighbor value, while the optimal parameters for Zn% are 3 and 2 as power value and neighbor value, respectively. Mean Absolute Error is 2.00 and Root-Mean-Square Error is 4.25 for Pb%, while Mean Absolute Error is 1.14 and Root-Mean-Square Error is 2.95 for Zn%. With this study, the location and the direction of an ore adit, planned for opening in a mining area, can be estimated. In addition, underground mining operations can be redesigned using these modeling studies during work in case of any important financial changes such as fluctuations in metal prices or other increasing costs.

**Keywords:** Three dimension, Block model, Inverse distance weighted, Gallery, Ore

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ankara University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, 06830, Gölbaşı, Ankara, Türkiye

E mail: akiska@eng.ankara.edu.tr (S. AKISKA)

Sinan AKISKA <https://orcid.org/0000-0001-8262-7349>

Elif AKISKA <https://orcid.org/0000-0002-6180-4710>

Gönderi: 24 Eylül 2022

Kabul: 01 Kasım 2022

Yayınlanma: 01 Ocak 2023

Received: September 24, 2022

Accepted: November 01, 2022

Published: January 01, 2023

Cite as: Akiska S, Akiska E. 2023. 3D Ore block modeling of the Bağırkaçdere (Çanakkale) Pb-Zn deposit. BSJ Eng Sci, 6(1): 10-17.

### 1. Giriş

Maden yataklarının değerlendirilmesinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi, yeraltının tamamına ait gözlem olmamasıdır. Ancak sondajlar, kuyu logları ve jeofiziksel ölçümlerden elde edilen veriler bize yer altı hakkında önemli bilgiler sağlayabilmektedir. Sondajlardan elde edilen verilerin yer altının tamamının yorumlanması için kullanımı ancak bu verilerin uygun interpolasyon yöntemleri ile bir araya getirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu sebeple uygun interpolasyon yöntem seçimi doğruya en yakın tahmin için oldukça önemlidir. Yapılan interpolasyon çalışmaları ile birlikte

elde edilen hata tahmin verileri ve çapraz doğrulama teknikleri ile yapılan interpolasyon çalışmalarının doğrulukları denetlenebilmektedir (Johnston ve ark., 2001; Li ve Heap, 2008; Akiska ve ark., 2013a).

Jeolojik verilerin tam boyutunun belirlenmesi 1990'larda 3D yazılımı geliştirilmeden önce neredeyse imkansızdı. 3D rekonstrüksiyon için hazırlanan yazılımların son zamanlardaki gelişimi (örn. Lynx, GeoModeller, gOcad, LeapFrog, Rockworks), dünya biliminde her türlü jeolojik yapının mekansal uzantısının ve 3D sanal modellerin n-boyut analizine yol açan yeni sınırları açmıştır. Günümüzde, CBS, veritabanı ve 3B görselleştirme



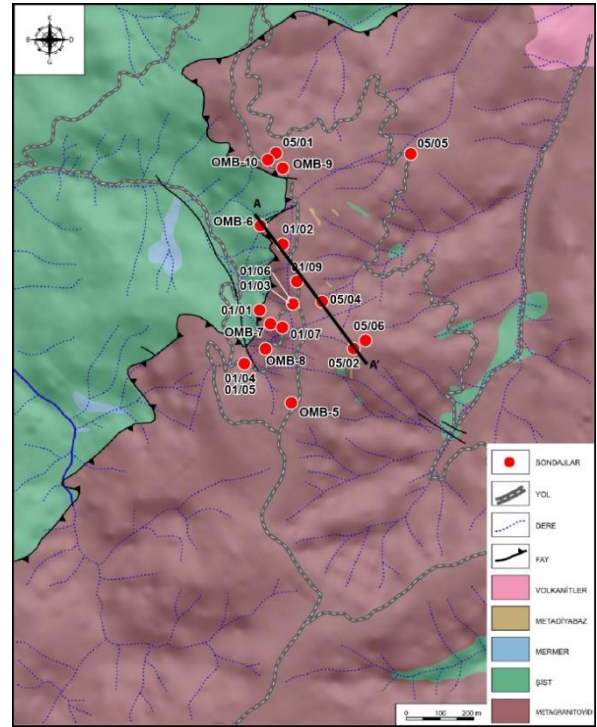
yazılımı, jeolojik bilginin jeolojik verileri görüntülemesi, analiz etmesi, sentezlemesi, modellemesi ve yorumlaması için kullanılan yaygın araçlardır (Zanchi ve ark., 2009). Yeryüzü madenlerinin gün geçtikçe azalması ile özellikle son yıllarda yeraltı madenlerinin araştırılması birçok ülkede ana hedef haline gelmiştir (Zhao ve ark., 1992). Genellikle cevher kütlelerinin tahmini geleneksel yöntemlerden, bilgisayar sektörünün de gelişmesi ile, daha ayrıntılı hesaplamalara ve tahminlere doğru kaymıştır. Basit 2B tahminlerin yerini 3B tahminler almıştır. Şu anda yeraltı maden tahminine ilişkin 3B teknikler ve teoriler, 3B bilgi alma, 3B tahminler ve 3B görselleştirme teknolojilerinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır (Chen ve ark., 2007). Yeraltının modellenmesi için birçok özel bilgisayar programı maden arama, madencilik ve petrol ve gaz endüstrilerinde geliştirilmiştir. Madencilik sektörü, genellikle büyük miktarlarda sondaj verilerine dayanarak, coğrafi ve cevher kütlelerinin mekansal modellenmesine odaklanmıştır (Turner, 1992; Houlding, 1994; Loudon, 2000). Veri interpolasyon teknikleri ve cevherin 3B modellenmesi de dahil, madenlerin görselleştirilmiş 3B jeolojik modellenmesi ile ilgili daha önceden gerçekleştirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır (örn. Wang vd., 2005; Feltrin vd., 2009; Ming vd., 2010). Geçtiğimiz 30 yıl boyunca 3B bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ile birlikte birçok araştırmacı 3B teknolojisi kullanarak cevher kütlesi rezerv hesaplaması ve 3B gösterimi (örn. Zhang, 2006; Akıska ve Akıska, 2018a; Akıska ve Akıska, 2018b), 3B jeolojik haritalama (örn. Zhang ve ark., 1999), 3B yapısal unsurların modellenmesi (örn. Zanchi ve ark., 2009; Dhont ve ark., 2012) gibi birçok çalışma yapmışlardır.

Bu çalışma ile yeraltında tespit edilen bir gömülü cevheri kazanmak için en optimum yeraltı galerisinin modelleme yardımı ile nasıl çizilebileceğine dair bir çalışma yapılmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel ve çapraz doğrulama yöntemleri ile de denetlenmiştir. Bunun için de polimetalik bir cevherleşme olan Bağırkaçdere Pb-Zn-Cu cevherleşmesine ait sondaj verileri kullanılmıştır.

## 2. Bölgesel Jeoloji

Son 30 yılda aktif olarak işletilen Bağırkaçdere Pb-Zn yatağı Biga Yarımadası'ndaki (KB Türkiye) önemli baz metal yataklarından biridir. Cevher oluşumu, yan kayaç karakteristikleri ve cevherleşme sırasındaki fizikokimyasal şartlar göz önüne alındığında son yıllarda yapılan çalışmalarda bölge cevherleşmelerinin distal Pb-Zn skarn tipi cevherleşmeler oldukları ortaya koyulmuştur (Akıska, 2010; Akıska ve ark., 2013b; Akıska, 2020). Çamlık metagranitoyidi, Karakaya metamorfik birimleri ve skarnlar bölgede gözlenen kayaçlardır. Çamlık metagranitoyidi, Sakarya kıtası içerisinde yüzlek veren Paleozoyik granitoidlerinden bir tanesidir (Delaloye ve Bingöl, 2000; Okay ve ark., 2006, Topuz ve ark., 2007). Yaşı, Okay ve ark. (1996) tarafından  $399 \pm 13$  my (Devoniyen) olarak tespit edilmiştir. Karakaya metamorfik birimleri Permo-Triyas yaşlı düşük

dereceli metasedimanter kayaçlar ve metadiyabazlardan oluşmakta olup protolitleri Karakaya Okyanusu'nun denizel sedimanlarıdır (Okay ve ark., 1990). Çalışma alanının batısında Oligo-Miyosen yaşlı Eybek plütünü tarafından kesilmiş iken doğuda Çamlık metagranitoyidi ile ilişkisi tartışmalıdır (Okay ve ark., 1990; Aysal ve ark., 2012). Karakaya metamorfik istifi, cevherleşme zonlarını da içeren şist, metakumtaşı ve mermer merclekleridir. Fayların genel eğilimleri KB-GD'dir. Bölgedeki cevherleşmelerin konumu genellikle bu yönlerle uyumludur. Bağırkaçdere galerisi içindeki ana cevherli zon kuzeybatı-güneydoğu yönlü olup, zon yapısal kontrollüdür. Şistozite düzlemleri ve bu düzlemlere paralellik gösteren daha genç faylar cevherin yerleşmesi için uygun alanları oluşturmuştur (Akıska, 2010) (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Çetinkaya, 1983a).

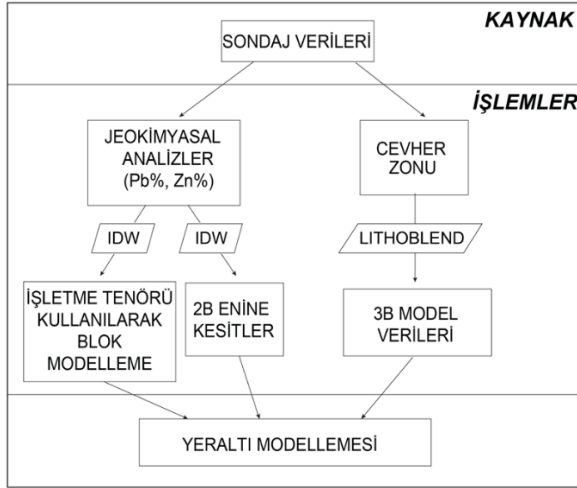
Çamlık metagranitoyidi üzerinde yapılan makroskopik incelemelerde genellikle sarı-kahverengi renklere sahip olduğu görülmektedir. Zayıf yapraklanma gösteren grantioidik kayaçta kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz ve muskovit taneleri makroskobik olarak izlenmektedir. Bazı kayaçlarda şistozite düzlemine paralel veya onu kesen ikincil çatlaklar ve bunları dolduran kuvars ve kalsit damarları da gözlenmektedir. Karakaya metamorfik birimleri genellikle klorit şist, biyotit şist, serizit-klorit şist ve serizit grafit-şist şeklinde gözlenmekte olup bu birimler içerisinde boyutları birkaç metreden birkaç yüz metrelere kadar oluşan metakumtaşı, metadiyabaz ve mermer merclekleri içermektedir (Yücelay, 1976; Çetinkaya ve ark., 1983a; Çetinkaya ve ark., 1983b). Çalışma alanında ise çoğunlukla grafit şistler ve serizit-grafit şistler yüzlek

vermektedir. Belirgin şistozite düzlemlerine sahip bu birimler içerisinde hem şistoziteye paralel hem de şistoziteyi kesen ikincil kuvars ve kalsit damarları görülmektedir. Ana mineraller kuvars, grafit ve serizit iken tali olarak da epidot ve kloritler görülmektedir. Metakum taşları genellikle açık sarı ve beyazımsı renklerde görülmektedir. Çoğunlukla silisleşmeler gösteren kayacıkta kuvars, ortoklas, plajiyoklas mineralleri ana mineraller olarak izlenmekte iken klorit ve serizit ise tali minerallerdir. Mermerler ise mozayik doku gösteren orta taneli kalsitlerden oluşmaktadır.

### 3. Yöntem

#### 3.1. İnterpolasyon Algoritması

Modelleme çalışmalarında çalışma içeriğine, veri frekanslarına ve veri doğruluklarına göre farklı interpolasyon algoritmaları kullanılabilir. Bir modelleme çalışmasında bu interpolasyon algoritmaları test edilir ve en iyi sonuçlar seçilir. Bu modelleme çalışmasında da, çeşitli interpolasyon algoritmaları test edilmiş ve ardından “Cevher Zonu” katı modellemesi için Lithoblend algoritması ve %Pb ve %Zn modellemesi için Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) yöntem seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Modelleme işlemlerinin akış şeması.

En yakın komşu jeo-uzamsal algoritması olan Lithoblend algoritması, litolojik modelleme için özel olarak tasarlanmıştır (Rockware, 2008). Algoritma, her bir litolojinin etrafındaki yatay düzlemi araştırır ve her bir litolojinin etrafında büyüyen bir daireyi izleyerek, halihazırda interpolasyon yapılmış bir düğüme çarpmadığı sürece, karşılık gelen sayısal değeri (litoloji tablosunda tanımlanan) bir sonraki düğüme yinelemeli olarak atar (Rockware, 2008). Bunun dışında, sondaj verileri, %Pb ve %Zn işletme sınır dereceleri kullanılarak IDW yöntemi ile interpolasyona tabi tutulmuştur. IDW, en basit ve en yaygın kullanılan deterministik yöntemlerden birisidir. IDW yöntemi, iki nokta arasındaki ilişkinin ve benzerliğin, aralarındaki mesafeyle orantılı olduğunu varsayar (Isaaks ve Srivistava, 1989; Li ve Heap, 2008). Bu nedenle bilinmeyen bir nokta tahmin edilirken, yakın noktalar

çok ve uzak noktalar ise az ağırlıklandırılarak tahmin yapılır (Franke ve Nielson, 1980). IDW Eşitlik 1'deki formülle ifade edilir;

$$\vartheta = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} \vartheta_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (1)$$

$\vartheta$ , öznitelik değeri tahmin edilecek noktayı; n, ölçüm noktasının toplam sayısını; d, noktalar arası mesafeyi;  $\vartheta_i$ , i'inci konumdaki öznitelik değerini ifade eder. Tahminde kullanılan ağırlıklar, mesafeye ters orantılı olarak herhangi bir üssü (p: power) ile ifade edilir. Bu değer özellikle devamlılığın az olduğu durumlarda daha yüksek tutulur. IDW'nin doğruluğunu etkileyen ana faktör p parametresinin değeridir (Burrough ve McDonnell, 1998). Optimal p değeri seçimi için bu çalışmada minimum RMSE'ye karşılık gelen 3 değeri seçilmiştir.

#### 3.2. Yazılım Özellikleri

Bu çalışmada yeraltı modellemesini kullanan Rockworks 15® yazılımı, iki farklı jeolojik veri setini kullanır: litolojik ve/veya stratigrafik. Sondaj verilerindeki tüm birimler yazılıma girildikten sonra litolojik birimler kullanılarak modelleme işlemleri yapılır. Yeraltı modellemesi için stratigrafi kullanılıyorsa, litolojik birimler yorumlanmalıdır. Stratigrafiye dayalı modelleme ile litolojiye dayalı modelleme arasındaki temel fark, stratigrafik birimlerin dizide asla tekrarlanmaması ve üst ve alt birimler arasındaki ilişkilerinin değişmez olmasıdır. Oysa litolojik birimler tekrarlanabilir. Yazılım, litoloji tabanlı modelleme için voxel (Volumetric piXEL) tabanlı blok modelleme yöntemini kullanır. Blok modelleme, düzensiz aralıklı verilerden türetilen düzenli aralıklı düğümlerden bir küp oluşturan üç boyutlu bir ızgara işlemidir. 3B modelleme sırasında, yeraltı, voxel adı verilen belirli boyutlara sahip hücrelere bölünür ve bu hücrelere karşılık gelen jeolojik birimler küpleri oluşturur. Oluşturulan her voxel, düğüm adı verilen köşe noktalarıyla tanımlanır. Her düğümün bir x, y ve z (konum koordinatı) ve g (bu çalışmada, litoloji g değerine atanmıştır) değerleri vardır (Rockware, 2008).

### 4. Sonuç

#### 4.1. Cevherleşmenin 3B Modellemesi

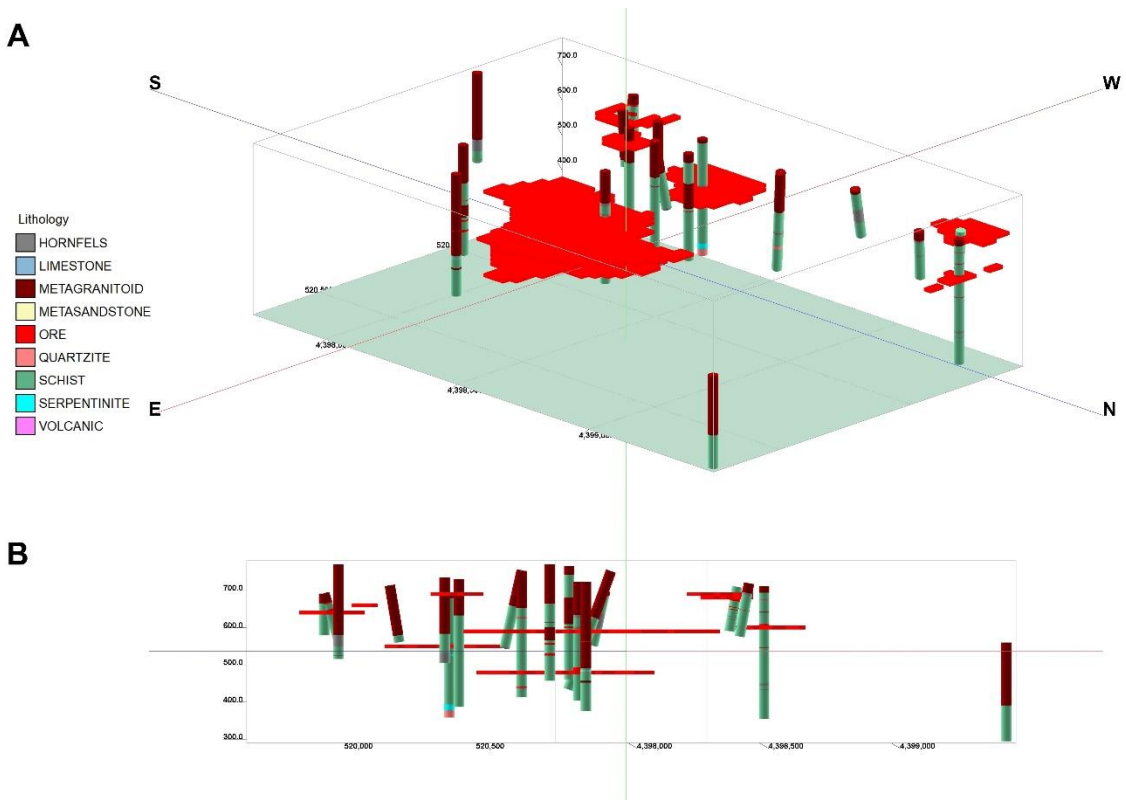
Çalışma alanı yaklaşık 3 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yer almakta olup düzensiz bir topografyaya sahiptir. Bölgede toplam 1100 metre uzunluğunda üç adet galeri yer almaktadır. Yeraltı modellemesi oluşturmak için 19 adet sondaj verisi Çetinkaya (1983) ve Oreks Madencilik Ltd. Şti.'den alınmıştır. En sığ sondaj 60 m (S-01) ve en derin sondaj 245,65 m'dir (S-13). Toplam sondaj derinliği 4761,8 m, ortalama sondaj derinliği 250,62 m'dir. 19 sondaj kuyusunun 14'ünde cevher zonları görülmektedir. Lithoblend ve IDW algoritmaları sırasıyla “ORE ZONE” ve %Pb ve %Zn değerlerine uygulanmıştır. 10x10x6m boyutlarında hem %Pb hem de %Zn için 4.161.802 voxel oluşturulmuştur. Her eleman için güç değeri (p) “3”

olarak seçilmiştir. Komşu sayıları sırasıyla %Pb ve %Zn için 3 ve 2'dir. Veriler için bölgesel otokorelasyon üzerinde herhangi bir yön etkisi olmadığı için dairesel sektör kullanılmış ve anizotropi faktörü "1" olarak alınmıştır.

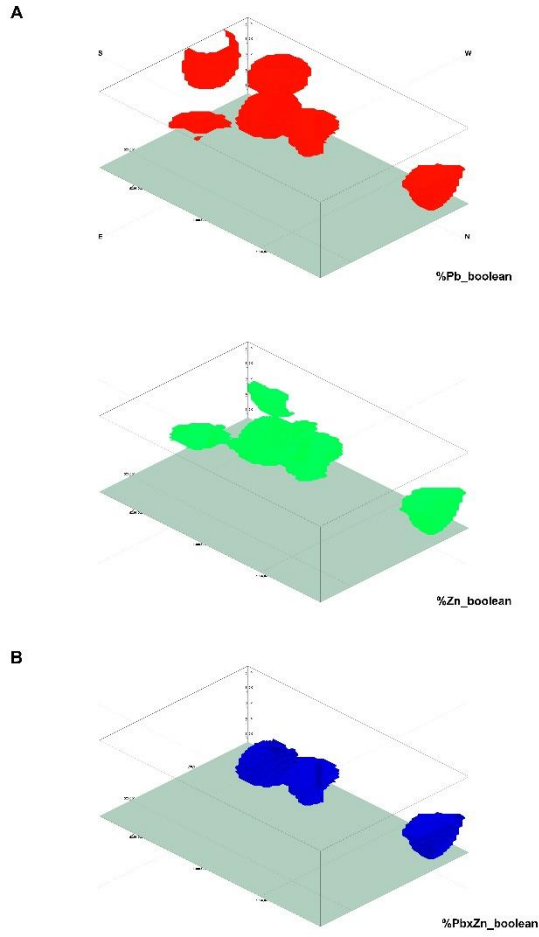
Bu çalışmada istiftteki tüm birimler (serizit-grafit şistler, kalkıştler, mermerler, meta-diyabazlar, meta-kumtaşları ve cevher zonları) aynı stratigrafik birim içinde olup, bazıları tekrarlıdır. Bu nedenle, stratigrafi tabanlı modelleme yerine litoloji tabanlı modelleme tercih edilmiştir. Bu çalışmada yalnızca cevherli alanlara odaklanıldığı için jeolojik birimler arasında yalnızca cevher zonu (ORE ZONE) modelleme sonuçları 3B olarak gösterilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde cevher zonu ile temsil edilen alanların oldukça geniş alanları kapsadığı görülmektedir.

Bunun sebebinin de özellikle sondaj sayısının oldukça yetersiz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yalnızca bu çalışma ile belirli bir alana odaklanmak oldukça zor görünmektedir. Bu durumda, modelleme çalışmasını desteklemek için yazılıma %Pb ve %Zn verileri girilmiş ve bu elemanların yeraltı ortamındaki dağılımı 3 boyutlu olarak modellenmiş ve hem Pb hem de Zn elementlerinin bölgedeki işletme tenörü (Pb için %7, Zn için %4 işletme tenörü) üzerinde kalan alanları model çalışması ile tespit edilmeye çalışılmıştır (Şekil 4a). Hem %Pb hem de %Zn için farklı alanlar burada ayrı ayrı değerlendirilebilir. Ancak bu çalışmadaki amaç ilk etapta en olası cevheri en uygun şekilde yeraltından alabilmek

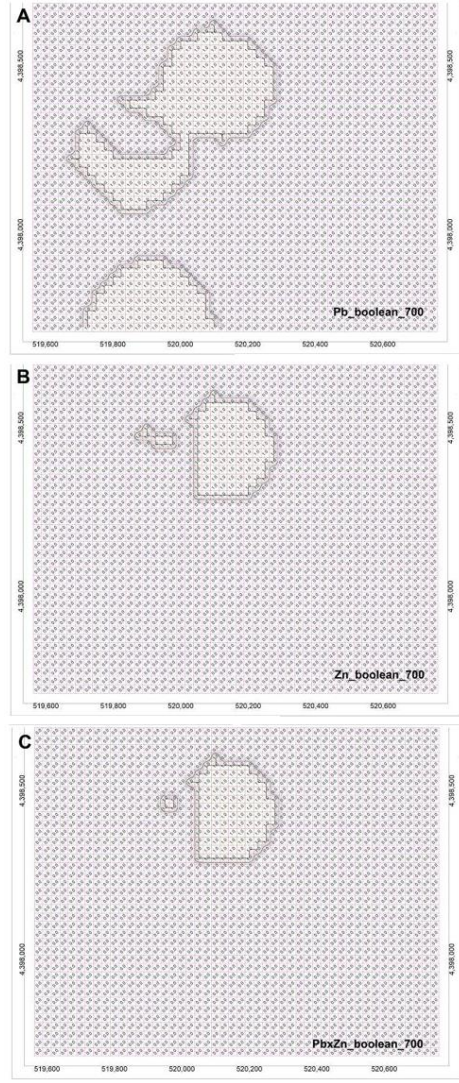
için bir galeri oluşturmaktır. Bunun için de her iki cevher elementinin de birlikte bulunduğu alanlara ilk başta odaklanmak daha mantıklı olacaktır. Bu sebeple kesişen alanlar tespit edilmiş ve olası cevher zonları belirlenmiştir (Şekil 4b). Kesişim alanları oluşturabilmek için %Pb ve %Zn model dosyaları ikili (Boolean) model dosyalarına çevrilmiştir. Bu alanlar saptanırken her bir kübün köşe koordinatı ve burada yer alan değerlerin işletme sınırının üstünde olup olmadığı tespit edilmiştir. Bu dosyalarda, işletme sınırının üstündeki değerlere 1, altındaki değerlere ise 0 değeri atanır. Daha sonra Pb boolean ve Zn boolean model dosyalarına çarpma işlemi uygulanarak her ikisinde de 1 değerine sahip olan alanlar tespit edilmiştir (Şekil 5). Oluşturulan PbxZn boolean dosyası daha sonra MS Excel'e aktarılmıştır. MS Excel'de yazılan bir makro ile bu dosyada yer alan değerlerin yalnızca "1" olanları alınmış diğerleri ise modelleme çalışmasının dışında bırakılmıştır. Sonuç olarak, Şekil 4b'den de görüleceği gibi iki farklı kesişen bölge tespit edilmiştir. Birinci bölge, yaklaşık 500 ila 700 metre arası kotlarda ve 01/02, 01/08, 01/09 ve 05/04 sondajları ile sınırlı alanda, ikinci bölge ise yaklaşık 350 ila 500 metre kotlarda ve 05/01, OMB-9 ve OMB10 sondajları ile sınırlı alanda gözlenmektedir. Bu çalışmada çalışma alanının merkezinde yer alan ilk bölgeye odaklanılmıştır. Bu cevher zonunu içine alan mevcut sondaj noktaları arasında bir adet A-A' enine kesit çizilmiş olup (Şekil 1) kesişim bölgeleri için 2 boyutlu olarak mekansal dağılımı modellenmesi (%Pb ve %Zn için) yapılmıştır (Şekil 6).



