

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ

SCIENTIFIC MINING JOURNAL

ISSN 2564-7024
e-ISSN 2587-2613
Cilt / Vol: 61
Sayı / No: 4
Aralık / December

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını / The Publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey

2022

Naeem Abbas
Kegang Li
Nasir Abbas
Amjad Ali
Maisum Ali
Jibran Hussain

Original Research / Orijinal Araştırma

The size correction and correlation of point load index with compressive strength of dimension stones from North Pakistan

M. Kürşat Aydemir
Murat Erdemoğlu

Original Research / Orijinal Araştırma

Pomzadan asit liçiyile alümina üretiminin araştırılması
Investigation of alumina production from pumice by acidic leaching

Uğur Ulusoy
Osman Nuri Atagün

Original Research / Orijinal Araştırma

Sivas ili Kangal-Çartıl yöresi kromit cevherlerinin sarsıntılı masa zenginleştirme ürünlerinin çeşitli teknikler kullanılarak tane şekilleri açısından incelenmesi
Investigation of shaking table products of chromite ore from sivas Kangal-Çartıl region in terms of particle shapes by using various techniques

Atila Ceylanoğlu
Bülent Erdem
Bahadır Şengün
Aydın Karatepe
M. Engin Yayla

Original Research / Orijinal Araştırma

Divriği A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında uygulanmakta olan üretim yönteminin ve cevher kaybının değerlendirilmesi
Evaluation of actively applied mining method and ore loss in Divriği A-Kafa and Ekinbaşı underground iron mines

Kaan Koçali

Review / Derleme

Madencilik sektörü iş kazalarının kayıp iş günü ve cinsiyet risk faktörleri açısından sürveyans analizi
Surveillance analysis of mining sector occupational accidents in terms of lost working days and gender risk factors

Burçin Kaymakoglu
Tuğba Deniz Tombal Kara

Review / Derleme

Türkiye’de maden mühendisliği eğitime istatistiksel bakış
Statistical overview of mining engineering education in Turkey

**Bilimsel madencilik dergisi’ne makale gönderilmesi,
Yazım kuralları ve yayına kabul ilkeleri**
Guide for Authors and Publication Rules

2022 Yılı Hakem Listesi
List of Reviewers in 2022



TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
UCTEA CHAMBER OF MINING ENGINEERS

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ
Scientific Mining Journal

Cilt / Vol: 61, Sayı / No: 4, Aralık / December, 2022

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın hakemli dergisidir.
A peer-reviewed quarterly journal of the Chamber of Mining Engineers of Turkey

Baş Editör / Editor-in-Chief

Dr. Nejat Tamzok, Türkiye Kömür İşletmeleri / *Turkish Coal Enterprises*

Editörler / Editors

Dr. Bülent Toka, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü / *General Directorate of Mineral Research and Exploration*

Dr. İlkay Bengü Can, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

Dr. Ümit Özer, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa / *Istanbul University - Cerrahpaşa*

Dr. Mehtap Gülsün Kılıç, Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü / *Rare Earth Elements Research Institute*

Editör Yardımcıları / Editor Assistants

Dr. Emre Yılmazkaya, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

Dr. Ece Kundak, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / *Eskişehir Osmangazi University*

Dizgi-Tasarım Editörü / Layout-Design Editör

Sena Naz Gökdemir

AMAÇ VE KAPSAM

Bilimsel Madencilik Dergisi TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın açık erişimli elektronik ortamda ve basılı olarak yayımlanan süreli bilimsel yayınıdır. Dergi 1960 yılından itibaren yayımlanmaktadır. Derginin ismi 2016 yılı Haziran sayısına kadar "Madencilik" şeklindeyken, benzer isimli popüler dergilerle karıştırılabilmesi nedeniyle 2016 yılı Eylül sayısından itibaren "Bilimsel Madencilik Dergisi" olarak değiştirilmiş ve o tarihe kadar 0024-9416 olan ISSN numarası da 2564-7024 olarak güncellenmiştir.

Yılda 4 kez (Mart-Haziran-Eylül-Aralık) yayımlanan Bilimsel Madencilik Dergisi (ISSN: 2564-7024), maden mühendisliği ve mineral endüstrisi alanında ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan, bilimsel normlara ve yayın etiğine uygun, özgün bilimsel çalışmaları bilim insanlarına, maden mühendislerine ve kamuoyuna duyurmayı ve bu yolla bilimsel bilgiyi toplumla paylaşmayı amaçlamaktadır. Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir.