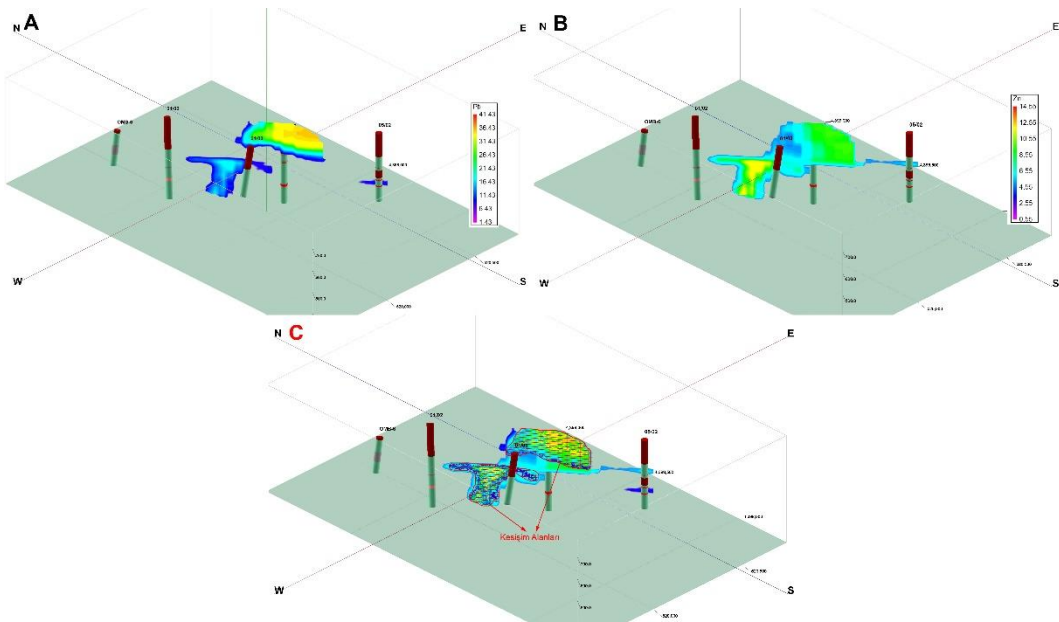
Şekil 3. Lithoblending algoritması ile modellenen sondaj kuyularının ve "Cevher Zonu"nun genel görünümü; A. KD'dan görünüm (yatay düzlemde 20° açılı), B. GD'dan görünüm (yatay düzlem).



Şekil 4. A) İşletme tenörlerinin üzerindeki %Pb ve %Zn değerlerinin genel görünümü, B) hesaplanan kesişim alanı.



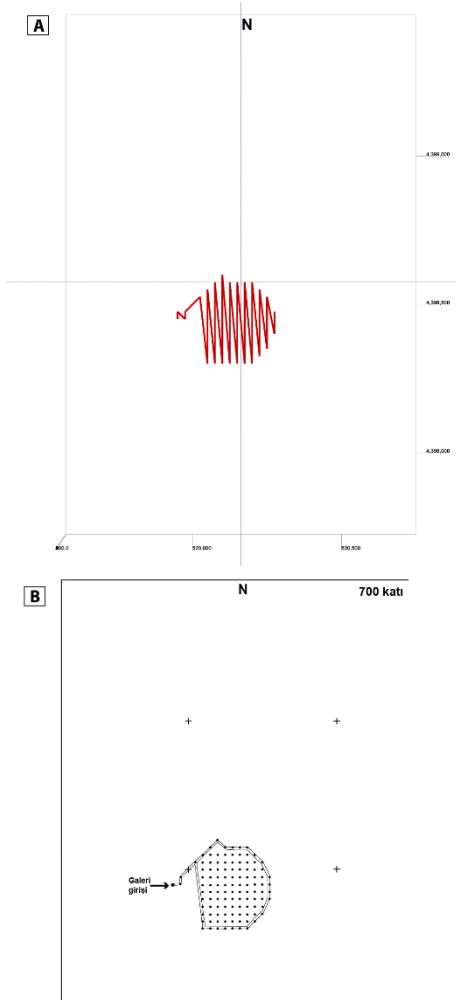
Şekil 5. A) Pb ve B) Zn Boolean dosyalarının şematik gösterimi (700 katı) ve C) 700 katı için kesişen alanların tespiti.



Şekil 6. A-A' kesit hattı boyunca A) Pb ve B) Zn değerlerinin işletme sınırı üstünde kalan alanları, C) her iki elementin kesiştiği alanlar.

#### 4.2. Galerinin Tasarlanması

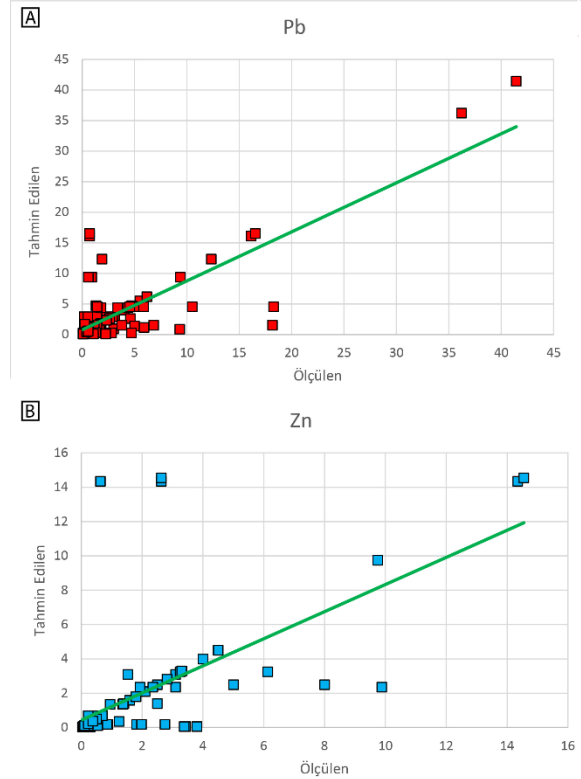
Yapılan keşişim işlemleri sonucunda galeri doğrultu ve yönelimi, keşişim yöntemi kullanılarak elde edilen değerler yardımı ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu sebeple 700 kotu için bir galeri haritası oluşturulmuştur. 700 seviyesindeki keşişim noktalarının galeri hattının üstten görünümü ve yorumlanmış galeri haritası Şekil 7a ve 7b'de verilmiştir. Şekil 7b'de gösterilen seviyedeki her nokta cevherin bulunduğu alanı ifade etmektedir. Ancak bu çalışmada sadece galerinin dış sınırları çizilmiştir. Şekil 7b'deki noktalar göz önüne alındığında birbirine paralel hatlar oluşturularak buradaki cevher alınabilir ancak bölgedeki yapısal unsurların da dikkatle incelenip modele eklenmesi ile daha hassas galeri haritası oluşturulabilir. Galerinin ilk giriş doğrultusu yaklaşık D, genel yönelimi ise D-GD'dur. Galeri giriş noktası burada varsayımsal olarak ifade edilmiştir. Tespit edilen bu nokta tam olarak yüzeyde olmayabilir. Bunun nedeni ise bölgenin üç boyutlu topoğrafik model dosyasının bulunmamasıdır. Burada verilen ve galerinin girişi olarak belirlenen nokta cevher içermiyorsa yüzeye en yakın cevheri içeren nokta tespit edilerek buna göre galerinin girişi belirlenebilir.



Şekil 7. A) 700 katına ait keşişim noktalarının bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş ham harita, B) Yorumlanmış galeri haritası.

#### 5. Modelleme Çalışmasının Doğruluğu

Çapraz doğrulama, bir çalışmanın belirtilen hedeflere ulaşım ulaşmadığını test etme sürecidir (Olea, 1999) ve interpolasyonun doğruluğunu kontrol etmek için en yaygın kullanılan yöntemdir (Voltz ve Webster, 1990). Bu yöntem, seçilen modelin güvenilirliğini, örnek noktaların değerlerini, çevredeki değerlerle tahmin ederek ve gerçek değerleri tahmin edilen değerlerle karşılaştırarak test eder (Davis, 1987). Bu yöntemde, çalışma alanı veri setinden değeri bilinen noktalar geçici olarak hariç tutulur ve çevreleyen verileri kullanarak çıkarılan noktaların değerleri tahmin edilir. Bu nedenle gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki hata payları ölçülür. Bu işlem kalan tüm numuneler için tekrarlanır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Gereksiz veri yükünü ortadan kaldırmak için çapraz doğrulama çok önemlidir (Olea, 1999; Webster ve Oliver, 2001). Yukarıda belirtildiği gibi IDW, %Pb ve %Zn modelleme çalışması için en uygun interpolasyon algoritması olarak seçilmiştir. Modelleme sonuçları istatistiksel olarak ve çapraz doğrulama işlemleri kullanılarak kontrol edilmiş ve istatistiksel parametreler ve çapraz doğrulama sonuçları sırasıyla Tablo 1 ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. A) %Pb ve B) %Zn değerlerine uygulanan Ters Mesafe Ağırlıklı yöntem için çapraz doğrulama diyagramları.

**Tablo 1.** Ters mesafe ağırlıklı yöntemi ile yapılan modelleme çalışmasında kullanılan parametreler ve tahmin hataları

	Pb (%)	Zn(%)
Güç Değeri (P)	3	3
Komşuluk Adeti	3	2
Korelasyon Katsayısı	0,81	0,63
Ortalama Mutlak Hata (ME)	2,00	1,14
Karekök Ortalama Hata (RMSE)	4,25	2,95

#### 4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada Bağırkaçdere (Çanakkale) Pb-Zn cevherleşmesine ait sondaj verileri ve bu verilerden elde edilen %Pb ve %Zn değerlerini kullanarak bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelde yeraltındaki cevherli zonlar tespit edilmiş ve daha sonra ise bölgedeki işletme tenörü kullanılarak %Pb ve %Zn değerleri modele eklenmiştir. Bu değerlerin kesiştiği bölgeler model üzerinde yapılan matematiksel işlemler aracılığı ile tespit edilmiştir. Kesişim alanlarının belirlenmesindeki amaç, sahada ilk olarak odaklanılacak en uygun bölge olması sebebiyledir. Modelleme çalışması sonucunda sahanın merkezinde ve kuzeyinde iki zon tespit edilmiş olup bu zonlar toplam 26.337.500 hacimsel küpten (voxel) oluşmuştur. Bu veriler yardımı ile 700 kotunda bir galeri haritası çizilmiştir. Bu haritada da yine kesişim alanlarının bulunduğu yerlere odaklanılmıştır. Yapılan modelleme çalışmasının doğruluğunu tespit etmek amacı ile çapraz doğrulama ve bazı istatistik parametreler kullanılmıştır. Buna göre %Pb için ölçülen tahmini değerler arasındaki korelasyon katsayısı değeri 0,81 olup bu değer %Zn için 0,63'tür. Ortalama Mutlak Hata (MAE) değerleri %Pb için 2,00, %Zn için 2,14; Karekök Ortalama Hata (RMSE) değerleri ise %Pb için 4,25, %Zn için 2,95'dir.

Bu çalışmanın en önemli amacı, ümitli bir sahada yapılan rezerv hesaplamaları ve yeraltında 3B cevherin ortaya konulmasından sonra arazide çalışmaya ilk olarak hangi bölgeden başlanması gerektiği hususunda önemli bilgiler sağlamaktır. Bir nevi kağıttan araziye geçilmesinde ara bir yardımcı araç olarak görülmelidir. Yapılan çalışmada tespit edilen alan dışında da işletilebilecek cevher bulunan birçok alan olması muhtemeldir. Ancak burada odaklanılan alan hem Pb hem de Zn için işletme sınırı üstünde kalan ortak alandır. Bu sebeple ilk olarak bu bölgelerde işletmeye başlanması daha yüksek kazanç sağlanacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca, metal fiyatlarındaki değişiklikler, döviz kurları vs. gibi işletme tenörünün değişebileceği durumlar olabilir. Bu sebeple ilgili modelde parametreler değiştirilerek daha farklı odak noktaları da tespit edilebilir.

Bu çalışmada elde edilen veriler çapraz doğrulama yöntemleri ve bazı denetleme parametreleri ile denetlenmiştir. Ancak bir bölgede yeraltı galerisi açılması

planlanırken mutlaka maden jeolojik ve yapısal unsurlar gibi jeolojik parametreler öncelikle ortaya koyulmalıdır.

#### Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.A.	E.A.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
L	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, L= literatür tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

#### Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

#### Kaynaklar

- Akıska S, Akıska E. 2018a. An ore adit planning with the help of three dimensional ore body modeling: A case study from Çulfa Çukuru Pb-Zn-Cu-Ag deposit. Bull Miner Res Explor, 157: 191-206.
- Akıska S, Akıska E. 2018b. Reserve estimation of Bagirkacdere Pb-Zn deposit (Canakkale/Turkey) by Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method. 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, May 7-11, 2018, Antalya, Türkiye, pp: 202.
- Akıska S, Sayılı İS, Demirela G. 2013a. 3D Subsurface modeling of mineralization: A case study from Handeresi (Çanakkale, NW Turkey) Pb-Zn-Cu deposit. Turk J Earth Sci, 22: 574-587.
- Akıska S, Sayılı İS, Demirela G. 2013b. Geology, mineralogy and the Pb, S isotope study of the Kalkım Pb-Zn±Cu deposits, Biga Peninsula, NW Turkey. J Geosci-Czech, 58(4): 379-396.
- Akıska S. 2010. Cu-Pb-Zn occurrences of the Yenice (Çanakkale) area. PhD Thesis, Ankara University, Ankara, Türkiye, pp: 254.
- Akıska S. 2020. Crystallization conditions and compositional variations of silicate and sulfide minerals in the Pb-Zn skarn deposits, Biga Peninsula, NW Turkey. Ore Geol Rev, 103322 DOI: 10.1016/j.oregeorev.2020.103322.
- Aysal N, Ustaömer T, Öngen S, Keskin M, Köksal S, Peytcheva I, Fanning M. 2012. Origin of the Early-Middle Devonian magmatism in the Sakarya Zone, NW Turkey: geochronology, geochemistry and isotope systematics. J Asian Earth Sci, 45: 201-222.
- Burrough PA, McDonnell RA. 1998. Creating continuous surfaces from point data. In: Burrough PA, Goodchild MF, McDonnell RA, Switzer P, Worboys M. (Eds.), Principles of Geographic Information Systems. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Çetinkaya N, Karul B, Önal R, Yenigün K 1983b. Çanakkale-Yenice-Kalkım Handeresi Pb-Zn-Cu yatağı jeoloji raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:7822,

- Ankara, Türkiye.
- Çetinkaya N, Karul B, Önal R, Yenigün K. 1983a. Çanakkale-Yenice-Kalkım Bağırkaç Dere jeoloji raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7814, Ankara, Türkiye.
- Chen J, Lu P, Wu W, Zhao J, Hu Q 2007. A 3-D prediction method for blind orebody based on 3-D visualization model and its application. *Earth Sci Front*, 14(5): 54-62.
- Davis BM. 1987. Uses and Abuses of cross-validation in geostatistics. *Math Geol*, 19(3): 241-248.
- Delaloye M, Bingöl E. 2000. Granitoids from western and northwestern Anatolia: Geochemistry and modeling of geodynamic evolution. *Int Geol Rev*, 42: 241-268.
- Dhont D, Monod B, Hervouët Y, Backé G, Klarica S, Choy JE. 2012. 3D geological modeling of the Trujillo block: Insights for crustal escape models of the Venezuelan Andes. *J S Am Earth Sci*, 39: 245-251.
- Feltrin L, McLellan JG, Oliver NHS. 2009. Modelling the giant, Zn-Pb-Ag century deposit, Queensland, Australia. *Comput and Geosci*, 35: 108-133.
- Franke R, Nielson G. 1980 Smooth interpolation of large sets of scattered data. *Int J Numer Methods Eng*, 15: 1691-1704.
- Houlding SW. 1994. 3D Geoscience Modeling: Computer Techniques for Geological Characterization. Springer, Berlin, Germany, pp: 309.
- Isaaks EH, Srivastava RM. 1989. Applied geostatistics. Oxford University Press, Oxford, UK, pp: 561.
- Johnston K, Ver Hoef JM, Krivoruchko K, Lucas N. 2001. Using ArcGIS geostatistical analyst. ESRI Press, Redlands, CA, US.
- Li J, Heap A. 2008. A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Record 2008/23*, Geoscience Australia, Canberra, Australia.
- Loudon TV. 2000. Geoscience after IT: a view of the conventional geoscience information system. *Comput and Geosci*, 26: A75-A85.
- Ming J, Pan M, Qu H, Ge Z. 2010. GIS: A 3D geological multibody modeling system from netty cross-sections with topology. *Comput and Geosci*, 36: 756-767.
- Okay Aİ, Satır M, Maluski H, Siyako M, Monie P, Metzger R, Akyüz S. 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: geological and geochronological constraints. Yin, A., Harrison, M. (Ed.). *Tectonics of Asia*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp: 420-441.
- Okay Aİ, Satır M, Siebel W. 2006. Pre-Alpide orogenic events in the Eastern Mediterranean region. In: Gee DG, Stephenson RA (Eds.), *European Lithosphere Dynamics*. Geol Soc London, 32: 389-405.
- Okay Aİ, Siyako M, Bürkan KA. 1990. Biga yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeol Dern Bült*, 2: 83-121.
- Olea RA. 1999. *Geostatistics for engineers and earth scientists*. Kluwer Academic Publishers, London, UK, pp: 303.
- Rockware. 2008. *Rockworks15*. Rockware Golden Co., US, pp: 310.
- Topuz G, Altherr R, Schwartz WH, Dokuz A, Meyer, HP. 2007. Variscan amphibolites-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey). *Int J Earth Sci*, 96: 861-873.
- Turner AK. 1992. Three-dimensional modelling with geoscientific information systems. In: *Proceedings of the NATO Adv. Res. Workshop*, S.Barbara, California. Kluwer, Dordrecht, pp: 443.
- Voltz M, Webster R. 1990. A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. *Eur J Soil Sci*, 41: 473-490.
- Wang ED, Li Y, Bao YB. 2005. Visualized 3-D modeling of orebodies. *J Northeast Univ*, 26: 890-892.
- Webster R, Oliver MA. 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and Sons, New York, US, pp: 360.
- Yücelay MA. 1976. Çanakkale-Kalkım-Handeresi Pb-Zn-Cu bölgesinin etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 5720, Ankara, Türkiye.
- Zanchi A, Francesca S, Stefano Z, Simone S, Graziano G. 2009. 3D reconstruction of complex geological bodies: examples from the Alps. *Comput and Geosci*, 35: 49-69.
- Zhang XY. 2006. Research on key technologies of reserve calculation analysis system based on geo-spatial 3-D visualization, of earth probing and information technology. Doctoral Dissertation, Jilin University, Changchun, China, pp. 143.
- Zhang ZW, Cai KQ, Xu ZH. 1999. Large-scale metallogenic prediction method. *Earth Sci Front*, 6(1): 12.
- Zhao PD, Li ZJ, Hu GD. 1992. Three dimensional statistical prediction of deposit in key metallogenic region: an example from Yueshan area in Anhui Province. *University of Geosciences Press, Wuhan, China*, pp: 107.





## RISK ANALYSIS AND EVALUATION OF THE CURRENT SITUATION IN TERMS OF WORK SAFETY IN THE DRINKING WATER TREATMENT PLANT

Hülya BÖKE ÖZKOÇ<sup>1</sup>, Cemre Gizem SAĞLAM<sup>2</sup>, Ayşenur USLU<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 55139, Samsun, Türkiye

<sup>2</sup>Trabzon İçmesuyu Ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 61040, Trabzon, Türkiye


<sup>3</sup>Sinop University, Faculty of Health Science, Department of Occupational Health and Safety, 57000, Sinop, Türkiye


**Abstract:** Water treatment plants are the most important facilities used to provide potable water to settlements and clean water. These facilities raise water quality to the desired standards physically, bacteriologically, and chemically. A conventional drinking water treatment plant consists of aeration, coagulation, flocculation, settling, filtration and disinfection units. Each of these units has its hazards. For this reason, if adequate safety precautions are not taken, the possibility of plant employees being exposed to these hazards will be quite high. Risks arise as a result of exposure to hazards in every workplace. It is important to analyze these risks and determine the precautionary priorities and to ensure health and safety in the workplace. In this study, the hazards that employees may be exposed to in a drinking water treatment plant in the Eastern Black Sea region were determined. All the units of the facility were examined and all risks that would affect the employees and the working order of the facility were calculated with the matrix method. After the risk levels have been determined, in the study the risks named as unacceptable and as to be considered are presented and the precautions to be taken in the facility are listed to be protected from these risks. As a result of the study, the importance of personal protection measures and safety culture, especially collective protection measures, was emphasized for the employees in such workplaces containing complex units.


**Keywords:** Water treatment plants, Clean water, Drinking water treatment plant, Hazard, Risk analysis

\*Corresponding author: Sinop University, Faculty of Health Science, Department of Occupational Health and Safety, 57000, Sinop, Türkiye

E mail: auslu@sinop.edu.tr (Ayşenur USLU)

Hülya BÖKE ÖZKOÇ  <https://orcid.org/0000-0002-8775-837X>

Cemre Gizem SAĞLAM  <https://orcid.org/0000-0003-4905-7393>

Ayşenur USLU  <https://orcid.org/0000-0001-5103-9405>

Received: August 06, 2022

Accepted: November 10, 2022

Published: January 01, 2023

**Cite as:** Böke Özkoç H, Sağlam CG, Uslu A. 2023. Risk analysis and evaluation of the current situation in terms of work safety in the drinking water treatment plant. *BSJ Eng Sci*, 6(1): 18-24.

### 1. Introduction

Along with the advances in industry and technology, as a result of changes in production tools and processes, health and safety problems increase as well as the risks that employees are exposed to. Taking health and safety measures to eliminate these problems is only possible with the conscious implementation and execution of relevant regulations and scientific methods. By minimizing work accidents and occupational diseases, regulations create a healthy and safe working environment for employees and protect the future of both employees and their dependents (Tekbaş, 2013). Poor working conditions can cause loss of products and materials in the workplace, damage to work equipment, and most importantly, injuries, illnesses, loss of limbs, and death of qualified and trained employees. Conceptually, occupational safety is defined as the technical rules that determine the obligations of the employer to eliminate or reduce the existing hazards in the workplace (Demircioğlu and Centel, 2007). When workplace accidents are examined, it has been determined that 80% of these accidents are caused by

dangerous behaviors and 18% are caused by dangerous situations in the working environment. According to these data, it is concluded that employers and employees should be sensitive about occupational health and safety and fulfill their duties duly. The first step in creating a safe workplace is risk assessment for which the employer is responsible.

There are two types of approaches to risk analysis: reactive and proactive. In the reactive approach, it is ensured that the system is not repeated by intervening after the accident occurs, while the proactive approach is based on predicting and preventing the risks that may occur before the accident (Özkılıç, 2007).

According to the Occupational Health and Safety Law, which entered into force on 2013, it is among the general obligations of employers to carry out or have risk assessments in the workplace (Anonymous, 2021). By this law, it has become clear that employers who exhibit reactive behavior should now take a proactive approach. Water Treatment Plant is an infrastructure facility that guarantees human and environmental health and plays a key role in providing healthy clean water access to the community (Spellman, 2003). For this reason, it is very



important to carry out risk analysis against both external and internal dangers, to protect the process, to take the necessary precautions in the equipment, and,, to inform and train the employees (Çakmakçı et al., 2013).

In the risk assessment, first of all, potential dangers that may occur during the activities of a workplace that produces or provide services or that may come from outside are defined. Then a risk analysis is carried out. The main purpose of risk analysis is to estimate the magnitude of risk in all processes in the workplace and to decide whether the existing risk will be acceptable. Finally, it is ensured that control measures are taken regarding the risks found and that death, injury, and health deterioration are minimized (Özkılıç, 2005).

Drinking water safety is the ability to effectively protect against the negative effects of chemical, microbiological and radioactive pollutants at every stage where the source of drinking water passes from the feeding area until it reaches the final consumer. In addition to the quality of drinking water by TS 266 standards, it is necessary for drinking water safety that the drinking water network flow is sufficient (Ertaş and Sarımeahmetoğlu, 2019). To guarantee drinking water safety permanently, each process in such plants contains risks for the employees.

Dangers to be encountered in drinking water treatment plants are listed below:

### 1.1. Dangers of Accidents

Slips, falls and yaws on wet and slippery ground levels during the withdrawal of water; falls from height while climbing or while standing in an elevated industrial installation, and falls due to working with faulty ladders; falling into an industrial installation or water well during the inspection and/or taking water samples for analysis; injuries caused by being caught in work clothes or a part of the body between parts of unprotected moving machinery; electric shock due to contact with active cables or faulty electrical installations, (the danger is usually quite high because the work is done in a wet or humid environment); exposure to dangerous substances due to the sudden release of toxic substances as a result of an accidental or human-induced situation, such as the addition of chemicals to an unsuitable installation, (for example, the release of chlorine gas due to the addition of disinfectants such as hypochlorite burning in aluminum sulfate); fires due to improper storage of chemicals, contact of a flammable chemical with a strong oxidant (disinfectant) as a result of sudden release from the pipes in the process; dangers of explosion as a result of contact with ozone (a very strong oxidant), organic chemicals and a strong reducing agent; dangers of drowning when working in reservoirs or channels with strong currents; dangers of drowning when carrying out maintenance or installation works such as working in a closed space (tank, boiler) or while performing excavation works (collapse of tunnel or excavation area) (Çakmakçı and Özkaya, 2013).

### 1.2. Physical Dangers

Exposure to high noise levels caused by electromechanical equipment and a noisy environment; exposure to adverse weather conditions: being exposed to the risk of colds as a result of working in rain, low temperatures and windy weather, and excessive sweating in summer; exposure to UV rays during water disinfection, may be damaging to the eyes and skin (Anonymous, 2009).

### 1.3. Chemical Dangers

It is the exposure to different disinfectants used for water disinfection. These are listed below:

#### 1.3.1. Chlorine (gas)

Chlorine is the most preferred disinfectant type in drinking water treatment (Al-Otoum et al., 2016). Chlorine is preferred because it is cheap and easy to operate. It is a very strong oxidizer and disinfectant. It is a toxic and corrosive gas that causes irritates in the eyes and respiratory system even at low concentrations (Özgür, 2021).

#### 1.3.2. Hydrochloric acid

It is a very strong acid used in water treatment processes, especially in the reverse osmosis system, which is one of the drinking water processes, to lower the pH value of the water. It causes severe skin burns and eye damage if swallowed, in contact with skin or inhaled.

#### 1.3.3. Sodium hypochlorite (NaOCl)

It is used as a solution in water purification as a disinfectant. Permanent irritations occur in case of exposure to the solution. The substance is toxic and corrosive in certain parts of the respiratory system. It irritates the eyes and skin and causes burns.

#### 1.3.4. Calcium hypochlorite

It is a type of hypochlorite shown with the formula  $Ca(ClO)_2$ . It is used in water purification and pool cleaning systems in daily life. In case of skin contact, serious skin damage with blistering and wound; in case of swallowing, it causes burns in the mouth and throat, severe nausea, vomiting, shortness of breath and shock. It has a corrosive effect even when diluted. It is toxic to aquatic organisms.

#### 1.3.5. Ozone

It is an oxidizing and irritating disinfectant; when inhaled, it causes breathing difficulties, headaches, fatigue, eye irritation, tearing and inflammation. It does not dissolve in nature by itself. It also oxidizes substances that are extremely dangerous to human health, such as iron, manganese, and arsenic in the water. It should be used with another disinfectant that has the feature of being a residual disinfectant (Uzun, 2011).

#### 1.3.6. Chlorine dioxide

It is a disinfectant with proven effectiveness and is widely used internationally, which has a lethal effect on bacteria, mold, yeast and viruses. It is 2.5 times more effective than other disinfectants (both reacting and killing microorganisms). While chlorine produces carcinogenic substances when used excessively in waters with organic residues, chlorine dioxide does not create

such an environment. It is approved by the USA and "EPA" for drinking water disinfection.

### 1.3.7. Aluminium Sulfate

One of the drinking water treatment stages is the "coagulation" stage, which ensures that various substances and particles in the water are retained and removed from the water by precipitation after this retention, and aluminium salts are used at this stage. This step helps to reduce the level of organic matter, turbidity and microorganisms in the water, and removes colour problems. Commonly used aluminium compounds for this purpose are aluminum sulfate and polyaluminium chloride. Aluminium sulfate has been used for a long time in the treatment of surface waters (Srinivasan et al., 1999; WHO, 2003). It irritates in case of contact with eyes and inhalation, mild irritation in case of contact with skin, and irritation of mucous membranes in the mouth, throat, esophagus and gastrointestinal tract if swallowed

### 1.3.8. Potassium permanganate

It is used in drinking water treatment plants to purify water. It can strengthen the fire; it is an oxidizing agent. Suspected of damaging fertility or the unborn child. Harmful if swallowed. It has a long lasting and very toxic effect on the aquatic environment.

### 1.4. Identification of Gas Dangers

Gas dangers in drinking water treatment plants contain chlorine, sulfur dioxide, ammonia, ozone and chlorine dioxide from places such as gas storage areas, gas dosing plants and ozone generators. These gasses constitute the highest danger group as they trigger many things such as industrial disasters that can endanger human life and the environment and must be effectively monitored in the working environment. Chlorine is a very heavy gas and is easily absorbed by many materials that make it difficult to detect in landfills.

### 1.5. Ergonomic, Psychosocial and Administrative Dangers

Musculoskeletal disorders occur due to working in inappropriate postures during installation or cleaning of the piping system; when lifting or moving heavy and large loads, excessive strain affects different parts of the body; psychological tension and pressure occur due to environmental factors such as disturbing noise, splashing water, odor, high humidity etc. Due to increased workload, the continued need for high skill levels, increased work efficiency requirements, lack of privacy due to increased opportunities for supervisors to reach the worker (cell phones, especially after normal working hours) and commitment to unexpected calls during emergencies, the need to work overtime shifts psychosocial problems arise. It causes psychological problems (especially for older workers) caused by adaptation to computer-based jobs (Vasović et al., 2018). In this study, a risk assessment was carried out in a drinking water treatment plant located in a province in the Eastern Black Sea region. In the light of the information collected from the plant, dangers were identified, and possible risks were determined. According

to the results of the risk analysis, recommendations were made on sustainable and effective measures to ensure occupational health and safety.

## 2. Materials and Methods

In a province of the Eastern Black Sea Region (the name of the facility cannot be given due to confidentiality principles), the potential hazards that the workers in the drinking water treatment plant may be exposed to within the scope of occupational health and safety were determined and a risk assessment was made.

### 2.1. Facility Introduction

Drinking water needs are met from caisson wells in the city, with a pumped system. The rapidly increasing population of the city, the expiration of the existing wells and the need for better quality drinking water made it necessary to search for new water sources. The facility, the construction of which was started by İller Bank in 1987, was completed and put into service in 1992. The area where the facility is established is 100,000 m<sup>2</sup>. The water of the facility, which has been meeting the water needs of the city and its surroundings since 1992, was supplied by the regulator of the existing stream. The fact that the stream from which the water is supplied is located in the city center and the risk of being very close to the highway and the increasing water need of the city necessitated new searches and brought the construction of a dam to the agenda and in 1998, the foundation of the dam was laid, and work started. However, considering that the construction of the dam would take time to complete, a regulator was built downstream of the dam as a temporary measure and the stream's water was connected to the treatment plants in 2001 with a 2700-meter transmission line. Since 1992, when the treatment plants were put into service, quality drinking and utility water needed by the city has been provided by TS266 drinking water standards (Karagüzel et al., 2003). There are 10 units available at the facility. These are respectively Water intake structures, Raw water transmission lines, Water distribution structure, Flowmeter, Coagulation and Mixing structure, Clarifiers, Filtration, Chlorination Unit, Contact Tank, Clean water tank, and Clean water transmission line.

### 2.2. Risk Assessment Method

In this study, a 5x5 Type Matrix (L Type) method was chosen in order to evaluate the risk for the employees of the treatment plant. The reason for choosing this method is that it can be used by a single analyst, and it enables rapid grading of risks according to different levels of importance. In this, first of all, the risk degree is obtained by multiplying the probability of occurrence of a detected hazard with its severity in case of realization (Equation 1). Each parameter takes values in the range of 1 to 5. According to the risk level result, it is determined that the risk levels are intolerable, significant, moderate, bearable and unimportant. Then, the risks are listed starting from the highest value and the necessary precautions to be taken are determined (Anonymous, 2016).

$$Risk = Probability * Severity \quad (1)$$

In this study, the risk ratings obtained as a result of risk analysis were categorized as follows: Inadmissible Risk if  $Probability * Severity \geq 15$

Risk to be Considered if  $8 \leq Probability * Severity < 15$

Acceptable Risk if  $Probability * Severity < 8$ .

### 2.3. Danger Identification

According to the risk analysis regulation (ÇSGB, 2012); after determining the authorities who will conduct the risk analysis, it is necessary to define the dangers that may come from outside or that exist inside. As a result of the risk analysis, the dangers that will pose the highest risk are listed as follows:

1. There are deformations and irregularities on the ground throughout the facility, and irregular material storage has been made that will cause tripping and falling.
2. There is a wet floor problem throughout the facility.
3. Electrical panels are exposed and it is being worked with unsuitable electrical cables.
4. There is an emergency action plan at the facility, but it is seen that the training received by the facility employees about what to do in an emergency is insufficient.
5. The ventilation is not operated continuously.
6. Periodic inspections of measuring devices, machinery and equipment used in the facility were delayed due to workload, lack of attention, etc.
7. It has been observed that the personnel working within the facility do not usually use personal protective equipment.
8. There are deficiencies in the training of employees about occupational safety, diseases that they may catch, safe working methods and hygiene.

9. The thermal comfort condition of the facility employees are high, and especially in adverse weather conditions, factors such as snow, ice and rain cause slips and falls.

10. It is observed that careless operation and safety precautions are ignored during maintenance and repair works.

11. There is a danger of O<sub>2</sub> deficiency and accumulation of toxic gas in closed areas.

12. There are areas in the units where there is a risk of fire and explosion.

13. There is a danger that facility employees may exhibit unsafe behavior (carelessness, fatigue, difficulty in understanding, etc.).

14. There is a danger that the emergency exit doors are not fully equipped in the facility.

15. The mud floor scraper is not closed and there is a risk of falling from a height, electric shock and exposure to biological agents.

16. It has been observed that the materials are left in the facility irregularly.

17. The sound of the backwash pump causes noise.

### 3. Results

Risk analysis studies carried out in the drinking water treatment plant units were carried out by considering the interviews with the administrators and technical personnel and previous studies.

#### 3.1. Risk Assessment

When the entire facility was examined, a risk analysis was made according to the identified dangers. According to the results of the risk analysis, the risks that are unacceptable and need to be considered and their degrees are shown in the Table 1 below.

**Table 1.** Drinking water treatment plant risk analysis table

Activity	Danger and Risk	Possibility	Severity	RDS	Assessment
General	Sliding fall and injury as a result of not taking the necessary precautions in the cleaning areas	4	3	12	Risk to be considered
	As a result of the temporary staff starting to work without visiting the OHS unit, accident, injury and material damage because they do not have enough information about the facility.	3	4	12	Risk to be considered
	Failure to use personal protective equipment, occupational disease, injury, death	4	5	20	Unacceptable Risk
	Stuck and fall injury due to uneven facility floor	4	4	16	Unacceptable Risk
	O <sub>2</sub> deficiency, increase in toxic gases, suffocation, death, especially in indoor environments as a result of inadequate ventilation	4	5	20	Unacceptable Risk
	Stumbling and injury as a result of irregular placement of tools, equipment and materials in the facility	4	3	12	Risk to be considered
	Misuse and injury, material damage as a result of the absence of machine operating instructions	4	5	20	Unacceptable Risk

**Table 1.** Drinking water treatment plant risk analysis table (continue)

Activity	Danger and Risk	Possibility	Severity	RDS	Assessment
Warehouses	Flash, explosion, fire and injury, death, property damage as a result of random storage of the stored materials without separating them according to their types.	4	5	20	Unacceptable Risk
	The floor of the chemical warehouse is not easy to clean, exposure to chemicals, occupational disease, material damage	4	4	16	Unacceptable Risk
	Growth of fire, explosion, injury, death, property damage as a result of the lack of sufficient fire extinguishers in the warehouses	3	4	12	Risk to be considered
Welding works	Injury, loss of limb, death as a result of electric shock from electrode welding current generators in the welded areas	3	5	15	Unacceptable Risk
	Failure to respond to an emergency and injury due to the absence of a fire extinguisher in the welded area	3	4	12	Risk to be considered
Electricity	Electricity leakage due to wear in the energy input and output lines of the machine and current flow, injury, loss of limb, death.	4	5	20	Unacceptable Risk
	Electric shock, injury, loss of limb, death as a result of contact with unauthorized persons due to leaving electrical panels open	5	5	25	Unacceptable Risk
	As a result of not specifying the emergency escape routes and the presence of materials on the roads, confusion and injury in the event of an emergency	3	4	12	Risk to be considered
Emergency	Failure to respond to the fire in a timely manner, injury, property damage as a result of installing fire extinguishers in places that are not easily accessible	4	4	16	Unacceptable Risk
	Inability to reach the safe area due to the absence of emergency lighting, which should be activated in case of an emergency, or if there is a power cut.	3	4	12	Risk to be considered
	Confusion, injury, death as a result of uneducated and not knowing what to do in the event of an emergency.	4	5	20	Unacceptable Risk
Units	Falling, injury, drowning, death as a result of not taking the necessary precautions in the clarifier and filter pools	3	5	15	Unacceptable Risk
	Inhalation of chlorine by the operating operator as a result of possible entry into the flow meter compartment, poisoning, death	3	5	15	Unacceptable Risk
	Inhalation of harmful air, poisoning as a result of cleaning the sludge accumulated in the raw water channel at the accelerator inlet (1 per month)	4	4	16	Unacceptable Risk
	Injury, limb rupture due to exposure to rotating parts in the turbine gearbox	2	4	8	Risk to be considered
Lifting tools	Hearing loss as a result of the backwash pump making noise	3	4	12	Risk to be considered
	Falling of the load, injury, death, material damage as a result of not specifying the load capacities on the overhead cranes, forklifts, chain hoists, pallet trucks, etc.	3	5	15	Unacceptable Risk
	Respiratory diseases, skin wounds as a result of inhalation of strong acid vapor in the laboratory and skin contact	3	3	9	Risk to be considered

In order to make risk analysis more efficient and not to overlook existing hazards, facility activities are divided into 8 groups as General activities, Warehouse, Welding works, Electricity, Emergency, Units, Lifting vehicles and Laboratory. According to the obtained risk analysis results, the activities that may result in serious injury and death are listed in Table 1. As a result of the study, a risk assessment was carried out to protect the occupational health and safety of the employees at the drinking water treatment plant in a province in the Eastern Black Sea region. The 5x5 matrix method was used in the risk analysis phase, which was carried out under risk assessment. According to the results of the analysis, the risk levels were calculated, and these risk levels were grouped as unacceptable/to be considered/acceptable risk. A total of 125 dangers were determined at the facility and their risk levels were calculated. Since the risk level of 100 of them has been determined at an acceptable level and adequate protection measures have been taken in the current situation, only continuous control and follow-up is recommended. The remaining 25 risks were considered unacceptable and should be considered. The necessary protection measures are listed below.

### **3.1.1. In the “unacceptable risk” category**

It is necessary to ensure that the person enters the work area with personal protective equipment by the determined standards and the work they do. Railings should be built around the gaps formed on the working floor or their tops should be closed temporarily. Items and other obstacles on the passageways should be removed against the risk of tripping/falling. Irregularities (subsidence and bends) on the ground should be removed.

In order not to cause poisoning and fire/explosion, it is necessary to ensure that the indoor areas, unit entrances (flow meter compartment and raw water channel entrances) and tanks have adequate ventilation. It should be ensured that systems such as gas detectors are installed for the measurement of toxic/flammable/explosive gasses leaking into the environment. The operating instructions for all the machines used should be provided immediately and they should be hung in visible and suitable places.

In the warehouses, the cabinets and shelves should be fixed to the floor and/or the wall, their weight bearing capacities should be written in the visible places, and in the case of chemical materials, they should be separated according to their types. Care should be taken to ensure that the floor of the warehouse is not affected by the spillage of the stored material and is easy to clean. Earthing of electrode current generators during welding must be done against electric shocks. Before starting to work with the machines, the cables should be checked for electrical leakage and if necessary, unauthorized persons should be prevented from contacting the machine by tagging/locking.

All electrical panels should be kept locked and only

authorized persons should be able to access them. It is necessary to have enough fire extinguishers suitable for their type in the workplace, to install warning signs indicating their locations, be placed in easily accessible places, and check their expiration dates and fullness. Emergency drills should be carried out at the periods specified in the legislation, employees should know how to act when faced with such a situation, and who the emergency teams consist of.

All pools in the facility for purification and clarification should be surrounded by guardrails and unauthorized persons should be prevented from entering the area. The load capacity that can be carried on the lifting vehicles should be specified and the equipment should be operated in a way that does not exceed this value.

### **3.1.2. In the “risk to be considered” category**

To protect the employees, the noise source caused by the backwash pump should be isolated or the pump that causes less noise should be preferred. If this cannot be done, employees should be provided with appropriate ear protection.

Facility employees should prefer work clothes that are not too loose in order not to get caught in the machines during work; appropriate head protection should be used. All moving parts of the equipment (turbine gear, etc.) that may injure the worker must be protected. In case of studies that produce toxic gas in the laboratory, fume hoods should be used or the employees should use gas masks. Personal protective equipment should be used before coming into contact with materials.

It should be ensured that the emergency lightings showing the emergency exit directions are activated in case of a power failure and remain on for at least 2 hours. Emergency escape routes must be shown with warning signs, and there must be no material obstructing the escape routes. All personnel who come on temporary duty should be informed about the facility and working order. Necessary qualification documents, health records, and the training they received (occupational health and safety, occupational, etc.) should be questioned. Preventing slips and falls after cleaning in the workplace is possible with precautions such as the use of non-slip boots/shoes by employees and careful cleaning services procedures.

## **4. Discussion and Conclusion**

Workplaces such as drinking water treatment plants contain very complex processes and risky areas. For this reason, it is very important to examine them carefully in terms of occupational health and safety, to take collective protection measures first, to gain the habits of using personal protective equipment to eliminate increasing risks, and most important to develop a safety culture in the workplace. The way to progress is possible by being sensitive to people and the environment. By this way, the productivity of the workforce will increase and since the health and safety of the employee are ensured, the conscientious responsibility will be fulfilled.

## Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

	H.B.Ö.	C.G.S.	A.U.
C	30	30	40
D	30	30	40
S	30	30	40
DCP	30	30	40
DAI	30	30	40
L	30	30	40
W	30	30	40
CR	30	30	40
SR	30	30	40
PM	30	30	40
FA	30	30	40

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

## Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

## References

- Al-Otoum F, Al-Ghouti MA, Ahmed TA, AbuDieyeh M, Ali M. 2016. Disinfection by-products of chlorine dioxide (chlorite, chlorate, and trihalomethanes): Occurrence in drinking water in Qatar. *Chemosphere*, 164: 649-656.
- Anonymous. 2009. Occupational Hazard Datasheets- Water treatment Plant Operator-ILO. [http://www.ilo.org>publication>wcms\\_190172](http://www.ilo.org>publication>wcms_190172) (access date: October 13, 2021).
- Anonymous. 2016. Occupational Safety and Health risk assessment Methodologies, [https://oshwiki.eu/wiki/Occupational\\_safety\\_and\\_health\\_risk\\_assessment\\_methodologies](https://oshwiki.eu/wiki/Occupational_safety_and_health_risk_assessment_methodologies) (access date: October 21, 2021).
- Çakmakçı M, Özkaya B, Yetilmezsoy K, Demir S. 2013. Su arıtma

- tesislerinin işletme esasları. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü 55-79, İstanbul, Türkiye, pp: 446-452.
- Demircioğlu M, Centel T. 2007. İş Hukuku, 12. Baskı, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, Türkiye, pp: 208.
- Ertas S, Sarımehtemioğlu B. 2019. Su güvenliği. *Erciyes Üniv Vet Fak Derg*, 16(2): 141-146.
- Karagüzel O, Akkaya H, Tezgel İ. 2003. Trabzon Belediyesi İçme suyu arıtma tesisleri, *Celepler matbaacılık*, Trabzon, Türkiye, pp: 55.
- Ministry of Labor and Social Security, Occupational Health and Safety Risk Assessment Regulation, *Official Gazette Issue: 28512*, *Official Gazette date: 29/12/2012*.
- Occupational Health and Safety Law. 2013. URL: <http://www.mevzuat.gov.tr> (access date: October 02, 2021).
- Özgür C. 2021. Risk analysis in disinfection unit: drinking water treatment plant. *NOHU J Eng Sci*, 10(1): 16-22.
- Özkılıç Ö. 2005. İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. *TISK Yayınları*, Ankara, Türkiye, pp: 219.
- Özkılıç Ö. 2007. İş Sağlığı, Güvenliği ve Çevresel Etki Risk Değerlendirmesi, *Tisk Yayınları*, Ankara, Türkiye, pp: 540.
- Spellman FR. 2003. *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. Lewis Pub., New York, US.
- Srinivasan PT, Viraraghavan T, Subramanian KS. 1999. Aluminium in drinking water: An overview. *Water SA*, 25(1): 47-56.
- Tekbaş H. 2013. To assess the risks of an industrial plant using the method of matrix under the occupational health and safety regulations and analyze the results. MSc Thesis, Trakya University, Institute of Science, Department of Mechanical Engineering, Edirne, Türkiye, pp: 98.
- Uzun S. 2011. Use of ozone for improving of water quality and its chemical effects. *Türk Hijyen Denl Biyol Derg*, 68(2): 105-113.
- Vasović D, Stanković S, Vranjanac Ž. 2018. Working conditions at the water treatment plants: activities, hazards and protective measures, safety engineering. *Inženjerstvo Zaštite*, 8(1): 27-32.
- WHO. 2003. Aluminium in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality WHO/SDE/WSH/03.04/53.



## THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LOCALLY SOURCED ELECTRIC POWERED STAIR CLIMBING TROLLEY

Dickson David OLODU<sup>1\*</sup>, Marvellous ABRAHAM<sup>1</sup>, Jackson JESUOROBO<sup>1</sup>, Odezi Oghenerukevwe AKIAKEME<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Benson Idahosa University, Department of Mechanical Engineering, Benin City, Edo State, Nigeria

**Abstract:** Buildings with staircases have grown significantly as a result of improvements in building or home structures, and the strain associated with carrying items cannot be ignored. High levels of strain are related to the movement of loads along staircases, particularly in high-rise buildings. In order to make it simple to transfer large goods up and down stairs, this project concentrated on designing and building an electric-powered staircase climbing trolley from locally sourced materials. Everyday needs in our society drive the necessity for such a system. This robotic trolley is also employed to reduce the strain associated with lifting while on level ground and over a staircase. Given this, the project aims to design, build, and test the functionality of an electric-powered stair climbing trolley that can transport items up and down the stairs as well as on flat surfaces and even rugged terrain. The trolley uses a triple interlink wheel configuration that makes it simple to move things. When comparing the designed and constructed motorized trolley machine established in this work to the hand trolley, whose performance efficiency ranges from 50% to 60% as explored in previous literature, the motorized trolley machine performed 87% more efficiently. Moving products up and down a staircase can potentially be solved with the help of a motorized trolley that was designed and manufactured specifically for this purpose.

**Keywords:** Buildings, Locally sourced materials, Performance efficiency, Trolley

\*Corresponding author: Benson Idahosa University, Department of Mechanical Engineering, Benin City, Edo State, Nigeria

E mail: dolodu@biu.edu.ng (D. D. OLODU)

Dickson David OLODU



<https://orcid.org/0000-0003-3383-2543>

Received: October 16, 2022

Marvellous ABRAHAM



<https://orcid.org/0000-0003-3695-8555>

Accepted: November 14, 2022

Jackson JESUOROBO



<https://orcid.org/0000-0002-3008-2137>

Published: January 01, 2023

Odezi Oghenerukevwe AKIAKEME



<https://orcid.org/0000-0002-9413-088X>

**Cite as:** Olodu DD, Abraham M, Jesuorobo J, Akiakeme OO. 2023. The design and construction of a locally sourced electric powered stair climbing trolley. *BSJ Eng Sci*, 6(1): 25-31.

### 1. Introduction

The need for space utilization and accessibility is becoming increasingly important in Nigeria today as both rural and urban settlements experience population growth. In particular, in urban settlements, which are at the center of the nation's economic life, land purchases are expensive and the need for multi-story buildings and skyscrapers cannot be overstated or undervalued (Ashish, 2015). The staircase is typically one of the first essential components to be named when listing the main components of a building design. The placement of a staircase inside a new building's layout is usually a crucial choice because it frequently affects how the entire property is laid out. Stairs serve as a straight-forward and convenient means of going from one level to another (Jay and Praveenra, 2016).

Various researchers have conducted numerous experimental investigations on vehicles for ascending stairs, such as trolleys, lorries, wheelchairs for the disabled, forks, etc., because of the advancement in building or home construction and the large growth of buildings with staircases (Praveen Raj et al., 2021). It necessitates a thorough investigation of the maximum load a cabin can withstand and how stress affects wheel alignment. A hand truck that climbs stairs with less effort

was invented and manufactured which is beneficial for libraries, hospitals and ordinary goods carriers (Liu et al., 2005). The wheel frame was where this truck's major modifications were made. The maximum bending moment was computed for this mechanism, which was based on a stretched arrangement mechanism (Farhad, 2012). More than 90% of all staircases within this range are covered by an inclination of 44° to 45°, which has a significant impact on the transfer of load over the upstairs. According to the analysis of the literature, an optional maximum inclination warning alarm that warns the operator of an inclination greater than 44 degrees is present (Farhad, 2012). When a truck exceeds the limit, the appropriate safety measures should be implemented (Farhad, 2012). A stair climbing vehicle made by Hussain et al. (2022) uses a customized form of frame that moves across uneven terrain. In order to address a number of technical concerns with the vehicle's design, including its inability to maintain a high speed while climbing stairs, its wheel arrangement were placed into consideration during design and fabrication. According to Hussain et al. (2022), the sun, planetary, and idler wheels that are attached to the shaft as part of the frame arrangement must reduce the application of load. However, this study's main worry also relates to how steep the steps





are (Hussain et al., 2022). For assistance while it travels over level ground, the vehicle has four sets of wheels. Three idler gears connect each wheel to the sun wheel. Ashish (2015) developed a four-wheeled robot that can ascend stairs at a height equal to its diameter. Due to the four differentially driven wheel configurations, it has a maximum gripping capacity and stability while moving over uneven terrain. According to Raj et al. (2018), the designed structure and mechanism included stair climbing capabilities. The major component parts of this product include modules like the seat, linkages, and frame. The seat's dimensions took anthropometric data into account. Focus was placed on a variety of factors, including the product's form, utility, technology, and architecture by creating digital mockups of various elements created in PRO-E Creo software and integrated to represent the designed form of the product (Marathe. 2016). In the virtual environment of the PRO-E Creo program, the necessary simulation of the products was created. Here, the ABS (Acrylo Butadiene Styrene) material was employed to fabricate the wheel carriers utilizing RP (Fused Deposition Modelling). After gathering customer needs from various sources, the wheel chair was added with some extra features, including an integrated common facility. A hand trolley was to reduce the strain associated with carrying loads while standing on level ground (Pratik el al., 2020). However, when it comes to carrying the load over a staircase, these technologies typically fail. The major goal of the project is to develop a practical and user-friendly way of moving heavy goods up and down stairs while requiring the user to exert the least amount of effort possible (Virag et al., 2022). In this project, a motorized trolley with trilobed wheel frames on both sides of the climber was built. Each trilobed frame had three wheels. A gear-motor system was used to turn the wheel assembly, and a DC gear mesh was employed to slow the wheel's rotation. The DPDT switch was connected to the motor using a lead acid battery with a comparable rating (Raj et al., 2018).

This study therefore focused on the design and construction of a locally sourced electric powered stair climbing trolley.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Design Concept of Motorized Staircase Climbing Trolley

The electric stair climber trolley is full of innovative features that make moving products or packages simple and efficient. With a charging system to keep the cell (battery) charged when it runs out, this idea essentially consists of an electric motor for rotating the chain and a gear system attached to the shaft of the tires, which makes it possible for the tires to rotate. Due to its noiseless mode of operation, it has been adopted by various homes, businesses, or industries for moving heavy objects. The electric-powered stair climber utilized in this study is reinforced with a robust, foldable steel

frame that makes it easier to lift and manipulate stairs by securely holding the burden and facilitating a quick and easy transaction.