Dergi, maden mühendisliği alanında özgün bir araştırmayı bulgu ve sonuçları ile yansıtan kuramsal, deneysel ve uygulamalı araştırma makalelerine; yeterli sayıda bilimsel makaleyi tarayıp konuyu bugünkü bilgi ve teknoloji düzeyinde özetleyen, değerlendirme yapan ve bu bulguları karşılaştırarak yorumlayan tarama makalelerine; özgün bir yöntem veya tekniği tarif eden kısa makale olarak tanımlanabilecek teknik notlara; ve gerçek ya da kuramsal bir mesleki uygulamayı temel alan, sistematik veri toplama ve veri analizi içeren vaka çalışmalarına yer vermektedir.

Dergide, yenilenemeyen maden kaynakların sürdürülebilir madencilik ilkeleri doğrultusunda insanlığın hizmetine sunulması için gereken mevcut bilginin geliştirilmesini sağlayacak konularda eserlere öncelik verilmektedir. Bu kapsamda; maden arama, maden yatağı modelleme, topoğrafya, maden ekonomisi, jeostatistik, kaya mekaniği ve jeoteknik, kazılabilirlik etüdü, yer altı ve açık maden işletme, maden tasarımı, madenlerde ve tünellerde tahkimat sistemleri, delme-patlatma tasarımı, madenlerde üretim planlaması ve optimizasyon, madenlerde iş sağlığı ve güvenliği yönetimi, maden havalandırma, yeraltı kömür madenlerinde metan gazı emisyonu ve metan drenajı, cevher hazırlama ve zenginleştirme, proses mineralojisi, analitik teknikler, öğütme, sınıflandırma ve ayırma, flotasyon/flokülasyon, katı/sıvı ayırımı, fiziksel zenginleştirme yöntemleri, hidro ve biyometalürji, üretim metalürjisi, modelleme ve simülasyon, enstrümantasyon ve proses kontrol, geri dönüşüm ve atıkların işlenmesi, maden hukuku, madenlerde çevre sağlığı ve yönetimi, madenlerde nakliyat, makina ve ekipman seçimi ve planlaması, kömür gazlaştırma, mermer teknolojisi, endüstriyel hammaddeler, uzay madenciliği, denizaltı madenciliği ve mekanizasyon ile ilgili konular dergi içeriğinde yer almaktadır.

Gönderilen yazılar editörler kurulu ve konusunda uzman hakemler tarafından bağımsız ve akademik yayıncılıkta en iyi uygulamalarla uyumlu şekilde değerlendirilmekte olup, değerlendirme süreci sonunda yayınlanması uygun görülen yazıların yayın hakları yazarlar tarafından telif sözleşmesi ile TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na devredilir.

AIMS AND SCOPE

Scientific Mining Journal, which is published in open access electronic environment and in printed, is a periodical scientific journal of Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects Chamber of Mining Engineers. The name of the journal was "Mining" until June 2016 and it has been changed to "Scientific Mining Journal" since September 2016 because it can be confused with popular journals with similar names and the ISSN number has been updated from 0024-9416 to 2564-7024.

Scientific Mining Journal, published four times a year (March-June-September-December), aims to disseminate original scientific studies which are conducted according to the scientific norms and publication ethics at national and international scale, to scientists, mining engineers, the public; and thus to share scientific knowledge with society. The journal is in both Turkish and English.

The journal covers theoretical, experimental, and applied research articles, which reflects the findings and results of an original research in the field of mining engineering; review articles, which assess, evaluates, and interprets the findings of a comprehensive review of sufficient number of scientific articles and summarize them at present information and technology level; technical notes, which may be defined as a short article that describes a novel methodology or technique; a case studies, which are based on the theoretical or real professional practice and involves systematic data collection and analysis.