### 2.2. Design Considerations and Factors

Numerous aspects were taken into account when designing this system in order to achieve the desired results. For example, if loads or items can be moved up or down stairs with ease, more people will be interested in using them for this purpose Alaspure et al. (2016). The following are the design considerations.

1. Cost: After doing a market study, the materials and other essential parts for the design idea were determined.
2. Safety: When the machine is operating, whether engaged or loaded, this element takes safety into account.
3. Functionality: This refers to how well the machine performs when loaded or engaged.
4. Efficiency: The system's capacity to complete its tasks without error was also taken into account. The motorized trolley's efficiency was determined using Equation 1

$$\text{Efficiency of Trolley} = \frac{\text{Work output}}{\text{Work Input}} \times 100\% \quad (1)$$

### 2.3. Concept Chosen in this Project

Due to its present relevance in terms of energy applications, manageability, and stress-free control, this concept was selected. The wheel-frame, wheel, shaft, gear, motor, battery, and bearing are the major elements used in the design of the motorized stair climbing trolley.

### 2.4. Material Selection and Fabrication

The fabrication of the trolley begins with the fabrication of quasi Tri-Star frame setup. Various links are joined together using welded and bolted joints.

### 2.5. Components/Materials

Components/materials are presented below;

1. Tri star wheel
2. Battery
3. Wheel holder
4. Gear motor
5. Supporting frame
6. Bearings

### 2.6. Description of Components

#### 2.6.1. Tri – star wheel arrangement

The Tri-Star is a revolutionary wheel design with three wheels arranged in an upright triangle, two on the ground and one above them. It was created by Robert and John Forsyth and given to Lockheed in 1967 (Shriwaskar and Choudary, 2013). The entire system turns over the obstacle if either of the wheels in contact with the ground becomes stuck (Figure 1).

#### 2.6.2. Battery

Any family of devices that directly convert chemical energy into electrical energy is referred to as a battery in the fields of electricity and electrochemistry. Although a single cell of this type is frequently referred to as a

battery, a battery is actually an assemblage of two or more galvanic cells capable of such energy conversion. In this study, a 12 volt 100Ah battery was employed.

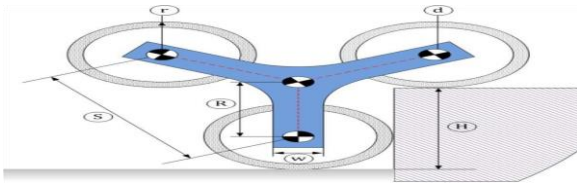


Figure 1. Wheel arrangement of a motorized staircase trolley.

**2.6.3. Gear motor**

A gear motor combines a motor and a gearbox into one unit. When a gear head is added to the trolley, the speed is decreased but the production of torque is increased. The three most crucial gear motor performance factors are speed (rpm), torque (LB-IN), and efficiency (%).

**High torque output**

The torque of a geared motor of the fabricated trolley was multiplied by the gear ratio and gear efficiency when one it was utilized. An ungeared standard motor will produce less operating and holding torque than a geared motor (Figure 2). Along with increased torque output and strengthened stiffness, numerous additional advantages can be attained, including motor torque times the gear ratio times the gear efficiency is the geared motor torque. When a specific gear ratio is exceeded, the line flattens out since most gearheads have a maximum torque limit.



Figure 2. Gear used in the motorized staircase trolley.

**2.6.4. Supporting frame**

A rigid framework made of beams (rafters, posts, struts) is used to support other constructions like staircase trolley, bridges and roofs.

**2.6.5. Design of shaft**

Shafts used in this study were created using a combination of stiffness and strength. To ensure that any stress on the shaft does not exceed the material yield stress, it is designed based on strength (Figure 3).



Figure 3. Designed shaft.

**2.6.6. The bearing shaft**

A shaft bearing, also known as a cutless bearing, is the last part of the drive train that is located forward of the propeller. It is a rubber-lined composite brass bearing through which the propeller shaft rotates.

**2.6.7. The roller chain**

In various types of home, industrial, and agricultural machinery, such as conveyors, wire-and tube-drawing machines, printing presses, cars, motorcycles, and bicycles, roller chains or bush roller chains, are the type of chain drive that is most frequently used to transmit mechanical power.

**Types of roller chain**

Standard, heavy duty, double pitch for small loads, attachment choices, and several application-specific geometries are among the different types of roller chain (Figure 4).



Figure 4. The roller chain.

**2.7. How does this Project Work?**

A stair-climbing truck is a piece of manual material-handling equipment that can securely transport items up and down stairs with the least amount of human effort. It operates on a similar principle to that of a straight forward screw jack. Here, a nut and a lead screw assembly were used to power up and down the weight that is put on the platform. The lead screw, which is fastened to the main frame, is only permitted to revolve in one direction: centrifugally. The nut, which is attached to the second frame, moves along the lead screw while being restrained from rotating. A battery is attached to a high-torque motor, which in turn powers the lead screw. The equipment is always fully within the operator's control.

**2.8. Mechanical Design using CATIA**

The tri-star wheel trolley in this study was created with CATIA P3 V5 R11. CATIA is a multi-platform mechanical design suite. It is a parametric solid modeling design tool with characteristic-aided support. Phases supported by CATIA include conceptualization, design, engineering, manufacturing, and PLM. Due to its user-friendly graphical user interface, CATIA makes it simple to convert 2D sketches into 3D parts. Complete 3-D replicas are built with or without limitations by employing automatic or user-described relations to restrict design objectives. The various elements employed in this design include Pad, Pocket, Revolve, Rib, Slot, Loft, etc. to conduct operations like add, remove, rotate, sweep, and cut the material while modeling (Praveen Raj et al., 2021).

**2.9. Fabrication Process of the Staircase Climbing Trolley**

1. Purchase of construction materials
2. Making out and cutting of construction materials

3. Machining / machine tools process
4. Assemble of fabricated and purchased components
5. Surface finishing
6. Painting/spraying painting/coasting metal treatment (Figure 5, 6)
7. Testing evaluation, installation and.



Figure 5. An assembled motorized staircase trolley.



Figure 6. Pictorial view of the tri-stair wheel during fabrication.

**2.10. Performance Traits**

The machine was also tested for other traits of performance such as:

**2.10.1. Efficiency**

This is the ratio of the useful work (output work) completed by a machine to the total work input; work output is equal to work input. This is also the case when the device effortlessly performs the task at hand.

**2.10.2. Durability**

A performance testing method called the durability test was used to identify a system's characteristics over time and under diverse load circumstances. During this test, it was determine whether transaction response times are consistent over the course of the test.

**2.10.3. Strength**

This test determines a machine's material's tensile strength as well as how far it can be stretched before it

breaks or reaches its limit.

**3. Results**

**3.1. Determination of Basic Dimensions**

The basic external dimensions were considered based on literature survey only (Liu et al., 2005). The designed model has the dimensions which are calculated based on the step size (height and width) where the fabricated model is tested. The design of the staircase trolley is modeled to allow others to use stairs at once. The following were the basic dimension used.

- The external diameter of the solid shaft is taken as 25 mm.
- The length of the shaft is 825 mm.
- Two pairs of Quasi-static frames and a total of six rubber wheels are used (Murray, 2003)
- The diameter of wheel is taken as 120 mm for suitable dimensions of the stairs which is about 140-150 mm in height and 300-350 mm in depth.
- The inter-lobe angle of Tri-Star clamp is assumed as 120°
- The distance between the centers of two wheels was taken as 190 mm.
- The distance between two wheel frames is taken as 635 mm.

**3.2. Tri-Star Wheel Design Calculation**

The position of the Tri-Star wheel on the stairs affects how the wheel characteristics are determined as shown in Figure 7, it is dependent on two factors; the distance between the edge of the wheel on the lower steps and the face of the following stair (L<sub>1</sub>) and the distance between the edge of the wheel on the top stair and the face of the following stair (L<sub>2</sub>).

By comparing these parameters three states may occur as follow: L<sub>1</sub> < L<sub>2</sub>; L<sub>1</sub> > L<sub>2</sub>; L<sub>1</sub> = L<sub>2</sub>

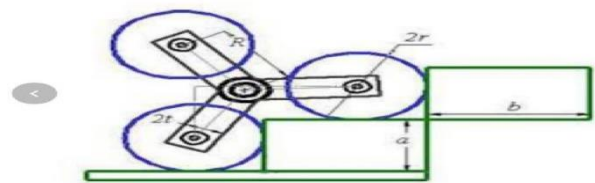


Figure 7. The five parameters on tri-star wheel.

In the design of the Tri-Star wheel, five factors are crucial: the height of the stairs (a), the width of the stairs (b), the regular wheel's radius (r), the Tri-Star wheel's radius, the distance between the center of the Tri-Star wheel and the center of its wheel (R), and the thickness of the holders (2t) that secure the wheel in place on the Tri-Star wheel. According to the project requirement, the value of (a) and (b) are determined as a = 20 cm, b = 25cm, r = 5cm and the Distance between frame center and wheel center is given in Equation 2.

$$R = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{3}} \tag{2}$$

$$R = \sqrt{\frac{20^2 + 25^2}{3}} = 17.569 = 18.484 \text{ cm.}$$

The minimum value of the radius of regular wheel ( $r_{min}$ ) to prevent the collision of the holders to the stairs was calculated using Equation 3;

$$r_{min} = \frac{6Rt + a(3b - \sqrt{3a})}{(3 - \sqrt{3a})a + (3 + \sqrt{3a})b} \text{ where } t = 1 \quad (3)$$

$$r_{min} = \frac{6 \times 18.484 \times 1 + 20(3 \times 25 - \sqrt{3 \times 20})}{(3 - \sqrt{3 \times 20}) \times 20 + (3 + \sqrt{3 \times 20}) \times 25} = 10.135 \text{ cm}$$

The maximum value radius of the radius regular wheels ( $r_{max}$ ) to prevent the collision of the wheels together was obtained using Equation 4.

$$r_{max} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} \quad (4)$$

$$r_{max} = \sqrt{\frac{20^2 + 25^2}{2}} = 22.64 \text{ cm}$$

The maximum value of the thickness of holders ( $t_{1,max}$ ) to avoid the collision between the holders and stairs was obtained using Equation 5

$$t_{1,max} = \frac{ar(3 - \sqrt{3}) + br(3 + \sqrt{3}) + a(\sqrt{3a} - \sqrt{3b})}{6R} \quad (5)$$

$$t_{1,max} = \frac{20 \times 5(3 - \sqrt{3}) + 25 \times 5(3 + \sqrt{3}) + 20(\sqrt{3 \times 20} - \sqrt{3 \times 25})}{6 \times 18.484} = 4.915 \text{ cm}$$

Furthermore knowing the amounts of  $r$  and  $R$ , we can derived the maximum height of stairs that the robot can pass through was calculated using Equation 6;

$$a_{max} = \sqrt{a^2 + b^2 - r^2} \quad (6)$$

$$a_{max} = \sqrt{20^2 + 25^2 - 5^2} = 31.622 \text{ cm}$$

For traversing the stairs with maximum height derived above, the half thickness of the holder must be in the following range (Equation 7):

$$t_{2,max} = \frac{r(r + \sqrt{3(a^2 + b^2 - r^2)})}{2\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (7)$$

$$t_{2,max} = \frac{5(5 + \sqrt{3(20^2 + 25^2 - 5^2)})}{2\sqrt{20^2 + 25^2}} = 4.667 \text{ cm}$$

Regarding to the limit that have been derived for  $t$  and the point  $t_{2,max}$  is less than  $t_{1,max}$  and to fulfil both condition of not colliding of the holder with the stairs and traversing stairs with the maximum height derived before, it is only necessary that the  $t$  to be in  $t_{2,max}$ . Orthographic view of the staircase climbing trolley was given in Figure 8.

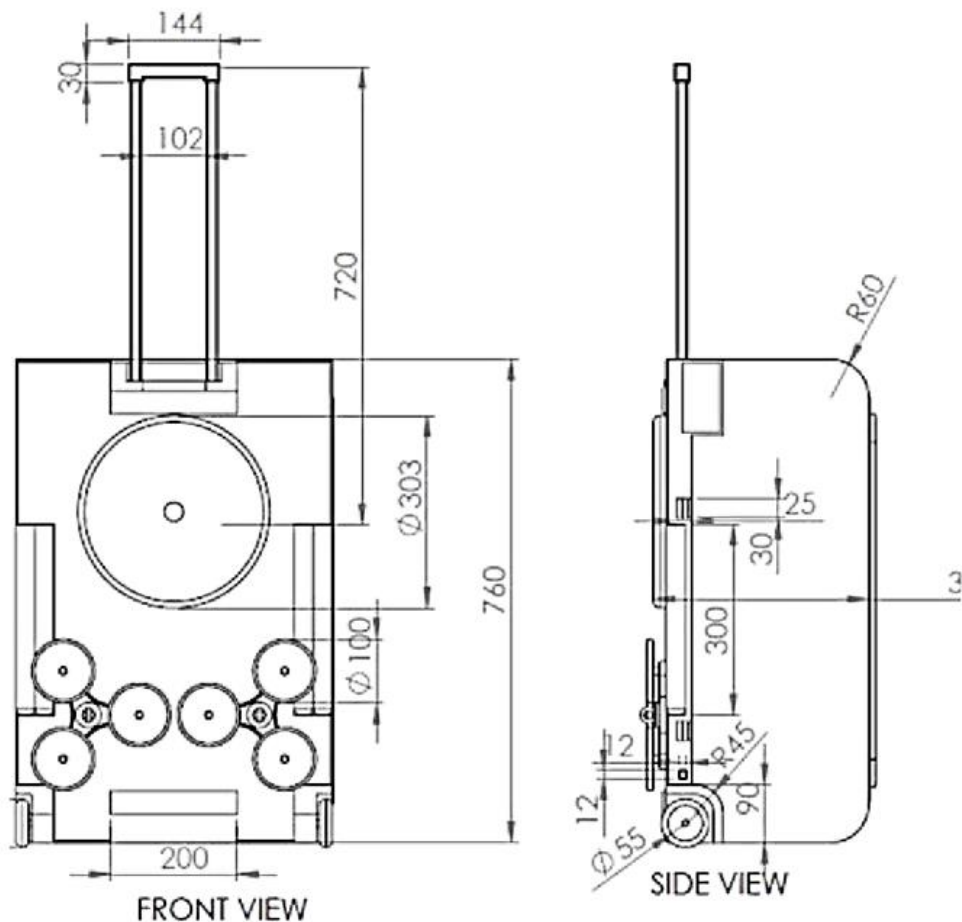


Figure 8. Orthographic view of the staircase climbing trolley.

### 3.3. Test and Performance

The electric powered trolley moved smoothly over the staircase. The trolley also moved uniformly on a flat surface without any issues, and as it climbs the staircase, there is no difference in speed between steps. On a flat surface or stairway, the machine was found to emit relatively little noise and vibration. Additionally, it was noted that the machine became agitated when it encountered steps of various sizes. The size and shape of the wheel frame caused such agitation, although it is uncommon to find different step sizes in a building. On identical-sized steps, the machine performed admirably. The machine's test run revealed that it operated on stairs at an angle between 30 and 60 degrees. Although the machine's smooth ramp angle could not be determined, it is clear that the stair inclined angle is smaller than the ramp angle.

### 4. Discussion

The weight of the fabricated trolley is 15.5kg. The wheels were held together by the Tri Star wheel Frames. The wheels were attached to each of the frame's arms, and the Tri-Star arrangement spins as it approaches the stairway's edge. Oxy-fuel gas cutting, grinding, drilling, and boring are among the processes used in the construction of the Tri-Star frame configuration. Although it is simple to make a straight wheel frame, a quasi-static wheel frame was chosen with a 50mm radius curve in between two arms to give the wheels strength and stability. The angle between the two wheel axes was also chosen at 120° for smooth operation. The maximum thickness is maintained as 5mm. Stainless steel with high chromium and low carbon content was selected in order to minimize corrosion and carbide precipitation due to welding. The design of the Tri-Star wheel frame, which binds the three wheels together, is depicted in the following picture according to its measurements. The project's primary job is the alteration of the wheel frame (Mogaddam and Dalvand, 2005). It is tiresome to ascend stairs with a single wheel. As it climbs the stairs, the tri-wheel configuration turns in accordance with how the wheels are positioned in relation to the frame. For the trolley body, mild steel was chosen rather than iron since it has more versatile material features. Mild steel has a density of about 7850 kg/cm<sup>3</sup> and a Young's modulus of 210 GPa. Mild steel is affordable and malleable despite having a relatively low tensile strength. As a result, the handle and body are made from mild steel metal pipe with a circular cross section and a one-inch diameter.

The trolley moved at a steady 20 rpm over a flat surface, and there was no speed difference when going up or down stairs. It was observed that there was relatively little noise and vibration on a level surface or staircase. The trolley appeared to be under stress as it approached a stairway with different step sizes. The size and shape of the wheel frame were the major causes of this. As a result, this automated staircase trolley can be used for a variety of staircase sizes. Nevertheless, different step

sizes are not typically included in building designs. When the step size was uniform, it demonstrated strong performance. Here in this project, a separate frame may be utilized to move over stairs of various sizes and shapes, making it useful for a variety of stair sizes. The vehicle's test run revealed that the highest stairs with a maximum 45° gradient was the height the vehicle could climb. It would be impossible to climb the stairs if the inclination was greater than 45 degrees. Few staircases with an inclination higher than that angle are typically accessible in building construction. The vehicle's smooth ramp angle ( $\theta$ ) was not provided. However, it is obvious that the stair inclined angle is smaller than the ramp inclined angle. It was observed that due to the wheel frame's larger radius being used to ascend the stairs, the vehicle's velocity while doing so was higher than it would have been on a flat surface. The car was moving up the stairs at a 55 in/hr speed. The speed of the car moving up a ramp, however, was not recorded. There should be no difference between this speed and the speed on the horizontal surface. The explanation above can be summarized by saying that, despite its drawbacks, the vehicle was a good substitute for utilizing stairs to move cargo.

### 5. Conclusion

During testing, the main goal of supporting a heavy weight of 120–140 kg is accomplished. When the straight frame was tested for different step sizes, the performance was a little more challenging. However, the automated trolley performed better even for steps of varying sizes when tested with a quasi-static frame. The results of a static structural analysis show that it can move large loads with little distortion and without breaking. However, using it on stairways, elevations, and uneven surfaces is highly ergonomic. It is effective, affordable, and simple to put together, this why it is suggested for handling materials. The machine's benefits include the simplicity with which heavy items of furniture and luggage can be moved from one floor to another. Bricks of various kinds and sizes are light and portable, making them ideal for construction sites. With consistent steps, the trolley's overall performance is seen to be strong. The frame and wheels cannot break under typical conditions because of how safe the design is. According to the tests that were done, the stair climbing trolley can support a load of 100 kg on a flat surface. It has the ability to climb a 45-degree stairwell while towing a 50-kg load.

**Author Contributions**

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

	D.D.O.	M.A.	J.J.	O.O.A.
C	100			
D	25	25	25	25
S	100			
DCP	25	25	25	25
DAI	25	25	25	25
L	25	25	25	25
W	25	25	25	25
CR	25	25	25	25
SR	70	10	10	10
PM	100			
FA	25	25	25	25

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

**Conflict of Interest**

The authors declared that there is no conflict of interest.

**Acknowledgements**

The authors acknowledged the Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Benson Idahosa University for using some of their facilities during the fabrication process.

**References**

Alaspure R, Barmase C, Chambhare S, Mandhre M, Joshi YG. 2016. Fabrication of stair climbing wheel mechanism: alternate for lifting goods. *Int Res J Eng Tech*, 3(65): 553-556.  
 Ashish SA. 2015. Analysis and fabrication of a reconfigurable stair climbing robot. MSc Thesis, Institute of Technology

Rourkela, Odisha, India, pp: 50.  
 Farhad IM. 2012. Fabrication of a stair climbing vehicle for industrial and rescue application using appropriate technology. 7th International Conference on Electrical and Computer Engineering, February 5, 2012, Dhaka, Bangladesh, pp: 121-124.  
 Hussain MA, Chowdhury NA, Linda RI, Akhtar S. 2022. Design and manufacturing of a stair climbing vehicle. *J Emerg Trends Eng*, 15(4): 45-57.  
 Jay P, Praveenra J. 2016. Design and fabrication of stair climbing trolley. *Int J Adv Eng Tech Manag App Sci*, 3(5): 89-102.  
 Liu J, Wang Y, Ma S, Li B. 2005. Analysis of stairs-climbing ability for a tracked reconfigurable modular robot. *IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics*, 06-09 June, 2005, Kobe, Japan, pp: 36-41.  
 Marathe SS. 2016. Stair climbing hand trolley. *J Emerg Tech Innov Res*, 12(3): 23-34.  
 Mogaddam MM, Dalvand MM. 2005. Stairclimbing mechanism for mobile robots. *Tehran International Congress on Manufacturing Engineering*; December 12-15, 2005, Tehran, Iran, pp: 65-69.  
 Murray JL. 2003. Modeling of a stair-climbing wheelchair mechanism with high single-step capability. *IEEE Transaction of Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 11(3): 12-34.  
 Pratik HR, Ravi RM, Nitin A. 2020. Design and fabrication of stair climbing hand truck. *Int J Emerg Trend Eng Devel*, 5(3): 20-26.  
 Praveen Raj JP, Fuge PMM, Caleb PR, Natarajan G. 2021. Design and fabrication of stair climbing trolley. *Int Global Invent Sci J*, 3(1): 11-23.  
 Raj KK, Shahbaz A, Shahid K, Shankul B, Shubham R. 2018. An automated stair climbing wheelchair. *J Emerg Eng Devel*, 7(3): 56-64.  
 Shriwaskar AS, Choudary SK. 2013. Synthesis, modeling, analysis and simulation of stairclimbing mechanism. *Int J Mech Eng Robot Res*, 2(4): 330-341.  
 Virag AT, Khavekar S, Vijayakumar KN. 2022. Design and development of a multi-purpose trolley. *Global J Enterprise Info Sys*, 9(1): 90. DOI: 10.18311/gjeis/2017/15871.



## COMPARISON OF DIFFERENT TOOLS AND METHODS IN THE MEASUREMENT OF LEAF AREA IN ALFALFA

Tefide KIZILDENİZ<sup>1\*</sup>


<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Biosystem Engineering Department, 51240, Niğde, Türkiye

**Abstract:** Leaf area measurements in the field are very difficult to determine the yield. Use of the mobile application has come to the fore due to its practical use and ease of transportation. Therefore, in this study, the ease of use and accuracy were tested by determining area of leaf with an automatic leaf area meter and a mobile application called 'PETIOLE'. The leaf area of alfalfa plants (*Medicago sativa* L. cv Nimet) grown in the field, and measured in the field with the 'PETIOLE' mobile application and in laboratory conditions with automatically leaf area measurement device was measured. The automated leaf area meter mean for total leaf area was  $61.65 \pm 3.50$ ; meanwhile the mean for the PETIOLE App assessment was  $61.56 \pm 3.15$ . As a result, the PETIOLE app measures the area of each leaf separately, more quickly and efficiently than before, particularly in the field.

**Keywords:** Alfalfa, PETIOLE App, LICOR, LI-3100C, Leaf area, *Medicago sativa* L cv

\*Corresponding author: Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Biosystem Engineering Department, 51240, Niğde, Türkiye

E mail: tefidekizildeniz@gmail.com (T. KIZILDENİZ)

Tefide KIZILDENİZ  <https://orcid.org/0000-0002-5627-1307>

Received: September 24, 2022

Accepted: November 14, 2022

Published: January 01, 2023

Cite as: Kizildeniz T. 2023. Comparison of different tools and methods in the measurement of leaf area in alfalfa. BJSJ Eng Sci, 6(1): 32-35.

### 1. Introduction

Plant physiological functions characterize anatomical, biochemical, physiological, or morphological properties of plant individuals or species that are significant to ecology and reveal the environmental standards a plant must cope with (Perez-Harguindeguy et al., 2013). Growing interest has been shown in researching the variance of plant properties (Díaz et al., 2016). Functional features from several species of plants, research, and locations have been compiled into sizable databases, yet there are still apparent taxonomy and geographical deficiencies (Jetz et al., 2016).

Leaf area one of the most crucial aspects of a plant's anatomy (Díaz et al., 2016). It may be viewed as a crucial attribute that affects other traits, and is used to anticipate the need for irrigation depending on evapotranspiration and performance (Perez-Harguindeguy et al., 2013). Furthermore, it is crucial for the development of the foliage economics continuity (Jetz et al., 2004), which is connected to variabilities in plant life approaches. It corresponds favorably with rate of photosynthesis, leaf nitrogen intensity, light infiltration, and comparative rate of growth and adversely with leaf durability and carbon equity (Garnier et al., 2017). Alfalfa (*Medicago sativa* L cv.) is the most widely utilized warm weather forage legume on the earth (Acharya et al., 2020). Plants are vulnerable against abiotic stress elements such as drought, salt, and high or low temperature, which results in yield loss in agricultural production (Janmohammadi et al., 2008). Alfalfa, which has %18 crude protein in its

dry forage (Dale et al., 1983), is the most essential and beneficial quality roughage source in Türkiye and over the world. This plant, that has completed its growth, is still resistant to the effects of drought. It requires significantly more water, particularly in dry locations, than other farmed plants since alfalfa have a long harvest period and a rich vegetative portion (Wissuwa et al., 1997).

A variety of techniques are using to measure leaf area along with some traditional and non-traditional methods which are time consuming and laborious as well. Smart phones have an enormous opportunity for research (Welsh and France, 2012), since they are widely available, have powerful computational capability (Lane et al., 2010), and offer a variety of precise instruments such as Geolocation, cameras, and many sorts of sensing power (e.g., acceleration sensors, gyroscopes, magnetic field sensors, light sensors, barometers, thermometers, and air humidity sensors). Smart phones that use this combination of sensors might be useful tool for fieldwork (Welsh and France, 2012), especially because many of them are free. Despite the numerous precise sensors in cellphones, remarkably few software has been created as instruments for ecology and evolution, rendering them an underutilized resource (Teacher et al., 2013).

On the other hand, estimating leaf area in the field can be challenging since typical techniques involve a scanner, computer, and digital image processing using specialized and often costly software e.g. :Delta-T Devices (Cambridge, UK), LICOR (Lincoln, NE, USA), and



WinFOLIA (Regent Instruments Canada Inc.. It frequently limits leaf area analyses to labs with access to power and computers (Perez-Harguindeguy et al., 2013). As variety of techniques are available for leaf area assessment. Scientists have been exploring for further feasible and efficient ways to estimate leaf area. Therefore, the prime goal of this study is to assess the most effective leaf area measurement among traditional and mobile application methods for alfalfa crops.

## 2. Materials and Methods

This experiment was carried on alfalfa (*Medicago sativa* L. cv Nimet) at Niğde Omer Halisdemir University research field located in Niğde, Türkiye. As each plant have different number of leaves, so 20 random leaves samples were taken from each alfalfa plants. Leaves from three random alfalfa plants were collected to examine the comparison of two different leaf area measurement with PETIOLE mobile application and automatic leaf area meter LICOR, LI-3100C. In this research work comparison of mobile application (PETIOLE) and traditional method (automatic leaf area meter, LICOR, LI-3100C) in two different techniques: (i) individually measured (LICOR-I) and all leaves were measured at the same time (LICOR-II) as commonly applied for leaf area measurement were used for the estimation of leaf area.

Leaf area measurement directions: (1) Snap the leaf horizontally, with the leaf completely flat on the work-surface, and using a measure; (2) Launch ImageJ and open the image: File > Open; delete unnecessary things: Adjust the scoring system: image > Crop Set Scale > Analyze; (5) Configure Comparison: (6) Calculate the area: Image > Type > 8-Bit Image > Customize > Threshold; Analyze > Particle Analysis Following photography process, the leaves were measured with a leaf area meter (LICOR LI-3100C).

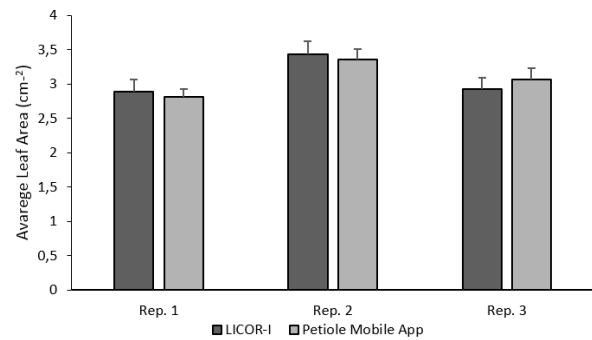
Leaf-IT operates on smartphone device with an Android operating systems and doesn't need a Web or data system connection. The integrated smartphone camera captures an image of leaves. Following picture acquisition, Leaf-IT performs area measurement using digital image processing in three steps: (1) border spotting of the leaf with well delineated borders, (2) pixel counts, and (3) comparison with a reference object with a known area. For optimum effects, set the leaf on a backdrop with a strong contrast to the leaf. For instance, for darker foliage, a white background works best.

Data were evaluated as means  $\pm$  standard error showing  $P < 0.05$  were considered statistically significant. Box plots of variables were used for graphical representation.

## 3. Results

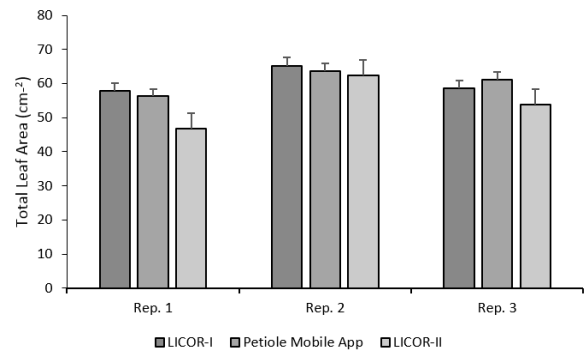
It is exhibited that mean of total leaf area measured by the automatic leaf area meter was  $61.65 \pm 3.50 \text{ cm}^2$  while, PETIOLE App measurement's mean was observed  $61.56 \pm 3.15 \text{ cm}^2$ . According to ANOVA results, it showed non-significant difference ( $P=0.106$ ) between the machines

reading. On individual basis, no significant difference was observed in replications 1, 2, and 3. Analyses showed almost the same results with the average values of 2.89 and 2.82  $\text{cm}^2$  in replication 1, 3.43 and 3.36  $\text{cm}^2$  in replication 2, and 2.92 and 3.06  $\text{cm}^2$  respectively for LICOR, LI-3100C and PETIOLE app (Figure 1).



**Figure 1.** Average leaf area comparison of individual alfalfa leaf samples using LICOR-I and PETIOLE App (n=20).

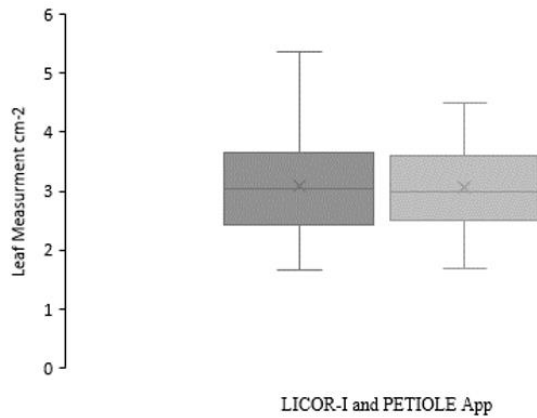
On the other hand, when three different techniques (LICOR-I, PETIOLE App, and LICOR-II) were used to measure the leaf area, the results showed that the LICOR-II was found with the least leaf area measurement (Figure 2).



**Figure 2.** Total leaf area comparison of using with three different methods (LICOR-I, LICOR-II and PETIOLE App; n=20).

Whereas the LICOR-I exhibited the maximum values in replication 1 and 2 (57.8 and 65.2  $\text{cm}^2$ ) as compared to PETIOLE app values (56.3 and 63.7  $\text{cm}^2$ ) respectively. While, in replication 3 the petiole app was found with maximum leaf area 61.2  $\text{cm}^2$ , as compared to LICOR-I 58.2  $\text{cm}^2$ . According to the P values there is no significant difference between the two machines as shown in the box plot (Figure 3).





**Figure 3.** Box plot graph depicting comparison in individual alfalfa leaf samples measurement (LICOR-I; left) and PETIOLE App (right); n=60).

#### 4. Discussion

This study was carried out to compare to different approaches (LICOR, LI-3100C and PETIOLE App) for leaf area measurement using alfalfa leaves as a sample. There was no significant difference was observed using both sources (LICOR, LI-3100C and PETIOLE App). A study carried out by Singh et al. (2021) estimating leaf area by using PETIOLE app also found no significant difference. Similarly, Janmohammadi et al. (2008) found differences for height and time of year for the direct, destructive technique when comparing methods for estimating leaf area in palisade grass, and did not suggest the use of a meter for gathering LAI data for modeling purposes. Clarke and McCaig (1985) described a microcomputer-based leaf area measurement system that was capable of measuring multiple green scales, allowing the device to measure chlorotic portions of leaves. In cucumber and tomato, a time- and labor-saving alternative to calculating leaf area (using PETIOLE app) was put into place (Blanco and Folegatti, 2003). In a similar vein, Ramirez and Zullo Jr. (2010) used Quickbird satellite orbital photos to examine the leaf area parameter in a coffee crop and came to the conclusion that employing high-resolution imaging is a potential way for measuring leaf area. However, there are multiple results are available in the favor and contrast of our study.

#### 5. Conclusion

Two different methods were used in this study for the estimation of leaf area analysis. This outcome indicates that there is a variance even in the measuring application. As a result, the PETIOLE app measures the area of each leaf separately, faster and efficiently than before, especially in the field. Individual leaf measurement with LICOR, LI-3100C is most effective than total leaf measurement with same equipment. Measurement in the filed with mobile application is not require to carry to plants until lap so it is more fast and more applicable in the field.

#### Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. The author reviewed and approved final version of the manuscript.

	T.K.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

#### Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

#### Acknowledgements

The authors appreciated the support provided by BSc students; Ahmet Fatih Akansu, and Yahya Ekinçioğlu, and thank to Prof. Dr. Mustafa Avcı from Niğde Ömer Halisdemir University for providing the seeds and sharing his precious knowledge about these alfalfa varieties.

#### References

- Acharya JP, Lopez Y, Gouveia BT, de Bem Oliveira I, Resende Jr MF, Muñoz PR, Rios EF. 2020. Breeding alfalfa (*Medicago sativa* L.) adapted to subtropical agroecosystems. *Agronomy*, 10(5): 742.
- Blanco FF, Folegatti MV. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticult Brasileira*, 21: 666-669.
- Clarke JM, McCaig TN. 1985. A versatile, inexpensive microcomputer-based leaf area measurement system 1. *Agronomy J*, 77(6): 966-968.
- Dale BE. 1983. Biomass refining: protein and ethanol from alfalfa. *Indust Eng Chem Prod Res Devel*, 22(3): 466-472.
- Díaz S, Kattge J, Cornelissen JH, Wright IJ, Lavorel S, Dray S, Gorné LD. 2016. The global spectrum of plant form and function. *Nature*, 529(7585): 167-171.
- Garnier E, Stahl U, Laporte MA, Kattge J, Mougnot I, Kühn I, Klotz S. 2017. Towards a thesaurus of plant characteristics: an ecological contribution. *J Ecol*, 105(2): 298-309.
- Janmohammadi M, Dezfuli PM, Sharifzadeh F. 2008. Seed invigoration techniques to improve germination and early growth of inbred line of maize under salinity and drought stress. *Gen Appl Plant Physiol*, 34(3-4): 215-226.
- Jetz IJ, Reich PB, Westoby M, Ackerly DD, Baruch Z, Bongers F, Villar R. 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985): 821-827.
- Jetz W, Cavender-Bares J, Pavlick R, Schimel D, Davis FW, Asner GP, Ustin SL. 2016. Monitoring plant functional diversity from

- space. *Nature Plants*, 2(3): 1-5.
- Lane ND, Miluzzo E, Lu H, Peebles D, Choudhury T, Campbell AT. 2010. A survey of mobile phone sensing. *IEEE Commun Mag*, 48(9): 140-150.
- Perez-Harguindeguy N, Diaz S, Garnier E, Lavorel S, Poorter H, Jaureguiberry P, Cornelissen JHC. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Aust Bot*, 61: 167-234.
- Ramirez GM, Zullo Júnior J. 2010. Estimation of biophysical parameters of coffee fields based on high-resolution satellite images. *Engenharia Agrícola*, 30: 468-479.
- Singh J, Kumar A, Singh L. 2021. Performance of the petiole mobile application on the leaf area estimation as varied with calibration height. *The Pharma Innov J*, 10(4): 337-341.
- Teacher AG, Griffiths DJ, Hodgson DJ, Inger R. 2013. Smartphones in ecology and evolution: A guide for the apprehensive. *Ecol Evol*, 3(16): 5268-5278.
- Welsh K, France D. 2012. Smartphones and fieldwork. *Geography*, 97(1): 47-51.
- Wissuwa M, Smith SE. 1997. Morphological and physiological characteristics associated with tolerance to summer irrigation termination in alfalfa. *Crop Sci*, 37(3): 704-711.



## MEKANİK AKTİVE EDİLMİŞ DİASPORİTİK BOKSİTTEN ATMOSFERİK KOŞULLARDA MİKRODALGA DESTEKLİ LİÇ İLE ALÜMİNA ÜRETİMİ

Volkan Murat YILMAZ<sup>1,2\*</sup>, Kenan YILDIZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bartın University, Central Research Laboratory, 74100 Bartın, Türkiye

<sup>2</sup>Sakarya University, Faculty of engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 54050, Sakarya, Türkiye

**Özet:** Bu çalışmada, Gaziantep – İslahiye bölgesi diasporitik boksitten mikrodalga liçiyile alümina üretimine mekanik aktivasyon ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  katkısının etkisi araştırılmıştır. NaOH ile yapılan mikrodalga liç çalışmalarında mikrodalga gücü,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  katkısı, sıvı/kati oranı ve liç süresi gibi parametreler hem orijinal diasporitik boksit hem de 60 dakika aktive edilmiş diasporitik boksit için incelenmiştir.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  katkılı liç işlemlerinde 1200 W mikrodalga gücü, sıvı/kati oranı 20 ve liç süresi 30 dakika olduğunda, alüminyum verimi orijinal cevherden % 48,59 ve aktive edilmiş cevherden %78,51 olarak gerçekleşmiştir. Son olarak çöktürme ve kalsinasyon yoluyla  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  elde edilmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre, İslahiye bölgesi diasporitik boksitten mekanik aktivasyon sonrasında atmosferik koşullarda ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  katkısıyla mikrodalga liçi yapılarak kabul edilebilir oranda alümina elde edilebileceği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Diasporitik boksit, Mekanik aktivasyon, Mikrodalga liçi


### Production of Alumina from Mechanically Activated Diasporic Bauxite by Microwave Assisted Leaching at Atmospheric Conditions


**Abstract:** In this study, the effect of mechanical activation and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  additive on alumina production by microwave leaching from diasporic bauxite in Gaziantep – İslahiye region were investigated. In microwave leaching studies with NaOH, parameters such as microwave power,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  addition, liquid/solid ratio and leaching time were investigated for both original diasporic bauxite and 60 min activated diasporic bauxite. In microwave leaching with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  additive, while the aluminum extraction from original ore was 48.59% and it is 78.51% from the activated ore at 1200 W microwave power, 20 as liquid/solid ratio, 30 min of leaching time. Finally  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  was obtained by precipitation and then calcination. According to the results obtained in this study, it was seen that an acceptable percent of alumina could be obtained by microwave leaching in atmospheric conditions after mechanical activation and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  addition from diasporic bauxite in İslahiye region.

**Keywords:** Diasporic bauxite, Mechanical activation, Microwave leaching

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sakarya University, Faculty of engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 54050, Sakarya, Türkiye

E mail: myilmaz@bartin.edu.tr (V. M. YILMAZ)

Volkan Murat YILMAZ  <https://orcid.org/0000-0001-8203-2900>

Kenan YILDIZ  <https://orcid.org/0000-0002-7253-6029>

Gönderi: 26 Eylül 2022

Kabul: 01 Aralık 2022

Yayınlanma: 01 Ocak 2023

Received: September 26, 2022

Accepted: December 01, 2022

Published: January 01, 2023

**Cite as:** Yılmaz VM, Yıldız K. 2023. Production of alumina from mechanically activated diasporic bauxite by microwave assisted leaching at atmospheric conditions. BSJ Eng Sci, 6(1): 36-43.

### 1. Giriş

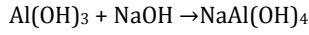
Dünyanın toplam boksit rezervinin %1,6'sına sahip olan Türkiye, çok geniş boksit yataklarına sahip bir konumdadır ve ülkemizin boksit cevherleri daha çok Toros kuşağının orta ve batı kesimlerinde yaygın olarak bulunmaktadır (Sarı, 2019). Ülkemizde boksit rezervi toplam 450-500 milyon ton civarında olduğu tahmin edilmektedir ancak işletilebilir rezerv yaklaşık 87 milyon tondur. Türkiye'deki boksit yatakları genel olarak Milas-Yatağan, Yalvaç-Şarkikaraağaç, Seydişehir-Akseki, Alanya, Bolkardağı-Karaman, Tufanbeyli-Saimbeyli-Kadirli, Payas-İslahiye ve Kokaksu-Zonguldak bölgelerinde bulunmaktadır. Bu rezervlerin birçoğu aynı zamanda ekonomik değeri olan kısmı Seydişehir-Akseki bölgesinde yer almaktadır (Haniççi, 2019; Birinci ve Gök,

2021).

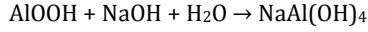
Boksit; ticari olarak farklı uygulamalar için, büyük bir çoğunluğunun dünyada Bayer prosesiyle üretildiği alüminanın başlıca hammaddesidir. Yüksek sıcaklık ve basınçta kostik soda içerisinde çözündürülen boksitin operasyon şartları minerolojik kompozisyonuna bağlıdır. Trihidrat bağlı Gibsit [ $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$ ] ortalama şartlarda (100-150 °C) çözünürken, monohidrat içeren Böhmite [ $\gamma\text{-AlOOH}$ ] ya da Diasporit [ $\alpha\text{-AlOOH}$ ] daha zor şartlarda (>200 °C) çözünmektedir (Alex ve Rakesh, 2017). Boksit içerisindeki alüminyum oksidi diğer maddelerden ayırmak için öncelikle kostik soda çözeltisi ile liç işlemi yapılmaktadır. Boksitin çözünme reaksiyonları boksit tipine göre değişkenlik göstermektedir;



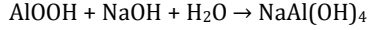
Gibsit (100-145°C)



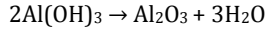
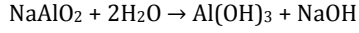
Böhmit (200-240°C)



Diasporit (220-260°C)



Alüminyum çözündürme işleminden sonra hidrat çöktürmesi adı verilen sodyum alüminat ( $\text{NaAlO}_2$ ) çözeltisinden alüminyum hidrat  $\text{Al(OH)}_3$  halinde çökmesi sağlanmaktadır. Bu işlemi hızlandırmak amacıyla çözeltiliye  $\text{Al(OH)}_3$  aşılama hidratı ilave edilir. Elde edilen alüminyum hidroksit kristalleri çözeltiden ayrıştırılarak kalsinasyon amacıyla fırınlara verilmektedir.



Bayer prosesinin son aşaması olan kalsinasyon işleminde döner fırın ya da akışkan yataklarda 1100°C'de alüminyum hidroksitin alüminaya ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dönüşümü gerçekleştirilmektedir (Birinci ve Gök, 2018).

Mekanik aktivasyon, malzemelerin partikül boyutunu kontrol etmek/azaltmak için geliştirilmiş en yaygın yöntemdir. Mekanik aktivasyon sırasında malzemelerin kristal yapısındaki kusuru ortaya çıkararak, kimyasal reaksiyonun sıcaklığının ve süresinin azalması beklenir (Abdi ve Ebadzadeh, 2013). Ekstraktif metalurjide, katı parçacıkların reaktivitesini büyük ölçüde artırabilen yüksek enerjili öğütme ile numune aktive edilir. Artan reaktivite, aktivasyon enerjisinin azalmasına ve minerallerde bulunan değerli metallere çözünmesinin hızlanmasına yol açar (Yang ve ark., 2021). Liç öncesi bir ön işlem olarak kullanılan mekanik aktivasyonun, daha az enerji tüketimi ve atık salınımı ile minerallerin işlenmesinde etkili olduğu bildirilmiştir (He ve ark., 2018). Reaksiyon sıcaklığını düşürmek, çözünme hızını artırmak, daha kolay suda çözünmeye imkan sağlamak, reaksiyon süresini azaltmak, daha ucuz reaktör üretimi gibi üstün özellikleri nedeniyle mekanik aktivasyon, metalurjik süreçler için önemli hale gelmiştir (Göktaş, 2018).

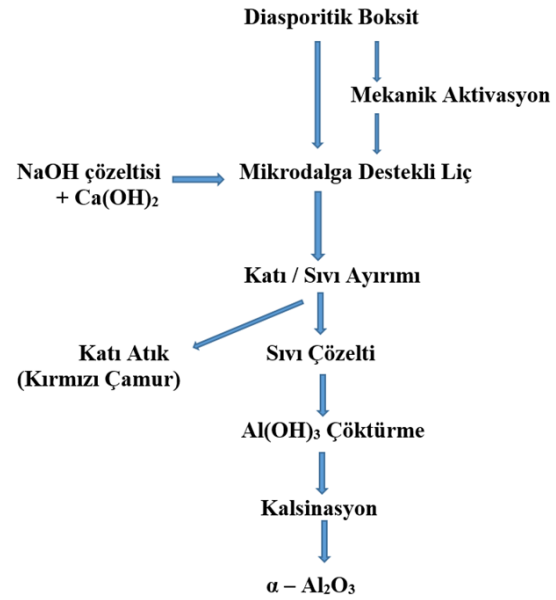
Mikrodalga, mineral işleme ve ekstraktif metalurjide özellikle pirometalurji ve hidrometalurjinin çeşitli uygulamalarında önemli potansiyele sahip enerji kaynağıdır. Oksitli cevherlerin pirometalurjik proseslerinde mikrodalga uygulanarak kurutma, kalsinasyon ve sinterleme, redüksiyon ve ergitme, curuf ısıtma ve redüksiyonu, segregasyon işlemleri, elektrik ark fırın tozu ve altın içeren malzemeler prosesi gibi çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Pickles, 2009). Hidrometalurjik uygulamalarda ise benzersiz mikrodalga ısıtma özellikleri olan doğrudan, seçici ve hacimsel ısıtma, düşük işlem süresi, kolay kontrol edilebilir proses sayesinde mikrodalga destekli liç işlemleri, metal ekstraksiyonunda potansiyel uygulama alanlarına sahiptir (Al-Harashsheh ve Kingman, 2004).

Bu çalışmada, çözündürme şartlarının zorluğundan dolayı alümina üretiminde kullanılamayan diasporitik boksitten alümina üretimi yapılabilmesine olanak sağlayan mekanik aktivasyon ön işlemi ve mikrodalga

destekli liç işlemi gerçekleştirilmiştir. Cevherden alüminyum çözünürlüğüne mekanik aktivasyonun,  $\text{Ca(OH)}_2$  katkısının, mikrodalga gücü ve süresinin etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmanın deneysel akım şeması Şekil 1'de verilmiştir. Diasporitik boksit cevheri, Gaziantep-İslahiye bölgesinden temin edilmiştir. Cevher Şekil 2'de gösterildiği gibi öncelikle kaba kırma işlemi ile halkalı değirmende 15-20 mm boyutuna getirilmiştir. Bu boyut aralığındaki cevher, 100 µm elek altı olacak şekilde eleme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 1. Deneysel akım şeması.

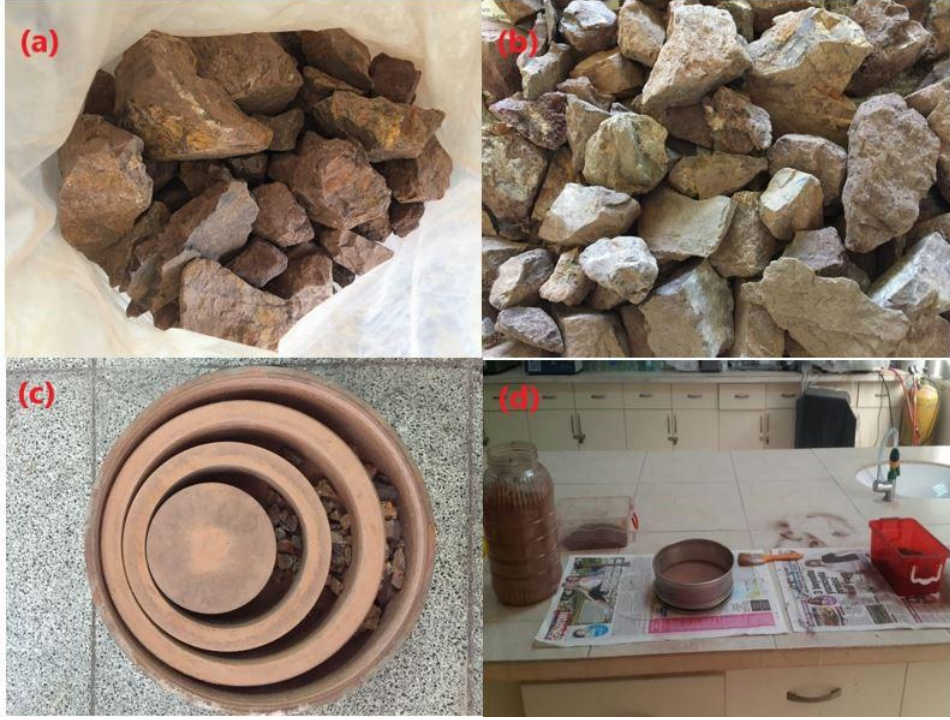
Cevherin mekanik aktivasyon işlemleri Fritsch Pulverisette 6 model gezegensel bilyalı değirmen ile gerçekleştirilmiştir. Bilyalar 10 mm çapında, değirmen kabı 250 ml hacminde olup her ikisi de Tungsten karbürden (WC) den imal edilmiştir. Mekanik aktivasyon işlemlerinde bilya/numune ağırlık oranı 25 ve değirmenin devir hızı 600 devir/dakika olarak sabitlenmiştir. Mekanik aktivasyon süresi 15, 30, 60, 90 ve 120 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Mekanik aktivasyon işlemlerinin diasporitik boksit yapısına etkileri bir başka çalışmada (Yılmaz ve ark., 2018) yayınlanmıştır. Bu çalışmada mekanik aktive edilmemiş ve 60 dakika süreyle aktive edilmiş diasporitik boksit kullanılmıştır.

Mikrodalga işlemlerinin tamamında 1 g diasporitik boksit numunesi ve 20 g NaOH (yoğunluğu 2,13 g/cm<sup>3</sup>) kullanılarak hazırlanan NaOH çözeltisi kullanılmıştır. İlave olarak cevhere alüminyum kayıplarını önlemek için 0,64 g  $\text{Ca(OH)}_2$  katkısı yapılmıştır.

Mikrodalga destekli liç çalışmalarında Milestone flexiWAVE mikrodalga sentez cihazı kullanılmıştır. 1900 W kapasiteye ve 70 litre iç hacme sahip bu cihazda, deneylerin atmosferik koşullarda yapılabilmesi için iç kısmındaki rotorlar çıkarılarak içi boşaltılmış ve cihazın

üst kısmına spiralli cam boru ilave edilerek geri soğutma sistemi düzeneği entegre edilmiştir. 250 ml hacminde bir cam balon içerisinde mikrodalga destekli liç çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 3'de

gösterilmiştir. Bu çalışmalarda cevherdeki alüminyumun çözünürlüğüne  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  katkısının, mikrodalga gücünün (800, 1000, 1200 ve 1400 Watt) ve liç süresinin (10, 20, 30 ve 40 dak) etkileri incelenmiştir.



Şekil 2. a) Temin edilen cevher, b) kırma, c) öğütme, d) eleme işlemleri.



Şekil 3. Mikrodalga destekli liç çalışması için deneysel düzenek.

Liç işlemlerinden sonra santrifüj yoluyla katı/sıvı ayrımı yapılmış, sıvı kısımdaki çözünmüş alüminyum miktarı Thermo Scientific-X Series 2 marka ICP cihazı ile tespit edilmiştir. Çözeltide bulunan alüminyum, pH düzenlemesi ile  $\text{Al}(\text{OH})_3$  haline çöktürülmüş ve tekrar katı/sıvı ayrımı yapıldıktan sonra iki kez yıkanmıştır. Kalsinasyon işlemi ile  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 'ten  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  eldesi

gerçekleştirilmiştir. Kalsinasyon işlemi için Protherm marka PLF 120/30 model yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır.