The journal gives priority to works that will enable the advancement of current available information necessary to serve humanity with nonrenewable mineral resources with the perspective of sustainable mining principles. In this context, mine exploration, mineral resource modeling, surveying, mine economics and feasibility, geostatistics, rock mechanics and geotechnics, diggability studies, underground and surface mining, mine design, support design in underground mines and tunnels, rock penetration and rock fragmentation, mine production planning and pit optimization, mine health and safety management, mine ventilation, methane emission and drainage in underground coal mines, mineral processing and beneficiation, process mineralogy, analytical techniques, mineral comminution, mineral classification and separation, flotation/flocculation, solid/liquid separation, physical enrichment methods, hydro and biometallurgy, production metallurgy, modeling and simulation, instrumentation and process control, recycling and waste processing, mining law, environmental health and management, transportation, machinery and equipment selection and planning, coal gasification, marble technology, industrial minerals, space mining, submarine mining and mechanization are included in the journal content.

Submitted manuscripts are evaluated by the editorial board and expert referees independently in accordance with the best practices in academic publishing. The publishing rights of the manuscripts, approved for publication at the end of the evaluation process, are transferred to the Chamber of Mining Engineers by the authors.

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ

Scientific Mining Journal

Bilimsel MADENCİLİK Dergisi makale dizin ve özlerinin yer aldığı veri tabanları:

Scientific MINING Journal is indexed or abstracted in:

SCOPUS

Google Scholar

ULAKBİM TR Dizin

GeoRef

OpenAIRE

Makale Yazım Kuralları, Yayın Danışma Kurulu, Hakem Değerlendirme Süreci ve Hakem Listelerine <http://www.mining.org.tr> adresinden erişilebilir.

Author Instructions, Editorial Advisory Board, the Peer Review Process and Reviewer Lists can be accessed from <http://www.mining.org.tr>

Etik Kurallar / *Publication Ethics*

Dergiye gönderilecek çalışmalarda, araştırma ve yayın etiğine uyulması tartışmasız bir ön koşul olarak kabul edilmektedir. Yayın Etik Kurallarına <http://www.mining.org.tr> adresinden erişilebilir.

Complying with the research and publication ethics is considered an indisputable precondition to be published. Publication Ethics can be accessed from <http://www.mining.org.tr>

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ
Scientific Mining Journal

TMMOB Maden Mühendisleri Odası adına sahibi /
Owner on behalf of the Chamber of Mining Engineers of Turkey: Ayhan Yüksel

Sorumlu yazı işleri müdürü / *Responsible editing manager: Mehmet Erşat Akyazılı*

Yönetim yeri ve yazışma adresi / *Correspondence address:*
Selanik Cad. No: 19/4 06650 Kızılay-Çankaya / ANKARA TURKEY

Tel: +90 312 425 10 80 / +90 312 418 36 57 • Fax: +90 312 417 52 90

e-mail: smj@maden.org.tr
web: <http://www.mining.org.tr>

Yayın türü / *Publication type: Yerel süreli yayın, 3 ayda bir yayımlanır / Local periodical, quarterly*

Tasarım / *Design: Gülendem Gültekin*

Baskı yeri / *Printed at: Ziraat Gurup Matbaacılık Ambalaj San. ve Tic. A.Ş.*

Baskı tarihi ve saati / *Printing date: 01.12.2022 at 09:00*

Basım adedi / *Number of printed copy: 1500*

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ

SCIENTIFIC MINING JOURNAL

ISSN 2564-7024

e-ISSN 2587-2613

Cilt / Vol: 61

Sayı / No: 4

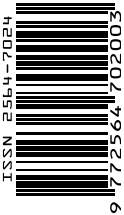
Aralık / December

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını / The Publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey

2022

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- | | | |
|---|-----|--|
| Naeem Abbas
Kegang Li
Nasir Abbas
Amjad Ali
Maisum Ali
Jibran Hussain | 185 | <i>Original Research / Orijinal Araştırma</i>
The size correction and correlation of point load index with compressive strength of dimension stones from North Pakistan |
| M. Kürşat Aydemir
Murat Erdemoğlu | 193 | <i>Original Research / Orijinal Araştırma</i>
Pomzadan asit liçiyile alümina üretiminin araştırılması
<i>Investigation of alumina production from pumice by acidic leaching</i> |
| Uğur Ulusoy
Osman Nuri Atagün | 201 | <i>Original Research / Orijinal Araştırma</i>
Sivas ili Kangal-Çartıl yöresi kromit cevherlerinin sarsıntılı masa zenginleştirme ürünlerinin çeşitli teknikler kullanılarak tane şekilleri açısından incelenmesi
<i>Investigation of shaking table products of chromite ore from sivas Kangal-Çartıl region in terms of particle shapes by using various techniques</i> |
| Atilla Ceylanoğlu
Bülent Erdem
Bahadır Şengün
Aydın Karatepe
M. Engin Yayla | 213 | <i>Original Research / Orijinal Araştırma</i>
Divriği A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında uygulanmakta olan üretim yönteminin ve cevher kaybının değerlendirilmesi
<i>Evaluation of actively applied mining method and ore loss in Divriği A-Kafa and Ekinbaşı underground iron mines</i> |
| Kaan Koçali | 221 | <i>Review / Derleme</i>
Madencilik sektörü iş kazalarının kayıp iş günü ve cinsiyet risk faktörleri açısından sürveyans analizi
<i>Surveillance analysis of mining sector occupational accidents in terms of lost working days and gender risk factors</i> |
| Burçin Kaymakoğlu
Tuğba Deniz Tombal Kara | 231 | <i>Review / Derleme</i>
Türkiye’de maden mühendisliği eğitime istatistiksel bakış
<i>Statistical overview of mining engineering education in Turkey</i> |
| | 239 | Bilimsel madencilik dergisi’ne makale gönderilmesi, Yazım kuralları ve yayına kabul ilkeleri
<i>Guide for Authors and Publication Rules</i> |
| | 245 | 2022 Yılı Hakem Listesi
<i>List of Reviewers in 2022</i> |





Original Research / Orijinal Araştırma

The size correction and correlation of point load index with compressive strength of dimension stones from north pakistan

Naeem Abbas^{a,*}, Kegang Li^{b,**}, Nasir Abbas^{a,***}, Amjad Ali^{a,****}, Maisum Ali^{a,*****}, Jibran Hussain^{a,*****}^a Department of Mining Engineering Karakoram International University Gilgit, Pakistan^b Faculty of Land resource Engineering Kunming University of Science and Technology Kunming, Yunnan, 650093, China

Geliş-Received: 1 Ağustos - August 2021 • Kabul - Accepted: 19 Temmuz - July 2022

A B S T R A C T

The uniaxial compressive strength (UCS) is an important geotechnical property of rock considered in rock mass classification, tunnel design and other surface and underground mining projects. It is the key parameter of rock mass rating (RMR) and the RMR provides a base for the slope stability analysis. This key parameter of slope stability analysis and tunneling can be easily determined by the axial and diametral point load test (PLI/Is₅₀). Various attempts have been made in the past to correlate point load index (PLI) with UCS, however, these studies are based on limited data for particular rocks. In this study, the PLI values of diametral, axial and irregular lumps have been correlated with UCS using dimension stones of tectonic regions along KKH. A methodology of size correction of irregular lumps has been set using regression analysis, the PLI of cores and lumps have been correlated with UCS. The significance of the correlation was developed by correlations coefficients. It was found that the Is₍₅₀₎ of an irregular lump of white marble is 1.8MPa. For pink and white granite the Is₍₅₀₎ values were recorded as 3.2MPa and 2.4MPa respectively. In the size correction factor (F) the power n for irregular lumps is corrected as 0.8 for marble lumps and the n value for pink and white granite is 0.9 and 1.4 respectively. For diametral and axial PLI the power n is used as 0.45. The correction factor F=(De/50)0.8 is suggested for marble irregular lumps while for axial and diametral specimens of marble the correction factor F=(De/50)0.45 is recommended. In the case of pink and white granite, the correction factors are F=(De/50)0.9 and F=(De/50)1.4 respectively.

Keywords: Uniaxial compressive strength, Point load index, correlation, irregular lumps, size correction.

Introduction

The dimension stones like marble and granite are the important industrial stones widely used in tile production. The dimension stones' potential for the World is shown in Figure 1. The potential marble deposits of Pakistan are listed in Table 1. The physio-mechanical behavior is important to know before using dimension stones as tiles. The determination of strength and other physio-mechanical properties needs extensive laboratory experimentations and human effort. The point load index (PLI) is an indirect method of strong determination. PLI tests may be performed either on prepared samples or lumps. The marble deposit of Ghulmet district Nagar, the Chilas pink granite and the Sakarkoi white-black granite of tectonically active regions of North Pakistan has been selected in this study to characterize and develop an easy and quick strength determination method using irregular lumps.