Cevherin kimyasal bileşimi için XRF analizi, Rigaku marka Supermini200 model dalgaboyu dağılımlı XRF (WDXRF) cihazı ile, faz analizi için X-ışınları kırınım (XRD) analizi Rigaku SmartLab (40 kV, 30 mA, Cu\_K-Beta) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen alüminyumun karakterizasyon çalışmaları (SEM-EDS) için Tescan Maia3 cihazı kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Cevherin Karakterizasyonu ve Mekanik Aktivasyonun Etkisi

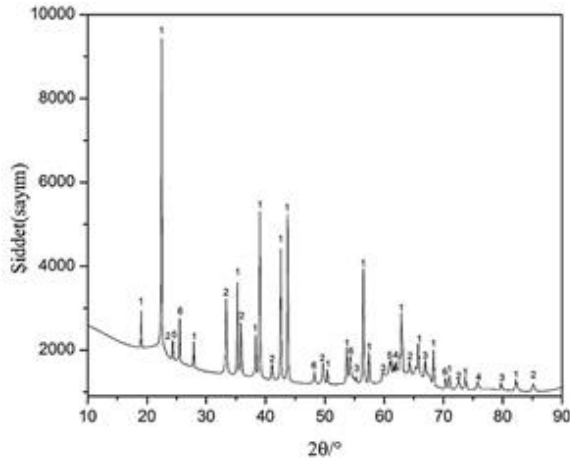
DeneySEL çalışmalarda kullanılan İslahiye bölgesi diasporitik boksit XRF kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir. XRD faz analizi ise Şekil 4'de gösterilmiştir. Diasporitik boksit cevherinin XRF sonuçlarına göre %50,63  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , %13,87  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %14,52  $\text{SiO}_2$ , %7,64  $\text{TiO}_2$  içerdiği ve kızdırma kaybının %12,75 olduğu tespit edilmiştir. Cevherde, XRD analizi sonuçlarına göre ana faz olarak diasporit ( $\text{AlOOH}$ ), minör fazlar hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kuvars ( $\text{SiO}_2$ ), anataz ( $\text{TiO}_2$ ), muskovit ( $\text{KAl}_2\text{Si}_2\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ) ve kaolinit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) bulunmuştur.

Bu çalışmada kullanılan diasporitik boksit yapısına mekanik aktivasyonun etkileri yayınlanmış olup bilya/numune oranının 25 olduğu çalışmada 60 dakikalık mekanik aktivasyonla %64,3 oranında amorflaşma

sağlanmıştır. 60 dakikadan daha uzun mekanik aktivasyon işlemlerinde oluşan aglomerasyon nedeniyle ortalama partikül boyutu bir miktar artmıştır. FT-IR analizi ile gözlemlenen mekanik aktivasyon sonrası piklerin kaybolması ya da azalma eğiliminde olması kristalin kaybı, mikro gerilim, amorflaşma gibi nedenlerden kaynaklı bağ yapısının zayıfladığı ifade edilmiştir (Yılmaz ve ark., 2018).

**Tablo 1.** Cevherin kimyasal kompozisyonu

Ağırlıkça % Bileşenler		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,63
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,87
	SiO <sub>2</sub>	14,52
	TiO <sub>2</sub>	7,64
	Toplam eser bileşenler	0,59
	Kızdırma Kaybı	12,75



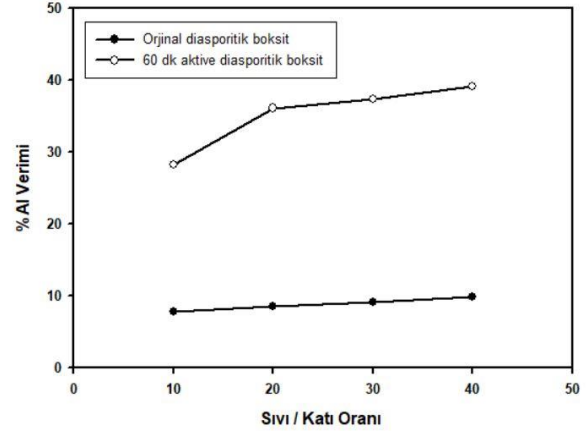
1. Diaspor – AlOOH (01-074-1879)
2. Hematit – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (00-002-0915)
3. Kuvars – SiO<sub>2</sub> (01-073-6619)
4. Kaolinit – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O (00-003-0052)
5. Muskovit – KAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub> (00-007-0025)
6. Anataz – TiO<sub>2</sub> (00-002-0387)

**Şekil 4.** Diasporitik boksitin XRD faz analizi.

### 3.2. Ca(OH)<sub>2</sub> Katkısız Liç Çalışmaları

Diasporitik boksitin mikrodalga destekli liç çalışmalarında, Ca(OH)<sub>2</sub> katkısı olmaksızın orjinal cevher (1 g) ve 60 dakika mekanik aktive edilmiş cevher (1 g) 1000 W mikrodalga gücünde ve 20 dakika süreyle farklı sıvı/katı oranlarında NaOH çözeltisi ile liç edilmiştir. Ca(OH)<sub>2</sub> katkısı yapılmadan cevherden alüminyumun çözünürlüğüne mekanik aktivasyonun ve sıvı/katı oranının etkisi Şekil 5’de verilmiştir. Mekanik aktive edilmemiş diasporitik boksitin Ca(OH)<sub>2</sub> katkısız mikrodalga destekli liç işlemlerinde alüminyum liç verimlerinin % 7–10 aralığında olması, cevherdeki alüminyumun çok çözünemediğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık 60 dakika aktive edilmiş diasporitik boksitten alüminyumun çözünme değerleri, orjinal cevherden kazanıma nazaran daha fazla olduğu

görülmüştür. Aktive edilmiş cevherde sıvı/katı oranı 10 iken % Al verimi %28,24 olarak gerçekleşmiş, bu değer daha büyük sıvı/katı oranlarında %36-39 aralığında olmuştur. Ca(OH)<sub>2</sub> katkısı yapılmaksızın gerçekleştirilen mikrodalga destekli liç işlemleri sonucunda yüksek oranlarda alüminyum çözünürlük verimi elde edilememiştir.



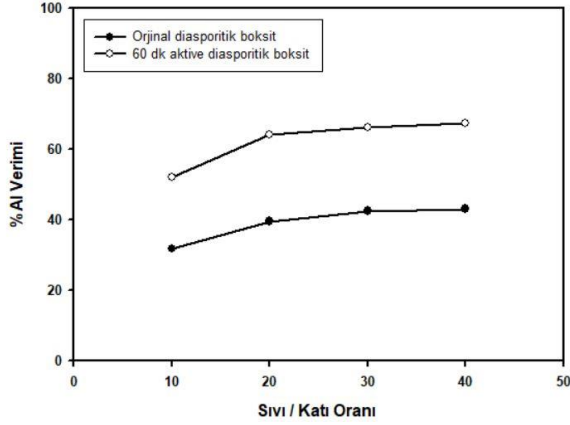
**Şekil 5.** Ca(OH)<sub>2</sub> katkısız liç verimine sıvı/katı oranının etkisi.

### 3.3. Ca(OH)<sub>2</sub> Katkılı Liç Çalışmaları

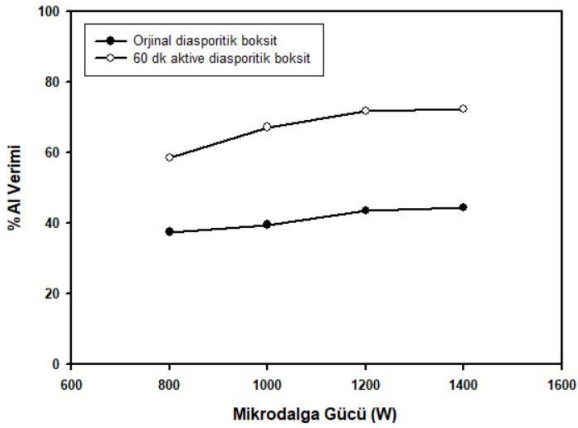
Bu çalışmada amaç cevherden çözünebilir sodyum alüminat (NaAlO<sub>2</sub>) ve çözünemeyen kalsiyum silikat (CaSiO<sub>4</sub>) elde etmektir. Cevherin çözündürülmesine katkı sağlamak için belli oranlarda NaOH, silikayı bağlayıp çözünemeyen hale getirmek için de Ca(OH)<sub>2</sub> ilave edilmiştir. Öncelikle uygun sıvı/katı oranını belirlemek için 1000 W mikrodalga gücü ve 20 dakika mikrodalga süresi sabit tutulmuştur. Sıvı/katı oranı 10, 20, 30 ve 40 olacak şekilde hazırlanan NaOH çözeltisi ile diasporitik boksit + Ca(OH)<sub>2</sub> karışımları liç edilmiştir. Bu çalışmada 1 g diasporitik boksit 0,36 g Ca(OH)<sub>2</sub> ilave edilmiştir. Şekil 6’da mekanik aktivasyonun ve sıvı/katı oranının alüminyum çözünme verimlerine etkisi görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere diasporitik boksitin NaOH ile mikrodalga destekli liç işleminde Ca(OH)<sub>2</sub> katkısının diasporitten alüminyum çözünme verimlerine önemli bir etki oluşturmuştur. Ca(OH)<sub>2</sub> katkısı yapılmadan orjinal cevherin sıvı/katı oranı 10 olduğunda %7,81 olan alüminyum çözünme verimi, aynı şartlar altında Ca(OH)<sub>2</sub> katkısı yapıldığında bu değer %31,81 olmuştur. Sıvı/katı oranı artmasına bağlı olarak % alüminyum verimi %39-41 aralığında gerçekleşmiştir. Ca(OH)<sub>2</sub> katkısı olmadan 60 dakika mekanik aktive edilmiş diasporitik boksitten % alüminyum verimi, sıvı/katı oranı 20 olduğunda % 36,14 olarak gerçekleşirken, aynı şartlar altında Ca(OH)<sub>2</sub> katkısının yapıldığı çalışmada bu değer %64,27’ye çıkmıştır. Diasporitik boksitten alüminyum çözünme veriminin artmasına sadece mekanik aktivasyon işleminin değil aynı zamanda liç ortamına Ca(OH)<sub>2</sub> katkısı yapmanın da etkili olduğu görülmüştür.

Mikrodalga gücünün (800 – 1000 – 1200 – 1400 W) alüminyum ekstraksiyonuna etkisini incelemek için yapılan deneylerde sıvı/katı oranı 20 ve liç süresi 20

dakika ile sabitlenip, optimum mikrodalga gücü belirlemeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Sonuçlara göre mikrodalga gücü 800 W değerinden itibaren 1200 W değerine kadar hem orijinal hem de aktive edilen diasporitik boksitten alüminyum çözünürlüğü artmaktadır. Mekanik aktive edilmiş diasporitik boksitin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  katkılı ve 1200 W'lık mikrodalga gücünde % alüminyum verimi %71,85 olarak gerçekleşmiş ve mikrodalga gücünün 1400 W değerine çıkarılmasıyla çok fazla artış gözlenmemiştir. Bu nedenle liç süresinin etkisinin incelenmesinde 1200 W mikrodalga gücü sabitlenmiştir.



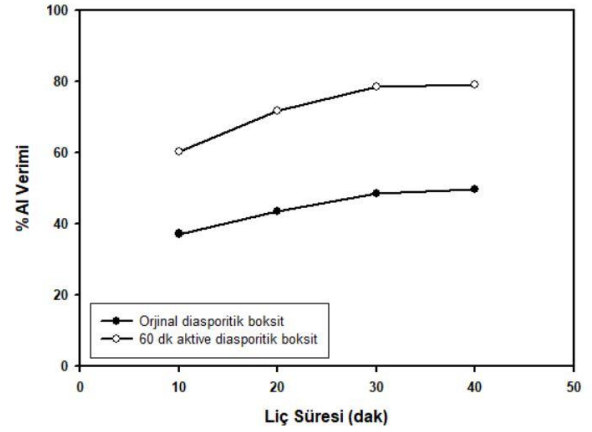
Şekil 6.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  katkılı liç verimine sıvı/katı oranının etkisi.



Şekil 7. Mikrodalga gücünün alüminyum liç verimine etkisi.

Mikrodalga destekli ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  katkılı liç çalışmalarında sıvı/katı oranı 20, mikrodalga gücü 1200 W sabit tutularak, liç süresinin (10, 20, 30 ve 40 dakika) etkisi incelenmiş ve deneysel sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Bu çalışmada hem orijinal hem de 60 dakika aktive edilmiş boksitten alüminyum çözünürlüğünün 10 dakikalık liç süresinden 30 dakikalık liç süresine doğru arttığı, daha uzun süreli liç işleminde çok fazla verimin artmadığı gözlenmektedir. Mekanik aktive edilmiş diasporitten alüminyum çözünürlüğünün 10 dakikalık liç süresinde %60,57 iken bu değer 20 dakikalık liç işleminde %71,85'e, 30 dakikalık liç işleminde ise %78,51 değerine çıkmıştır. 40 dakikalık liç işleminde ise

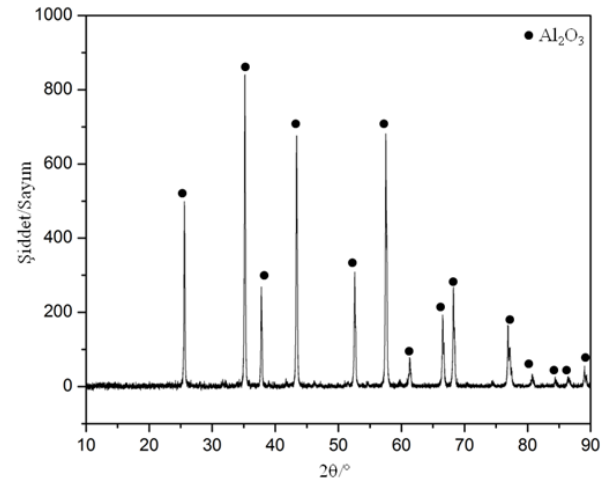
alüminyum veriminde kayda değer bir artış olmadığı gözlenmiştir.



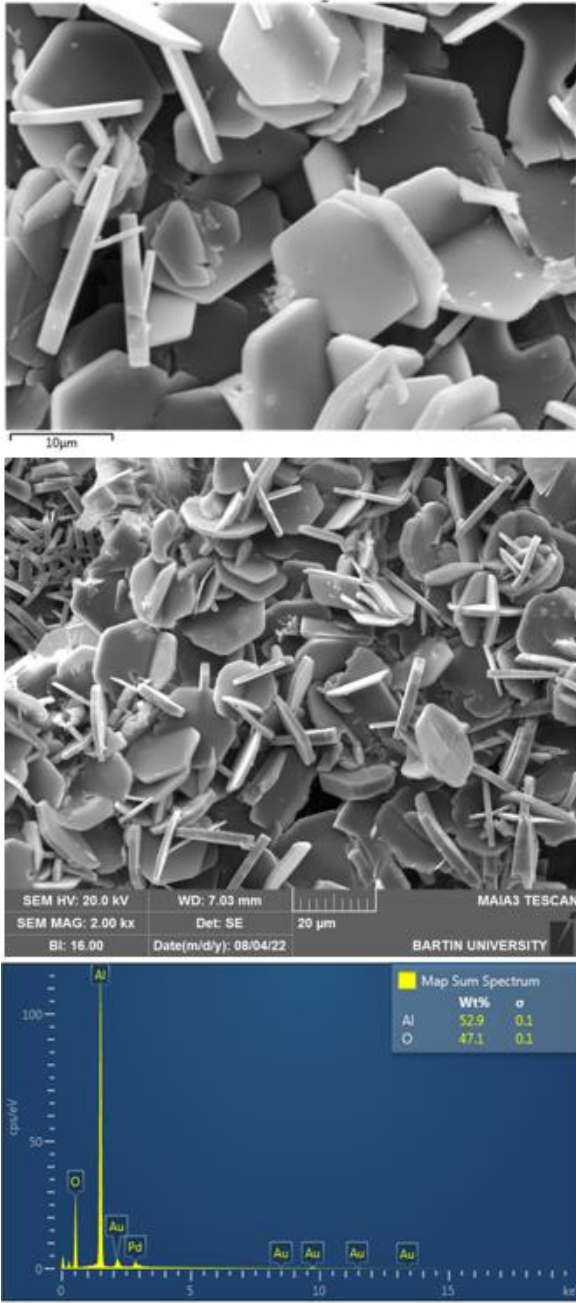
Şekil 8. Liç süresinin alüminyum liç verimine etkisi.

### 3.4. Alümina Eldesi ve Karakterizasyonu

Mikrodalga destekli  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  katkılı liç işlemlerinde optimum koşullar olan sıvı/katı oranı 20, mikrodalga gücü 1200 W, liç süresi 20 dakika olan çalışma sonrası sıvı/katı ayırımı santrifüj sistemiyle yapılmıştır. Katı/sıvı ayırımından sonra çözeltide pH değeri 4 seviyelerine getirilerek  $\text{Al}(\text{OH})_3$  olarak çöktürme işlemi yapılmıştır. Çökelen alüminyum hidroksit etüvde suyu buharlaşınca kadar bekletilmiş, akabinde havan yardımıyla ufalanıp toz haline getirilmiştir. Mevcut numune  $900^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 3 saat süre ile kül fırınında bekletilerek dehidratasyona uğratılmıştır. Elde edilen  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  maddesinin XRD analizi Şekil 9'da ve SEM-EDS analizi Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 8'de verilen XRD analizi sonucunda yapıda sadece  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (Pdf kart numarası ICDD 00-046-1212) fazı bulunduğu tespit edilmiştir. Şekil 10'da verilen SEM-EDS analiz sonucu incelendiğinde yapıda Al ve O element pikleri bulunmaktadır. Au ve Pd pikleri ise analiz esnasında kullanılan kaplamadan kaynaklanmaktadır. Elde edilen  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  tanelerinin genelde altıgen şekilli olduğu görülmektedir. Bu karakterizasyon sonuçlarına göre SEM-EDS ve XRD analizleri birbirini desteklemektedir.



Şekil 9. Alüminaya ait XRD analizi.



Şekil 10. Alüminaya ait SEM (üstteki 5 kx, alttaki 2 kx) - EDS analizi.

#### 4. Tartışma

$\text{NaAlO}_2$  çözeltisinde düşük denge çözünürlüğüne sahip diasporitik boksitlerden önemli oranda alüminyum ekstraksiyonu elde etmek için yüksek sıcaklık ( $>250^\circ\text{C}$ ) ve yüksek alkali konsantrasyonu ( $>200$  g/L  $\text{Na}_2\text{O}$ ) gereklidir. Fakat çözeltiye  $\text{CaO}$  ilavesi ile diasporitin daha düşük sıcaklıklarda çözünmesi sağlanabilir ve dolayısıyla çözünürlüğü artırılabilir (Demir, 2017). Bayer prosesi ile alümina üretiminde katkı maddesi olarak yaygın kullanılan kireç, daha yüksek alümina geri kazanımı ve daha düşük kostik soda tüketimi sağladığı için sodyum titanat ve safsızlıkların engelleyici etkisini en aza indirmektedir (Arıkan ve ark., 2019). Solymar ve arkadaşları kirecin diasporitten alüminyum

çözünürlüğünü arttırdığı, böhmitin çözünürlüğünü hızlandırıp tam çözüme sağladığını bildirmiştir (Solymar ve ark. 2004). Kumar ve arkadaşlarının çalışmasında 1:1 oranında diasporit +  $\text{NaOH}$  karışımının 2:1 oranında karışıma göre mikrodalgaya daha iyi yanıt verdiği bildirilmiştir. Eşit miktarda karışım içeren numunenin maksimum sıcaklığa ulaşma süresinin daha kısa olması ve termogravimetrik analizi sonrası aynı sıcaklık aralığında daha fazla ağırlık kaybına uğraması gibi avantajları olduğu tespit edilmiştir (Kumar ve ark., 2020).

Lu ve arkadaşlarının çalışmasında boksit cevheri ile odun kömürü karışımının 360 saniyelik bir ısıma süresi için, gelen güç seviyesinin manyetik malzemenin hem sıcaklığı hem de kütlesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 600 W ile 1175 W aralığındaki değerlere karşılık numune sıcaklığı ve magnetik fraksiyon kütlesindeki değişim grafiğine göre manyetik malzemenin kütlesinin 825 W gücünde 4,8 g'dan 1000 W gücünde 5,1 g'a hafifçe arttığı ve daha sonra 1175 W gücünde hızla 8,8 g'a yükseldiği bildirilmiştir (Lu ve ark., 2012).

Le ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada, diasporit boksit ile belirli oranlarda  $\text{NaOH}$  ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  karışımı hazırlanmış,  $800^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 5, 10, 20, 30 ve 45 dakika mikrodalga süresinde kavurma işlemleri yapılmıştır. Farklı bekleme sürelerinde çeşitli fazların varlığı, XRD analizi ile tanımlanmıştır. Mikrodalga süresinin artmasıyla  $\text{Al}_2\text{O}_3$  fazının XRD pik yoğunluklarının yavaş yavaş azaldığı ve  $\text{NaAlO}_2$  piklerinin arttığı ifade edilmiştir. Bekletme süresinin uzatılmasının  $\text{NaAlO}_2$  fazının oluşumunu desteklediğini göstermişlerdir. En yüksek Al ekstraksiyonunun 45 dakika sürede %82,24 olduğu bildirilmiştir (Le ve ark., 2019).  $800^\circ\text{C}$  gibi yüksek sıcaklıklarda mikrodalga ile kavurma ön işlemi yapılarak diasporitik boksitten %82,24 alüminyum çözünme verimine ulaşılması ekonomik olmayabilir. Çünkü yüksek sıcaklıklarda belli sürelerde bekletilen mikrodalga fırınların enerji sarfiyatı oldukça fazladır. Yapılan mevcut çalışmada alüminyum ekstraksiyonu  $110^\circ\text{C}$  sıcaklıkta yaklaşık %79 olarak gerçekleşmiştir. Ekstraksiyon verimi çok az miktarda düşük olmasına karşın çalışma sıcaklığı oldukça düşüktür. Burada mekanik aktivasyon ön işleminin reaktif yüzey alanı oluşturmasının çok büyük etkisi olduğu düşünülmektedir.

Le ve arkadaşlarının çalışmasında Çin'den temin edilen diasporitik boksiti yüksek sıcaklıklarda mikrodalga kavurma işlemine tabi tutulmuş ve sonrasında alkali liçi uygulanmıştır. 1000 W mikrodalga gücünde,  $800^\circ\text{C}$  sıcaklıkta, 20 dakika süre ile  $\text{Ca/Si}$  oranı 2 olacak şekilde hazırlanan numune için  $\text{NaAlO}_2$  ve  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ 'ün hedef ürün fazı oluşumu maksimize edilerek, atmosferik basınç altında,  $80^\circ\text{C}$  sıcaklıkta, 20 dakika süre ile düşük konsantrasyonlu alkali liçinde Al, Na ve Si için sırasıyla %97, %98 ve %7'lik liç verimi elde edilmiştir (Le ve ark., 2017). Araştırmacıların bu çalışmasında öncelikle yüksek sıcaklıklarda mikrodalga kavurma işlemi gerçekleştirerek  $\text{NaAlO}_2$  fazında alüminyum suda çözünebilir hale getirmek ve silisin  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ ,



$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$  şeklinde suda çözünemeyen halde kalması amaçlanmıştır. Bu sayede cevherin silika içeriği çözünmesine negatif yönde etki etmediği ve düşük tenörlü diasporit cevherinden yüksek alüminyum verimle ekstraksiyonu bu şekilde açıklanabilir.

## 5. Sonuç

$Ca(OH)_2$  katkısız mikrodalga destekli liç çalışmalarında orijinal cevherde % Al verimleri %8-10 aralığında kalırken bu verim mekanik aktive edilmiş diasporitik boksitte %28-39 aralığında gerçekleşmiştir.  $Ca(OH)_2$  katkısı yapıldığında ise %Al çözünme verimleri artmıştır. Katı/sıvı oranı 20 olarak alındığında, mikrodalga gücünün 1200 W ve liç süresinin 30 dakika olduğu mikrodalga destekli liç çalışmalarında %Al verimi orijinal cevherde %48,56 olarak gerçekleşirken bu değer 60 dakika aktive edilmiş cevherde %79,14 olarak gerçekleşmiştir. Mikrodalga destekli liç işlemleri sonucunda suda çözünebilir sodyum alüminat içeren bir çözelti ile suda çözünemeyen ve atıkta kalan kalsiyum silikatlı bileşikler elde edilmiştir. Bu sayede diasporitin çözünmesinde en önemli engel olan silisin negatif etkisi en aza indirgenmiştir. Diasporitik boksitin mikrodalga destekli liç işlemlerinde hem mekanik aktivasyon ön işleminin hem de  $Ca(OH)_2$  katkısının cevherden alüminyum çözünme verimine olumlu yönde çok önemli etkisi olduğu görülmüştür.

## Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	V.M.Y.	K.Y.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

## Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

## Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışmada kullanılan veriler Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan "İslahiye bölgesi diasporitik boksitin alumina üretiminde değerlendirilmesinin araştırılması" başlıklı doktora

tezindeki verilerden yararlanılmıştır.

## Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

## Kaynaklar

- Abdi MS, Ebadzadeh T. 2013. Mullitization, microstructure and physical properties of mechanically activated andalusite sintered by microwave. *Ceram Inter*, 39(2): 1451-1454.
- Alex TC, Rakesh K. 2017. Surface and bulk activation of a siliceous bauxite during attrition milling. *Int J Miner Proc*, 160: 32-38.
- Al-Harashsheh M, Kingman SW 2004. Microwave-assisted leaching-a review. *Hydromet*, 73: 189-203.
- Arıkan H, Demir GK, Vural S. 2019. Investigation of lime usage impacts on bauxite processability at ETI Alüminyum Plant. *Inter J Ind Chem*, 10: 57-66.
- Birinci M, Gök R. 2018. Ön desilikasyon amaçlı boksit zenginleştirme işlemleri üzerine güncel bir değerlendirme. *Bil MadenDerg*, 57(3): 197-218.
- Birinci M, Gök R. 2021. Characterization and flotation of low-grade boehmitic bauxite ore from Seydişehir (Konya, Turkey). *Miner Eng*, 161: 106714.
- Demir GK. 2017. Bayer prosesine kireç kullanımının etkisinin araştırılması ve Eti Alüminyum tesislerinde uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye, pp: 197.
- Göktaş M. 2018. Cevher hazırlamada mekanik aktivasyon uygulamaları. *Madencilik*, 57(1): 57-66.
- Haniççi N. 2019. Bauxite Deposits of Turkey. In: Pirajno F, Ünlü T, Dönmez C, Şahin M. (eds) *Mineral Resources of Turkey. Modern Approaches in Solid Earth Sciences*, vol 16. Springer, Cham, Germany, pp: 681-730.
- He H, Cao J, Duan N. 2018. Novel bead-milling mechanically pulverized bulk mineral particles to ultrafine scale: energy storage and cleaner promotion of mineral extraction. *J Clean Prod*, 198: 46-53.
- Kumar A, Agrawal S, Dhawan N. 2020. Mechano-chemical processing of diasporic sample for extraction and synthesis of gamma-alumina and potash values, *JOM*, 72(10): 3367-3376.
- Le T, Ju S, Lu L, Peng J, Zhou L, Wang S. 2017. A novel process and its mechanism for recovering alumina from diasporic bauxite. *Hydromet*, 169: 124-134.
- Le T, Ju S, Ravindra AV, Li X, Wang Q. 2019. Effect of microwave roasting on aluminum extraction from diasporic bauxite-sodium carbonate-calcium hydroxide mixtures. *JOM*, 71(2): 831-837.
- Lu T, Pickles CA, Kelebek S. 2012. Carbothermal reductive upgrading of a bauxite ore using microwave radiation. *High Temp Mater Proc*, 31: 139-148.
- Pickles CA. 2009. Microwaves in extractive metallurgy: Part 2 – A review of applications, *Miner Eng*, 22: 1112-1118.
- Sarı R. 2019. Boksit Madenlerimizin İçerisindeki Gizli Potansiyeller. *MadenTürkiye Derg*, 80. URL: [https://yermam.org.tr/uploads/kutuphane/216274\\_boksit\\_madenlerimizin\\_icerisindeki\\_gizli\\_potansiyeller\\_15\\_07\\_2019.pdf](https://yermam.org.tr/uploads/kutuphane/216274_boksit_madenlerimizin_icerisindeki_gizli_potansiyeller_15_07_2019.pdf) (erişim tarihi: 10 Temmuz 2022).
- Solyimar K, Ferenezi T, Papanastassiou D. 2004. Digestion of

- monohydrate bauxite with lime feeding at high temperature, 15th International Symposium of ICSOBA-2004, June 15-18, 2004, St. Petersburg, Russia, pp: 135-141.
- Yang M, Yang H, Tian S, Zhang C, Hu B, Du Y, Wang M, Wang X. 2021. Effect of mechanical activation on extraction of vanadium from chromium-containing vanadate solution by calcification and carbonization. *Hydromet*, 201: 105591.
- Yılmaz VM, Parlak TT, Yıldız K. 2018. Dehydroxylation of high-energy ball-milled diasporic bauxite. *J Thermal Anal and Cal*, 134(1): 135-141.



## AĞIR ARAÇ FREN DİSKİNİN SONLU ELEMANLAR İLE TERMO-MEKANİK ANALİZİ

Recep Kadir SİVRİ<sup>1</sup>, İbrahim KELEŞ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Amasya University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering, 05100, Amasya, Türkiye

<sup>2</sup>Samsun University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 55420, Samsun, Türkiye

**Özet:** Bugünlerde özellikle otomobil teknolojisinde çok hızlı gelişmeler olmaktadır. Hem otomobil hem de ağır vasıta araçları olan otobüs ve kamyonlarda disk fren sistemi aracın tekerleğin dönüşünü yavaşlatan ve durduran sistemlerdir. Araçları durdurmak için frenleme yapıldığında bir ısı meydana gelmekte ve sistem atmosfere açık olması sebebiyle kolayca dağılabilmektedir. Üreticiler bu durumu kısa ömürlü ve ağır çelik diskler ile aşmaya çalışmaktadır. Gerçek bir otobüs fren tertibatında farklı malzemelerden yapılmış disk fren rotor diskinin geçici termal ve yapısal analizi FEM tabanlı ANSYS yazılımı öğrenci lisansı yardımıyla frenleme koşulları altındaki termomekanik davranışını analiz etmektedir. Disk freninde oluşan gerilme ve gerinimleri analiz etmek için bazı sınır şartları uygulandıktan sonra diskte meydana gelen deformasyon, kesme gerilmesi, elastik gerinim ve eşdeğer gerilme değerleri şekilleri alınmıştır. Tasarım açısından farklı malzemeler kullanılarak disk fren tertibatını dayanım karşılaştırması yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** : Fren disk, Sonlu elemanlar analizi, Termal gerilme, Yapısal, Ağır araç


### Finite Element Thermo-Mechanical Analysis of Heavy Vehicle Brake Disc


**Abstract:** Nowadays, there are very rapid developments especially in automobile technology. In buses and trucks, which are both automobiles and heavy-duty vehicles, the disc brake system is a system that slows down and stops the vehicle's wheel rotation. When braking to stop the vehicles, a heat is generated and the system can easily disperse because it is open to the atmosphere. Manufacturers try to overcome this situation with short-lived and heavy steel discs. Transient thermal and structural analysis of disc brake rotor disc made of different materials in a real bus brake assembly is to analyze the thermomechanical behavior under braking conditions with the help of FEM based ANSYS software student license. In order to analyze the stresses and strains occurring in the disc brake, after applying some boundary conditions, the deformation, shear stress, elastic strain and equivalent stress values of the disc were taken. The strength comparison of the disc brake system was made by using different materials in terms of design.

**Keywords:** Brake disc, Finite element analysis, Thermal stress, Structural, Heavy vehicle

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Samsun University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 55420, Samsun, Türkiye

E mail: ibrahim.keles@samsun.edu.tr (I. KELEŞ)

Recep Kadir SİVRİ  <https://orcid.org/0000-0001-9320-3859>

İbrahim KELEŞ  <https://orcid.org/0000-0001-8252-2635>

**Gönderi:** 16 Kasım 2022

**Kabul:** 20 Aralık 2022

**Yayınlanma:** 01 Ocak 2023

**Received:** November 16, 2022

**Accepted:** December 20, 2022

**Published:** January 01, 2023

**Cite as:** Sivri RK, Keleş İ. 2023. Finite element thermo-mechanical analysis of heavy vehicle brake disc. BSJ Eng Sci, 6(1): 44-52.

### 1. Giriş

Günümüzün büyüyen otomotiv sektöründe araçların seyir halindeki güvenliği açısından en önemli makine elemanlarından bir tanesi fren sistemleridir. İyi bir fren sistemi hem güvenlik açısından hem de özellikle yarış araçlarında rekabet üstünlüğü sağlayacaktır. Bir aracın tekerleğinin dönüşünü yavaşlatarak aracında hızında azalmaya yol açan ve durması istendiğinde de durmasını sağlayarak sürüş kontrolünü sağlayan sisteme fren sistemi denir. Frenler genellikle tek diskli (metalik) ve çok diskli (karbon) frenler olarak kullanım amacına uygun kullanılırlar. Tekerleği durdurmak için tekerleğe ve aksa bağlanan dönen disk, sabit tutulan fren kaliperleri ve asbest, seramik, karbon vb. gibi malzemelerden yapılmış fren balataları içerir (Nathi ve ark., 2012; Shaik ve Srinivas, 2012; Sarip, 2013). Tekerleği yavaşlatmak için, fren kaliperine monte edilen fren balataları şeklindeki sürtünme malzemesi diskin her

iki tarafına mekanik, hidrolik, pnömatik veya elektromanyetik olarak zorlanır. Sürtünme, diskin ve bağlı tekerleğin yavaşlamasına veya durmasına neden olur. Fren disk sağlam gövdede ise ısı transfer hızı düşüktür ( Papinniemi ve ark., 2007; Kuciej, 2011; Reddy ve ark., 2013). Tekerleğin yavaşlamasına sebep olan sürtünme kuvveti neticesinde kinetik enerji ısı enerjisine dönüşerek ısıya dönüşen mekanik enerji kaymalı sürtünmeye tabi balata ve diskte sıcaklığın artmasına neden olur (Mahmoudi ve ark., 2015). Karbon-Karbon kompozit ve homojen disk fren için termoelastik temas problemini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak Choi ve Lee tarafından incelenmiştir (Choi ve Lee, 2004). Yazarlar çalışmalarında, sürtünme malzemesi özelliklerinin sürtünme yüzeylerinin temas oranı üzerindeki etkilerini araştırarak en büyük etkinin termal genleşme katsayısı ve elastik modülü olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca çalışmalarında ortotropik disk



frenlerin, uniform ve yumuşak basınç dağılımları nedeniyle izotropik disk frenlere göre daha iyi fren performansı sağlayabildiği görülmüştür. Sarkar ve arkadaşları konveksiyon ve radyasyon parametreleri göz önünde bulundurularak disk üzerindeki sıcaklık dağılımını statik termal analizini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak araştırılmıştır (Sarkar ve ark., 2014). Sonlu elemanlar analizine dayalı olarak yapılan analizde araç hızındaki artışla birlikte sıcaklığın Alüminyum metal matriksi (AMM) kompozit için gri dökme demir (GCI)'ye kıyasla daha az olduğu sonucuna varılabilmektedir. Havalandırmalı disk fren sistemine sahip binek araçların disk fren rotorunu sonlu eleman analizi ile Zaid ve diğerleri tarafından bir çalışma sunulmuştur (Zaid ve ark., 2009). Çalışmalarında yazarlar disk fren rotoru üzerindeki ısı ve sıcaklık dağılımıyla ilgili frenleme sırasında aşırı ısınma nedeniyle fren pabuçları çalışmayı durdurur, en kötü senaryoda eriyebilir ve bu nedenle malzeme seçimi, ısı dağılım oranı ve fren bırakma süresi gibi faktörler, disk frenlerin performansını optimize etmek için önemli kriterler olduğu sonucuna varmışlardır. Fren disklerinin termal analizinin sonlu eleman yöntemleri ile literatürde çok sayıda makalenin konusudur. Havalandırmalı ve içi dolu disklerin ısı transferi (Belhocine ve Bouchetara, 2012; Belhocine ve ark., 2014; Zhou ve ark., 2020) ile frenleme esnasında ve hemen sonrasında meydana gelen sıcaklık davranışları karşılaştırılmıştır (Mačuzić ve ark., 2015). Verilen frenleme koşulları için sayısal simülasyon, radyal havalandırmalı frenleme aşamasında diskin soğutulmasında çok önemli bir rol oynadığı, analizden elde edilen farklı sonuçlar karşılaştırıldığında, havalandırmalı fren diskinin ısının dağıldığı ek yüzeyler içerdiğinden daha iyi bir çözüm olduğu sonucuna varılabilir. Parabolik ısı denklemini kullanarak disk fren sistemlerindeki termal davranış hem sayısal hem de sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak karşılaştırılarak sonuçlar elde edilmiştir (Satope ve ark., 2017). Farklı malzemeler için çeşitli tasarım modelleri üzerinde yapılan bu çalışmadan, dökme demir için maksimum sıcaklık artışının paslanmaz çeliğe kıyasla çok daha az olduğunu gözlemlenerek ve bu nedenle termal analiz temelinde, disk fren üretimi için dökme demir en çok tercih edilen malzeme olduğu, ancak dökme demir disk fren nemle temas ettiğinde paslanma gibi bir dezavantaja sahiptir ve bu nedenle iki tekerlekli araçta kullanılamaz ve bu nedenle paslanmaz çelik tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Kompozit ve demir malzemelerden yapılmış dolu ve havalandırmalı fren disklerinin tekrarlanan frenlemelere maruz bırakılarak ısının bu süredeki sıcaklık değişimini karşılaştırılması olarak ortaya koyulmuştur (Chandana ve Reddy, 2017). Yazarlar geçici analizden, havalandırmalı kompozit diskin, katı diskten daha fazla ısı yayarak tekrarlanan frenleme koşullarında Dökme Demir diske göre daha iyi bir performansla sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Fren disklerinde yapılan yapısal değişimler ve diskin tekrarlanan frenlemeler ile kırılma oluşumundaki

sıcaklık değişimleri de araştırmacılar tarafından ele alınmışlardır (Grzes 2019; Jian ve ak., 2020; Manjunath ve Suresh, 2013). Bu çalışmalardan şu sonuçlara varılabilir; tekli ve çoklu frenleme sırasında sürtünme katsayısının ortalama değerini, tutarlılığını ve salınımlarının ortalama değerini tahmin etmeyi sağlayan elde edilen sonuçlar, verilen sürtünme çiftinin malzemelerinin özelliklerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesinde önemli bir unsurdur. Hem deney hem de simülasyon koşulunda, havalandırmalı disklerin yüzeylerine giren ısı borularının, havalandırmalı disklerin yüzey sıcaklığının sıcaklık homojenliğini ve ısı dağılımını etkili bir şekilde iyileştirebileceği gösterilmiştir. Farklı sıcaklık artışı, sapma ve gerilim alanı sonuçlarının karşılaştırılması, havalandırmalı dökme demir diskte katı diske göre sırasıyla sıcaklık, gerilim ve deformasyonda azalma olduğunu göstermektedir. Bu çalışmaların tümü, sıcaklık farklılıkları yüzlerce santigrat dereceye ulaştığında termal enerji geri kazanımı için önemli bir potansiyel olduğunu göstermektedir. Sowjanya ve Suresh (2013) farklı kompozit malzemelerden yapılmış katı modelleme programı kullanarak modellenen fren diskinin statik analizini Ansys yazılım programını kullanarak analizini yapmışlardır. Havalandırmalı tip disk frenin mevcut uygulama için mümkün olan en iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Disk fren rotorunun yapısal analizi için paslanmaz çelik en iyi malzeme olduğu tespit edilmiştir. Özel bir aracın ön fren diskinde statik ve modal simülasyon analizi yapmak için sonlu elemanlar yöntemi Chu ve ark. (1982) tarafından uygulanmıştır. Çalışmalarında statik analizde rijitlik gereksinimlerinin karşılandığı, ancak fren sesinin fenomene eğilimli olduğu sonucuna varılmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar fren performansını farklı yük koşulları altında değişken fren basınçları uygulanarak fren diskinin yapısal ve tasarımı Saheb (2020) tarafından sunulmuştur. Yazar çalışmasında fren sistemine dahil olan parametrelerden fren pedalının oranları değiştirilerek fren performansını çok küçük parçaların dahi etkilediğini vurgulamıştır. Yadav ve ark. (2020), disk fren sisteminin fren performansını iyileştirmek için bir tasarım aracı sağlamıştır. Yazarlar, havalandırmalı tip disk frenin kendi uygulamaları için mümkün olan en iyi olduğu sonucuna vardılar. Havalandırmalı diskin, kullanım ömrü maliyetini iyileştirmek ve motor sporlarının çok önemli bir noktası olan araç ağırlığını birkaç kilogram azaltmak için modern ulaşım araçlarında kullanılabileceğini belirttiler. Anil Babu Seelam ve Krishanmurthy (Seelam ve ark., 2021), iki farklı malzeme (paslanmaz çelik ve gri dökme demir) ile 17 inçlik bir rotor disk üzerinde yapısal ve termal analiz gerçekleştirmiştir. Daha iyi termal kararlılığa sahip olduğu için yüksek hızlı araçlardaki diskler için daha iyi bir seçenek olarak gri dökme demiri önermişlerdir. Suo ve Shi (2022) deneysel testten fren diskinin termal elastik-plastik yapısal ilişkisini elde ettiler ve farklı frenleme koşulları altında fren diskinin gerilim-gerinim-tepki ilişkisi sıralı bağlantı yöntemine dayalı sayısal

hesaplama kullanılarak simüle edilmiştir. Çalışmalarında, elastik plastik sonlu elemanlar yöntemi, yüzeyde daha iyi bir ısı ve gerilim dağılımı elde etmek için farklı frenleme koşullarında fren diskinin sıcaklık alanı ve gerilim alanı dağılımını belirlemişlerdir. Seo ve ark. (2021), disk malzemesinin fren emisyonu üzerindeki etkilerini araştırmak için fren emisyon testleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçları, fren emisyonlarının disk sertliğinden ve balata yüzeyine aktarılan demirden büyük ölçüde etkilendiğini ve aktarılan demir, balata yüzeyindeki plakaların kohezyon kuvvetinin azalması nedeniyle fren emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Sainath ve ark. (2021), sonlu elemanlar kullanarak disk frenlerin sabit durum termal analizini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonuçlarını, Karbon-Karbon kompozit, Paslanmaz çelik ve Dökme demir disk frenlerin termo elastik davranışını belirleyerek, yapısal analizden Von miss gerilmelerini ve nodal gerilme dağılımını hesaplayarak ve mevcut sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Bhat ve ark. (Bhat ve ark., 2021), deformasyonu azaltmak ve termal özellikleri geliştirmek için daha önceki araştırmacılara dayanan yeni bir tasarım ve malzeme kombinasyonunu analizini yapmışlardır. Çalışmalarında, alüminyum, dökme demir ve silisyum karbür malzeme kombinasyonuna dayalı modelin, temas bölgesindeki yuvaların giderek artan alanının daha iyi ısı dağılımına yardımcı olacağı sonucuna varmışlardır.

Yukarıdaki literatür incelemesi, çeşitli disk frenleri için FEM kullanılarak statik ve termal analizin gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, farklı malzemelerden yapılarak üretilen otobüs, kamyon gibi ağır vasıta araçları için bir analizin yapılmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu çalışmada farklı malzeme için otobüs fren diski için termal karakteristiğini belirlemek amacıyla, FEM tabanlı ANSYS yazılımı öğrenci lisans ile kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.'de gösterildiği gibi bir otobüsün yaygın olarak kullanılan fren tertibatı verilmiştir.



Şekil 1. Şehir içi alçak tabanlı otobüse ait arka fren diski.

## 2. Tasarım Hususları ve Hesaplama

Taşıtların kazalarının önlenmesi açısından, taşıtların fren performansı belirlemek için fren sistemi ile ilgili bazı verilere sahip olmamız gerekir. Bu veriler görecelidir ve uygulamaya göre değişir. 27,77 m/s (100 km/s) hızla hareket eden taşıt için rotor model ısı akısı hesaplanmıştır ve hesaplama prosedürü için gerekli parametreler Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Hesaplama prosedürü için gerekli parametreler

Araç Kütlesi	10000 kg
Başlangıç hızı (u)	27,77 m/s (100 kmph)
Fren uygulaması sonunda taşıt hızı (v)	0 m/s
Fren rotor çapı	426 mm
Her iki tarafta %30 aks ağırlığı dağılımı ( $\gamma$ )	0,3
Diskin emdiği kinetik enerjinin yüzdesi (%90) (k)	0,9
Yer çekiminden kaynaklanan ivme (g)	9,81 m/s <sup>2</sup>
Kuru kaplama için sürtünme katsayısı ( $\mu$ )	0,7

Kinetik enerji Limpert (1999) tarafından aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Frenleme sırasında üretilen enerji formülü (Denklem 1);

$$K.E = k \frac{1}{2} \gamma \frac{m(u-v)^2}{2} = 517920,75 \text{ J} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Durma mesafesini hesaplamak için (Denklem 2);

$$d = \frac{u^2}{2\mu g} = 56,18 \text{ m} \quad (2)$$

Yavaşlama süresini hesaplamak için (Denklem 3);

$$v = u + at \text{ ise } t = 4 \text{ s} \quad (3)$$

Fren Gücü: Sürekli frenleme sırasındaki fren gücü, enerjinin zamana göre farklılaşmasıyla elde edilir (Denklem 4);

$$P_b = K \cdot \frac{E}{t} = 32366,25 \quad (4)$$

Isı Akısının (Q) Hesaplaması: Isı Akısı, birim alan başına birim zamanda, bir yüzeyden veya yüzeye aktarılan ısı miktarı olarak tanımlanır (Denklem 5);

$$Q = \frac{P_b}{A} = 227,08 \frac{W}{m^2} \quad (5)$$

Fren bileşenlerinin balataları ve diski arasındaki temas alanı, sürtünme nedeniyle ısı üretir. Bu iki kayar

gövdenin ara yüzündeki ısı üretiminin hesaplanması için, "hareket sırasında aracın kinetik enerjisinin, araç durduktan sonra yayılan ısıya eşit olduğunu belirten

enerjinin korunumu yasası" temelinde iki yöntem önerilmektedir. Hesaplamalarda benimsenen malzeme özellikleri ve parametreler Tablo 2'de gösterildiği gibidir.

**Tablo 2.** Paslanmaz çelik (SS), Dökme demir (CI) ve Alüminyum (Al) için malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	SS	CI	Al
Termal iletkenlik (w/mk)	60,5	52	148,62
Yoğunluk $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	7850	7200	2770
Öz ısı, c (J/kg °C)	434	447	875
Termal Genleşme, $\alpha$ (10 <sup>-6</sup> /k)	16,3	11	23
Elastisite Modülü, E (GPa)	200	110	71
Sürtünme Katsayısı, $\mu$	0,42	0,15	1,4
Isı transfer katsayısı h(w/km <sup>2</sup> )	50	0,55	239
Operasyon şartları			
Açısal hız (rad/s)	50	50	50
Durma zamanı, Sec	10	10	10
Hava basıncı, P (MPa)	1	1	1

Tek duraklı sıcaklık artışı  $T_{maks}$ , tek frenleme koşulundan kaynaklanan sıcaklık artışıdır (Denklem 6);

$$T_{maks} = \frac{0,527 \times q \times \sqrt{t}}{\sqrt{\rho \cdot c \cdot k}} + T_{ortam} \quad (6)$$

N'inci fren uygulamasından sonraki bağıl fren sıcaklığı, bağıntı kullanılarak hesaplanabilir (Denklem 7);

$$T_{roa} - T_i = \frac{\left[ 1 - e^{\frac{(-nhAt_c)}{(\rho cv)}} \right] [\Delta t]}{1 - e^{\frac{(-hAt_c)}{(\rho cv)}}} \quad (7)$$

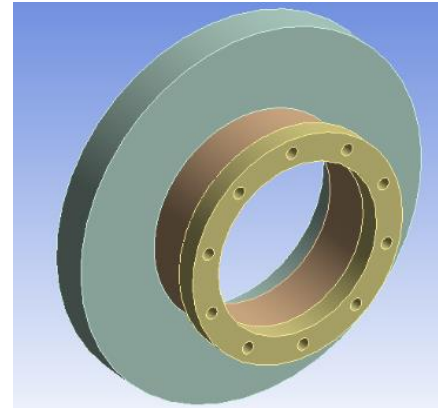
Ani sıcaklık artışlarından bir diskin yüzeyinde gelişen sıkıştırma gerilmeleri (Denklem 8);

$$\sigma = \frac{E}{1 - \nu} \alpha \Delta T \quad (8)$$

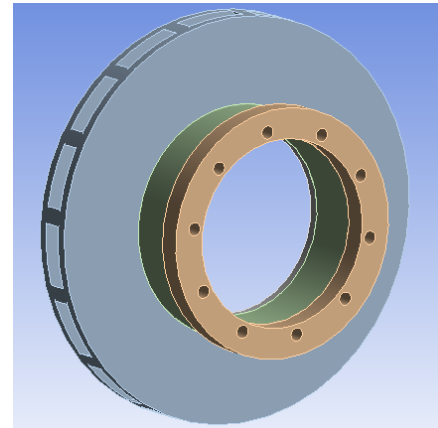
### 3. Sonlu Elemanlar Modellemesi

Sonlu elemanlar yöntemi, çok çeşitli mühendislik problemlerinin sayısal çözümleri için güçlü bir araç haline gelmiştir. Yüksek hızlı elektronik dijital bilgisayarların artan kullanımı ve mühendislik analizi için sayısal yöntemlere artan vurgu ile eş zamanlı olarak geliştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde analiz tipini ve sınır koşullar ve yük tipleri belirlenerek yükleri uygular ve sonlu eleman çözümünü başlatır. ANSYS Workbench programının kendi malzeme kütüphanesinde sıklıkla kullanılan malzemeler bulunmaktadır. Tasarlayacağımız modele uygun malzeme kütüphaneden çağrılarak seçimi yapılır. Daha sonra Workbench programının "Design Modeler" ya da "Space Claim" bölümleri kullanılarak model oluşturulur veya Workbench ile uyumlu çalışan diğer programlarda tasarlanıp model Workbench programına aktarılabilir. Workbench, bu görev modülleri arasındaki bilgi akışı üzerinde gelişmiş birlikte çalışabilirlik ve kontrol sağlar. Büyük modelleri verimli bir şekilde yönetmek için çeşitli araçlar ve teknikler dahil edilmiştir. Ağaç filtreleme gibi

ağaç Nesneleri etiketleme, bağlantılar çalışma sayfası, nesne üretici, alt modelleme. Veriler, 2B kaba modelden [Tam Model] bir 3B alt modele aktarılabilir. Katı geometrili yapısal ve termal analiz türleri için alt modelleme mevcuttur. Şekil 2'de gösterilen boyutlar için yapılan disk frenin sonlu eleman modeli, disklerin iç yarıçapı, dış yarıçapı ve flanş kalınlıkları, dökme demir, paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımlı için her iki durumda da katı ve havalandırılmalı disk için sırasıyla 0,21, 0,43 ve 0,045 m'dir.



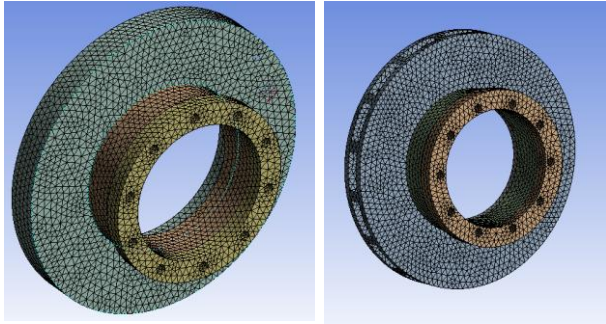
Durum I



Durum II

**Şekil 2.** Şehir içi alçak tabanlı otobüsün havalandırılmalı ve havalandırılmaz arka fren diskine ait FEM modeli.

Ağ yapısı(meshleme) ayrıntıları Workbench'teki amacı, mesh oluşturma sürecini basitleştirecek, sağlam, kullanımı kolay meshleme araçları sağlamaktır. Kullanılan model, sonlu elemanlar olarak bilinen birkaç küçük parçaya bölünmelidir. Model bir dizi ayrı parçaya bölündüğünden, basit bir ifadeyle, bir sonlu eleman analizini gerçekleştirmek için matematiksel bir ağ veya "ağ" gereklidir. Oluşturulan bir sonlu eleman ağ modeli Şekil 3'te gösterilmektedir. Modelin ağı için kullanılan elemanlar 8 düğümlü dört yüzlü üç boyutlu elemanlar olup, her bir model için Element sayısı 55614, Node sayısı 93279 seçilerek meshleme yapılmıştır.