Initially, the irregular lump point load tests were proposed by Protodyakonov in 1960 (Protodyakonov, 1960). Later on D'Andrea et al. (1965) pointed that the point load test has a good empirical

correlation with the compressive strength of rocks (D'Andrea, Fischer, & Fogelson, 1965). For irregular lumps, the ISRM (Franklin, 1985) suggests the method of point load index (Is) from the breaking load P and equivalent diameter De given by Equation 1.

$$Is = \frac{P}{De^2} \quad (1)$$

The details of the above relation are discussed in the methodology portion. The axial, diametral and irregular lumps of almost 30 samples of sandstone and norite have been studied by Bieniawski (Bieniawski, 1975). Almost 500 point load tests on irregular lumps were tested by Panek and Fannon (Panek and Fannon, 1992). Rusnak and Mark suggested a linear correlation for different rock types i.e UCS= 23.62Is(50)-2.69 (Rusnak and Mark, 2000). S. Kahraman and O. Gunaydin determined the effect of rock classes in the correlation of PLI and UCS using different rocks from Turkey (Sair Kahraman & Gunaydin, 2009). They revealed that UCS is rock dependent therefore a single correlation may not be suitable in assessing UCS from PLI. Fener et al. (Fener, Kahraman, Bilgil, & Gunaydin, 2005) studied that the derived equ-

* Corresponding author / Sorumlu yazar: naeem.abbas@kiu.edu.pk • https://orcid.org/0000-002-4495-8144

** likegang_78@163.com

*** nasir.abbas@kiu.edu.pk

**** amjadaliamiry1@gmail.com

***** jibranhussain567@gmail.com

***** massamali.haidery@gmail.com

ations in the relation of PLI and UCS are not in the same trend so care must be taken in practical applications. A linear and power relation of PLI with rock strength has also found by Sabatakakis et al. (Sabatakakis, Koukis, Tsiambaos, & Papanakli, 2008) for marlstone, limestone and sand stone. M Akram (Akram & Bakar, 2016) developed a linear correlation of point load index and compressive strength of salt range rocks (nine types of rocks excluding marble) from Pakistan using cores. Recently studies on irregular rocks from the Hong Kong region were also conducted (Yin, Wong, Chau, Lai, & Zhao, 2017) and determined the power of correction factor of 0.55 for slightly decomposed medium grain granite and 0.675 for moderately decomposed medium grain granite. The dimension stones of active tectonic zones and their characterization are not studied yet.

In this study a simple methodology was developed to find the index value of irregular lumps and a correlation of this index value with compressive strength has also been developed using some statistical tools. The linear, exponential and power models were applied for each test and suggested the most appropriate tool. This is the first attempt to formulate a correlation of irregular lumps PLI with UCS of dimension stones along KKH. The proposed method is economical and time-saving at the same time. The method provides a convenient way to determine the UCS indirectly using irregular lumps.

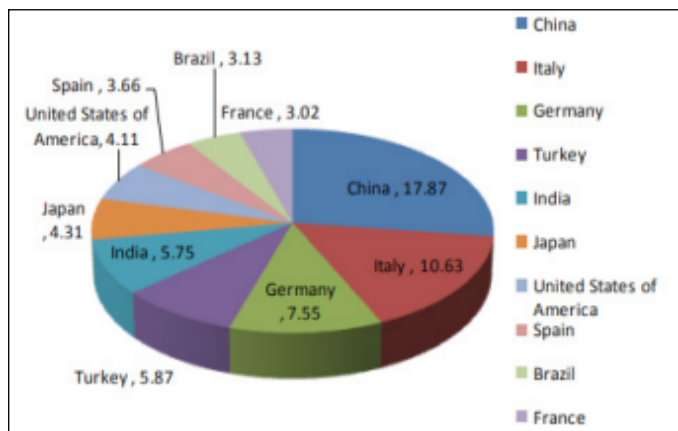


Figure 1. Dimension stone production of World (Raza et al, 2020)

Table 1. The dimension stones of Pakistan (Raza et al, 2020)