Şekil 3. Havalandırmalı ve havalandırmaz disk için FEA Modeli meshleme.

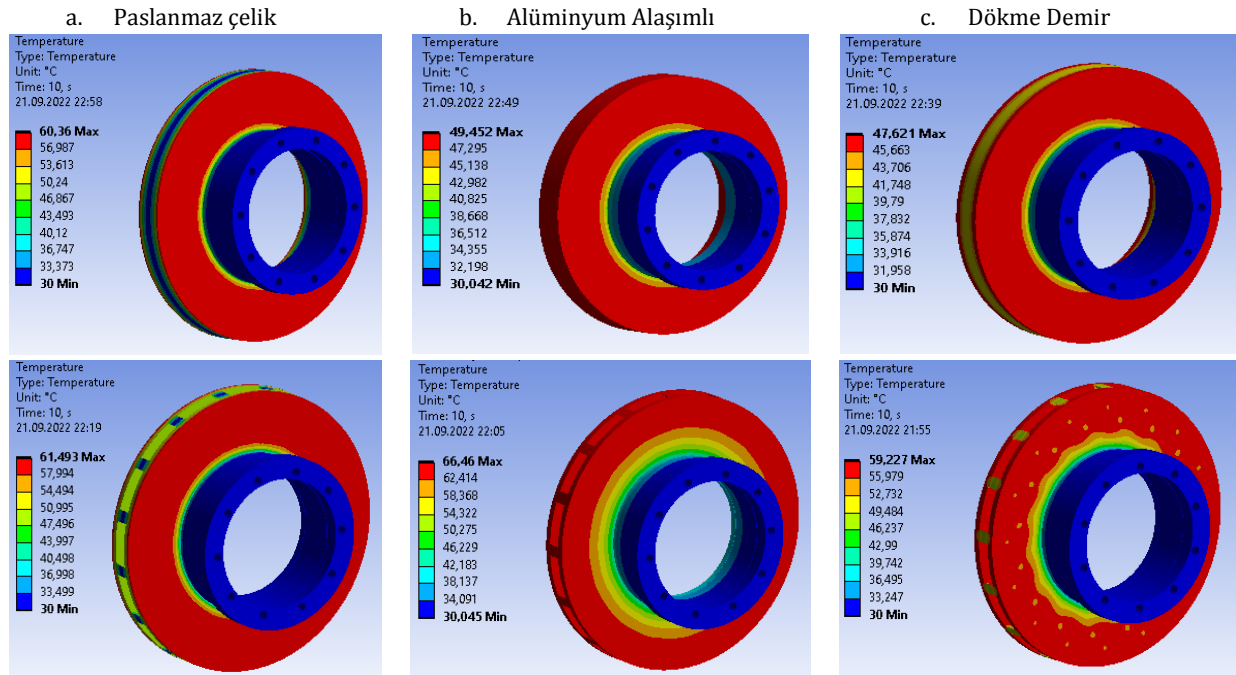
Sınır koşulları, simülasyon modu seçilerek ve malzemelerin fiziksel özellikleri ve simülasyonun

başlangıç koşulları tanımlanarak ANSYS Workbench modülüne tanıtılır. Bu çalışmada, ANSYS kullanılarak frenleme için ısı akısı değeri uygulanarak her üç diskteki sıcaklık değişimini araştırmak için bir geçici termal analiz yapılacaktır. Daha fazla yapısal analiz, termal analiz birleştirilerek gerçekleştirilir.

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Mevcut modelleri doğrulamak için, 10 saniye boyunca sabit hava basıncı  $P = 1\text{Mpa}$  ve açısal hız  $w = 80\text{ rad/s}$  (sürekli fren uygulaması) çalışma koşulu için disk frenin bir geçici termal analiz davranışı gerçekleştirilmiştir. Hava basıncı ve açısal hız sabit tutulduğu varsayılmıştır. FEM çözümlerinden elde edilen sonuçlar, modelin hem geçici termal hem de yapısal davranışı için verilmiştir. Mevcut sınır şartları üç farklı malzemenin havalandırmalı ve katı(havalandırmaz) disk fren analizi yapılmıştır. Sonuçları doğrulamak için katı disk durum I ve havalandırmalı disk durum II karşılaştırmaları yapılır. Şekil 4'de üç farklı malzeme için yapılan analiz sonucunda disk için frenleme sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.

Kullanılan malzemelere göre en yüksek sıcaklığın hem katı hem de havalandırmalı diskte alüminyum malzemesi için maksimum sıcaklık değerlerinin en yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca dizayn açısından bakıldığında da her üç malzeme için katı disklerdeki sıcaklık dağılımları havalandırmalı disklerdeki sıcaklık değerlerinden düşük olduğu görülmüştür.



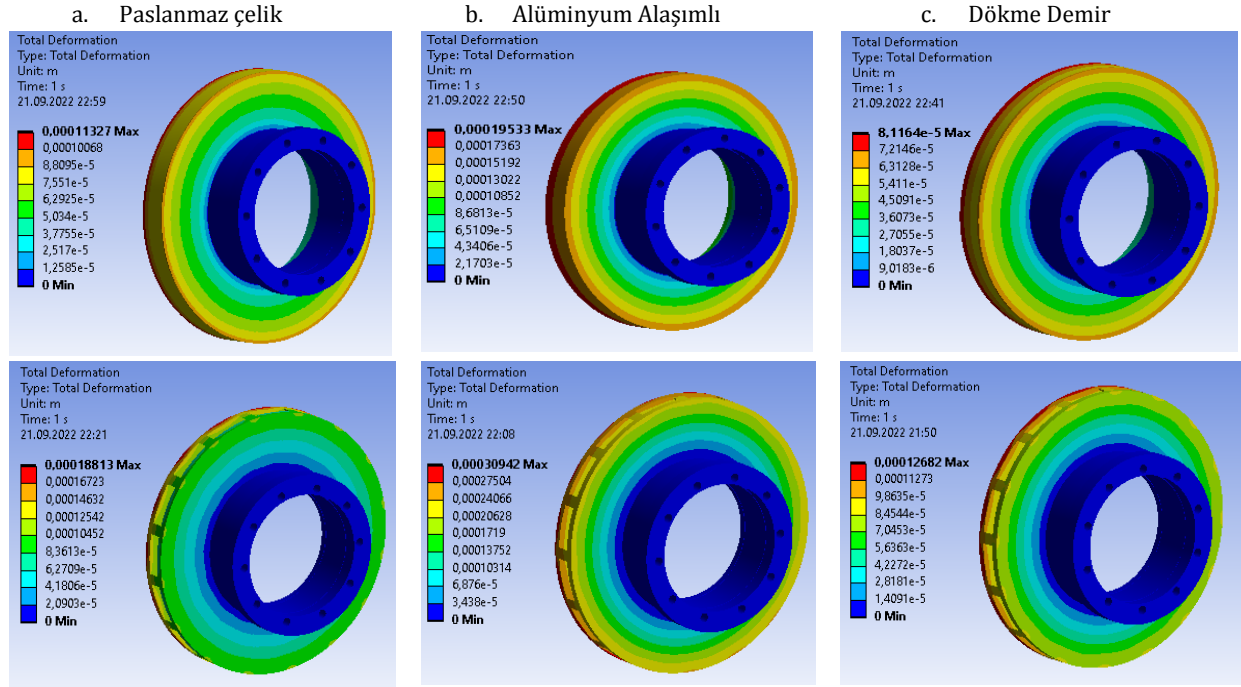
Şekil 4. Farklı malzemelerden yapılmış katı ve havalandırmalı disk için frenleme sıcaklık dağılımı.

Diskleri kendi kategorilerinde değerlendirildiğinde ise katı diskler için en yüksek sıcaklığın paslanmaz çelik için, havalandırmalı diskte ise alüminyum malzemesinde en yüksek sıcaklığın olduğu tespit edilmiştir. Aşırı

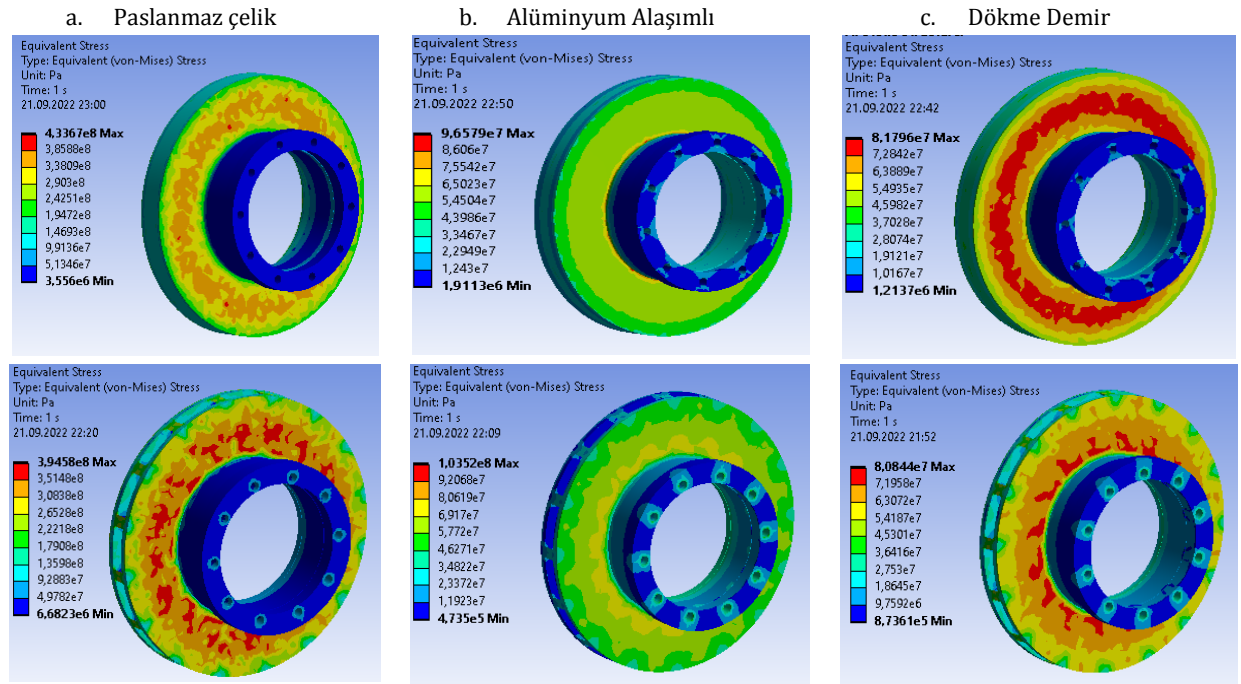
sıcaklıklar uygulandığında yapı genişleyebileceğinden ve sıcaklık her yerde sabit olmadığından sıcaklık simülasyon sonuçları dökme demir ve paslanmaz çelik alüminyuma kıyasla daha düşük bir sıcaklık aralığına sahip olduğunu

göstermiştir. Paslanmaz çelik, Alüminyum ve dökme demir malzemelerinden yapılmış katı ve havalandırılmalı disk için toplam deformasyonları Şekil 5’de verilmiştir. Katı ve havalandırılmalı disk için yapılan analiz neticesinde en yüksek deformasyonu alüminyumda meydana gelmektedir. Havalandırılmalı ve katı disk olarak kıyaslanma yapıldığında havalandırılmalı diskte daha fazla

deformasyon olduğu görülmektedir. Disk katı olarak alındığında alüminyum> paslanmaz çelik> dökme demir şeklinde bir deformasyon sıralaması mevcuttur. Havalandırılmalı diskte de aynı davranış ve sıralama sergilenmektedir.



Şekil 5. Farklı malzemelerden yapılmış katı ve havalandırılmalı disk için toplam deformasyon.



Şekil 6. Farklı malzemelerden yapılmış katı ve havalandırılmalı disk için eşdeğer gerilme.

Yapılan simülasyon sonucunda alüminyum malzemesinden yapılan diskte diğer iki malzemeye kıyasla önemli ölçüde daha fazla deformasyon oluştuğu

tespit edilmiştir. Şekil 6’da farklı malzemelerden yapılmış katı ve havalandırılmalı disk için eşdeğer gerilme değerlerini göstermektedir.



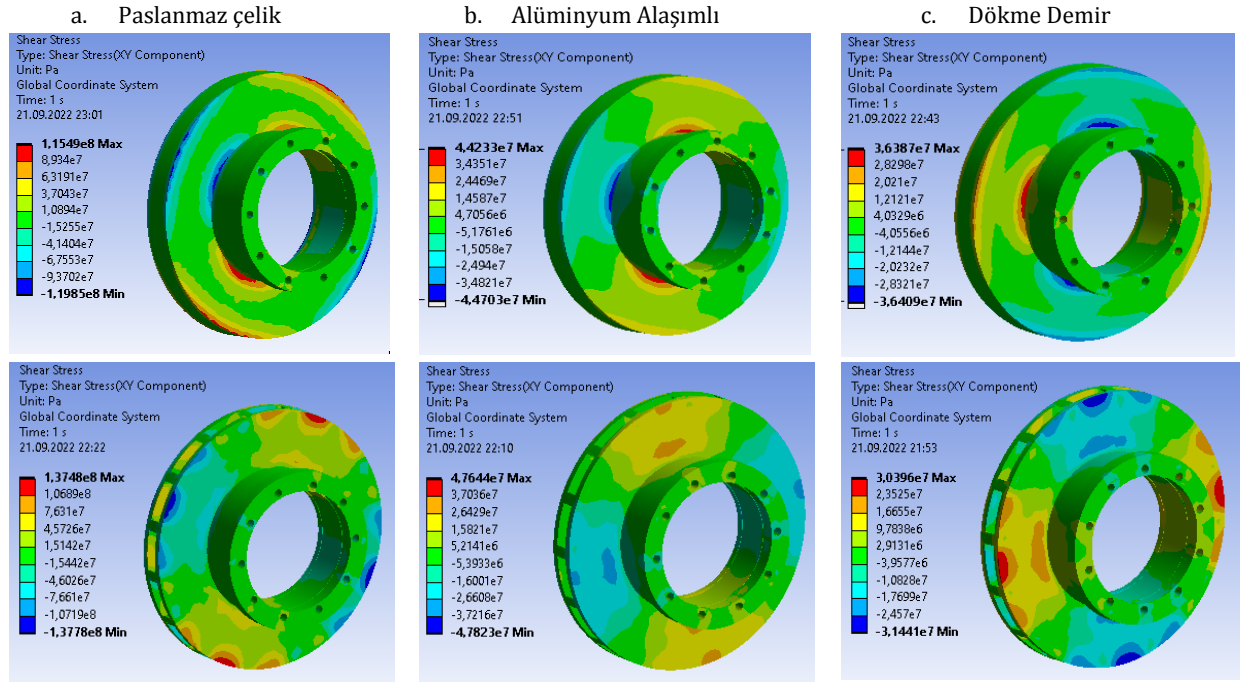
Katı ve havalandırmalı disk için yapılan analiz sonucunda paslanmaz çelikteki eşdeğer gerilme miktarının en yüksek olduğu daha sonra alüminyum ve dökme demir sırası ile devam etmektedir. Katı disk ve havalandırmalı disk olarak incelendiğinde paslanmaz çelik ve dökme demir malzemeleri için eşdeğer gerilme değerleri katı disklerde maksimum değerlerinin daha yüksek olduğu görülmeye karşın alüminyum malzemesi için havalandırmalı disk için eşdeğer gerilme değerlerinin maksimum değerleri çok daha fazladır. Analizler sonucu en yüksek eşdeğer gerilmesinin disk üzerindeki etkisi paslanmaz çeliğe ait disk malzemesinin elastiklik modülünün diğer iki malzemeye oranla çok daha yüksek olma sebebiyle ilişkilendirilebilir.

Katı ve havalandırmalı olarak tasarlanan disklerin üç farklı malzeme için kesme gerilme dağılımları Şekil 7'de verilmektedir.

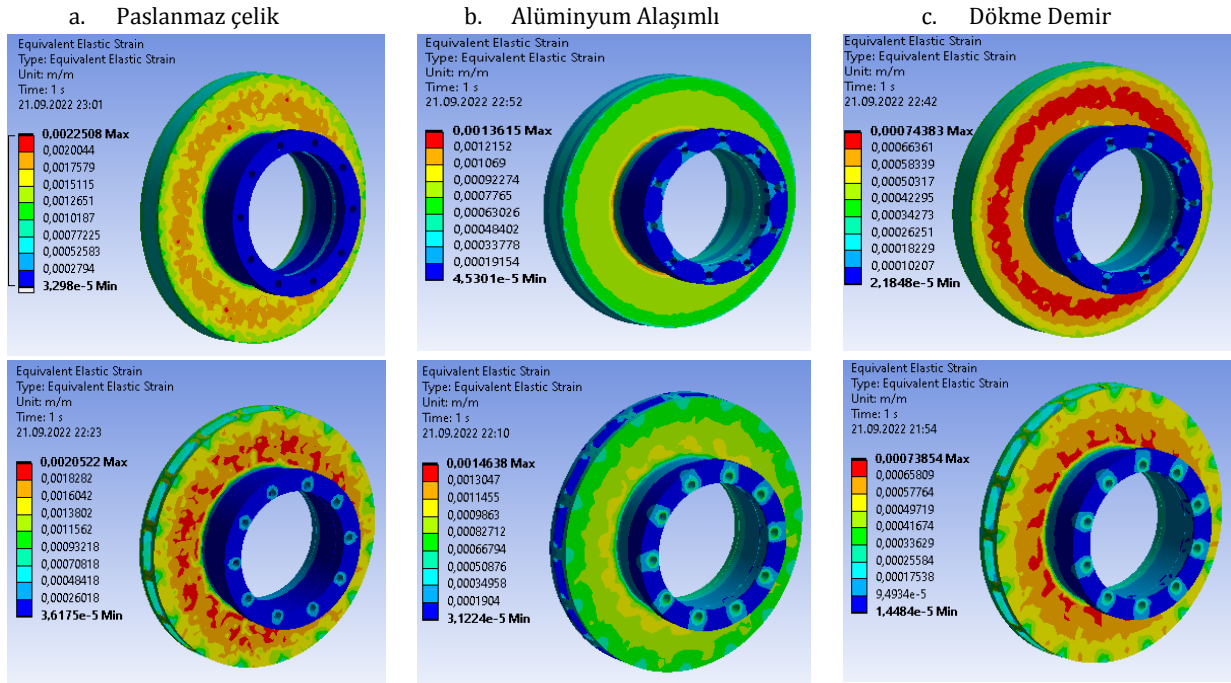
Katı ve havalandırmalı olarak tasarlanan disklerin üç farklı malzeme için kesme gerilme dağılımları Şekil 7'de verilmektedir. Paslanmaz çelikten yapılan disk hem katı hem de havalandırmalı olarak tasarlanan disklerde

kesme gerilmesi değerleri en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Alüminyum alaşım ve dökme demirden yapılmış disklerde bakıldığında dökme demir katı diskte daha yüksek kesme gerilmesine sahipken alüminyum alaşım diskte ise havalandırmalı disk için kesme gerilmesi değerinin maksimum değeri daha yüksektir. Kesme gerilmesi malzeme özelliklerine göre farklılık göstermesinin ilk bakılması gereken parametre hızdır. Ancak burada hız sabit alındığından her bir malzemenin işlenebilirliği kıyaslandığında paslanmaz çelik de kesme gerilmesi diğer iki malzemeye göre daha büyük olmaktadır.

Eşdeğer elastik gerilme dağılımları Şekil 8'de gösterilmektedir. Her iki tasarım için meydana gelen eşdeğer elastik gerilme değerleri bütün malzemeler için birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Katı ve havalandırmalı disk olarak ele alındığında eşdeğer elastik gerilme değerinin maksimum değerleri sıralaması paslanmaz çelik, alüminyum alaşım ve dökme demir şeklinde sıralanmaktadır.



Şekil 7. Farklı malzemelerden yapılmış katı ve havalandırmalı disk için kesme gerilmesi.



Şekil 8. Farklı malzemelerden yapılmış katı ve havalandırılmalı disk için eşdeğer elastik gerinme.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, gerçek otobüse ait fren tertibatında Paslanmaz Çelik, Alüminyum Alaşımli ve Dökme Demirden yapılmış disk fren rotor diskinin geçici termal ve yapısal analizi sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Her üç malzeme için sıcaklık etkisini azalmak için havalandırılmalı disklerin kullanımının daha uygun olduğu tespit edilmiştir.
- Havalandırılmalı ve katı disk olarak kıyaslanma yapıldığında havalandırılmalı diskte daha fazla deformasyon olduğu ve malzeme olarak da alüminyum> paslanmaz çelik> dökme demir şeklinde bir deformasyon sıralaması mevcuttur.
- Eşdeğer gerilme bakımından değerlendirme de ise paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir sırası ile devam etmektedir. Katı disk ve havalandırılmalı disk olarak incelendiğinde alüminyum malzemesi için havalandırılmalı disk için eşdeğer gerilme değerlerinin çok daha yüksek değerlere sahiptir.
- Paslanmaz çelikten yapılan disk hem katı hem de havalandırılmalı olarak tasarlanan disklerde kesme gerilmesi değerleri en yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Her iki tasarım için meydana gelen eşdeğer elastik gerinme değerleri bütün malzemeler için birbirlerine çok yakın çıkmıştır.
- Sonuç olarak, belirli bir ağır vasıta fren disklerinin tasarımında uygun malzemeyi, uygun boyut ve uygun şekil seçilir.

## Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	R.K.S.	İ.K.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

## Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

## Kaynaklar

- Belhocine A, Bouchetara M. 2012. Thermal analysis of a solid brake disc. App Therm Eng, 32: 59-67.
- Belhocine A, Cho CD, Nouby M, Yi YB, Abu Bakar AR. 2014. Thermal analysis of both ventilated and full disc brake rotors with frictional heat generation. App Comput Mech, 8(1): 5-24.
- Bhat A, Pal B, Dandotiya D. 2021. Structural analysis of a two-wheeler disc brake. Mater Sci Eng, 1013: 12024.
- Chandana YVN, Purushotham Reddy KV. 2017. Transient thermal analysis of alsicp composite disc brake. Int J Comput Eng Res, 7(2): 29-33.

- Choi JH, Lee I. 2004. Finite element analysis of transient thermoelastic behaviors in disk brakes. *Wear*, 257(1-2): 47-58.
- Chu HS, Chen CK, Weng CI. 1982. applications of fourier series technique to transient heat transfer problem. *Chem Eng Commun*, 16(1-6): 215-225.
- Grzes P. 2019. Maximum temperature of the disc during repeated braking applications. *Adv Mech Eng*, 11(3): 1687814019837826.
- Jian Q, Wang L, Shui Y. 2020. Thermal analysis of ventilated brake disc based on heat transfer enhancement of heat pipe. *Int J Ther Sci*, 155: 106356.
- Kuciej M. 2011. The comparable analysis of temperature distributions assessment in disc brake obtained using analytical method and FE model. *J KONES*, 18: 235-259.
- Limpert R. 1999. Brake design and safety. Society of Automotive Engineers Inc., Danvers, Massachusetts, US.
- Mačuzić S, Saveljić I, Lukić J, Glišović J, Filipović N. 2015. Thermal analysis of solid and vented disc brake during the braking process. *J Serbian Soc Comput Mech*, 9(2): 19-26.
- Mahmoudi T, Parvizi A, Poursaeidi E, Rahi A. 2015. Thermo-mechanical analysis of functionally graded wheel-mounted brake disk. *J Mech Sci Tech*, 29(10): 4197-4204.
- Manjunath TV, Suresh PM. 2013. Structural and thermal analysis of rotor disc of disc brake. *Int J Innov Res Sci Eng Tech*, 2(12): 7741-7749.
- Nathi GM, Charyulu TN, Gowtham K, Reddy PS. 2012. Coupled structural/thermal analysis of disc brake. *Int J Res Eng Tech*, 1(04): 539-553.
- Papinniemi A, Lai JCS, Zhao J. 2007. Disc brake squeal: progress and challenges. In *Proceeding of 14<sup>th</sup> International Congress on Sound and Vibration*, Cairns, Australia, July 9-12, pp. 1-8.
- Reddy VC, Reddy MG, Gowd GH. 2013. Modeling and analysis of FSAE car disc brake using FEM. *Int J Emerg Tech Adv Eng*, 3(9): 383-389.
- Saheb SH. 2020. Design and Structural analysis of brake disc by varying brake pressure. *AIP Conference Proceedings*, 2259. DOI: 10.1063/5.0015678.
- Sainath A, Dehadray PM, Bharath P, Rao LB. 2021. The thermal and stress analysis of disc brake. *Mater Sci Eng*, 1128: 012015. DOI: 10.1088/1757-899X/1128/1/012015.
- Sarip S. 2013. Design development of lightweight disc brake for regenerative braking-finite element analysis. *Int J App Phys Math*, 3(1): 52.
- Sarkar S, Rathod PP, Modi AJ. 2014. Research paper on modeling and simulation of disc brake to analyse temperature distribution using FEA. *Int J Sci Res Dev*, 2: 491-494.
- Satope S, Bote AK, Rawool SD. 2017. Thermal analysis of disc brake. *Int J Innov Res Sci Tech* 3(12): 68-73.
- Seelam AB, Hussain NAZ, Krishanmurthy SH. 2021. Design and analysis of disc brake system in high speed vehicles. *Int J Simul Multid Des Opt*, 12: 19.
- Seo H, Park J, Kim YC, Lee JJ, Jang H. 2021. Effect of disc materials on brake emission during moderate-temperature braking. *Tribol Int*, 163: 107185.
- Shaik AFB, Srinivas CL. 2012. Structural and thermal analysis of disc brake with and without crossdrilled rotor of race car. *Int J Adv Eng Res Stud*, 1(4): 39-43.
- Sowjanya K, Suresh S. 2013. Structural analysis of disc brake rotor. *Int J Comp Trends Techn*, 4(7): 2295-2298.
- Suo R, Shi X. 2022. Temperature field and stress field distribution of forged steel brake disc for high speed train. *Jordan J Mech Indust Eng*, 16(1): 113-121.
- Yadav A, Katwal A. 2020. Analysis of disc brake by modifying in design and material composition of disc. *Int Res J Eng Emerg Tech*, 11: 1-9.
- Zaid MA, Radzai MS, Ahmad R, Ridzuan MM, Nurfaizey AH, Afzanizam MMR. 2009. An investigation of disc brake rotor by finite element analysis. *J Adv Manuf Tech*, 3(2): 37-48.
- Zhou S, Guo Z, Bai X. 2020. Fatigue fracture analysis of brake disc bolts under continuous braking condition. *Eng Failure Analy*, 115: 104588.