Marble color	Occurrence	Descriptions
White	Muhammad Agency, Chitral, Buner, Swat, Parachinar, Gilgit, Hunza, Swabi, Malakand	Pure white: white with pink, brown and green shades, white to grey with yellowish patches, white to light grey with yellowish brown patches, creamy white
Black	Buner, Bajour, Mardan, Bela	Deep black with patches of white, black with white and golden steaks
Green	Swat, Swabi, Buner, Azad Kashmir and Lasbela, Jhuli, Zard Khan, Zeh	Dark green, green with streak and patches of white grey and black, greenish white, dark green with layers of light green, green with streaks of white and yellow
Pink	Nowshehra, Chitral, Lasbela	Pink with streaks and patches white, grey, red and brown pink with fossils
Grey	Buner, Bajour, Mardan, Swat, Muhammad Agency, Lasbela	Grey with white bands, grey with pink, brown and green patches
Brown	Bunner, Swat, Kohat, Waziristan, Khuzdar	Dark brown with white lines, brown with yellow patches, light brown with fossils
Yellow	Bunner, Swat, Kohat, Waziristan, Khuzdar	Yellow with golden patches, yellowish golden with fossils

1. The Potential of Dimension stones along KKH

The KKH passes through mountainous regions (having dimension stones) of China and Pakistan. The Gojal marble deposit and Ghulmet marble deposits (Figure 2) lie along KKH. The Sakarkoi black granite and white-black granite are at a distance of 10-15km from KKH. Similarly, dolomite and limestone deposits are also located at Khyber Hunza on the side of KKH. Near Chilas a unique type of Pink granite Quarry has recently developed. A black and greenish type deposit has also been discovered at Heramosh district Gilgit. Some of the dimension stones along KKH are shown in Figure 2.

Table 2. The dimension stones potential along KKH

Dimension stone	Location	Color	Specific gravity	Porosity %
Marble	Ghulmet	White	2.6	0.966
Marble	Nasirabad	White	2.5	0.9
Marble	Jamal Abad Gojal	Off white	2.4	0.9
Marble	Mahpon Ghojal	Off white	2.5	0.67
Marble	Shahtot Heramosh	Off white	2.6	0.89
Granite	Heramosh shuta	Pull green	2.7	0.77
Granite	Heramosh shuta	Black	2.7	0.56
Granite	Chilas	Pink	2.7	0.34
Granite	Hanzal	Coarse black grain	2.54	0.66
Granite	Basin Gilgit	White granite	2.7	0.54
Granite	Sakarkoi	Black	2.8	0.4
Lime stone	Khyber	Off white	2.4	0.96
Dolomite	Khyber	Off white	2.78	0.47
Granite	Minawaer	Black	2.8	0.5



Figure 2. Dimension stones along KKH

2. The regional Geology

The Northmost province of Pakistan is Gilgit-Baltistan (GB) having India in the east, China in the north and Afghanistan in the west (figure3). The GB has a unique geology. It has spectacular tectonic entities of the Asiatic plate (AP), Indian plate (IP) and the Kohistan-Ladakh arc (KLA). The Northern Suture Zone (NSZ) or Main Karakoram Thrust (MKT) separates the KLA from AP in the north while the Maim Mantle Thrust (MMT) separates the KLA from IP in the south. These different tectonic events have generated various types of igneous and metamorphic rocks in the form of gigantic mountain chains in the region. Considering the metallogenic provinces related to such types of tectonic environments the world over, it can be suggested that the GB province may have the potential for the occurrence of economic mineral deposits.

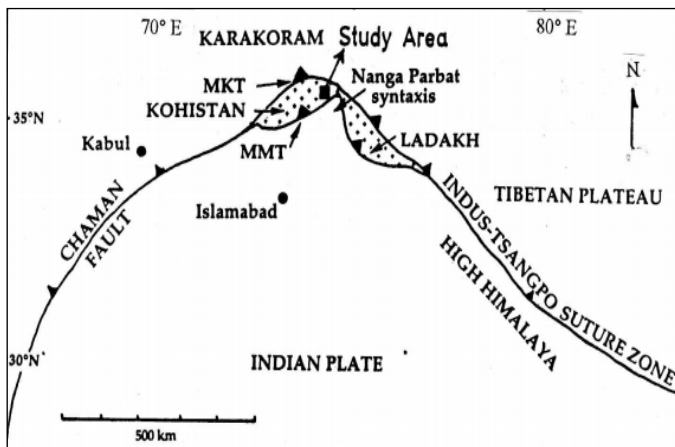


Figure 3. The tectonic zones and the study area

3. Method for test analyses

The rock boulders were collected from Ghulmet marble Quarry, Chilas pink granite and Sakarkoi white-black granite Quarry along KKH to develop a relation of cores and irregular lumps with UCS. For irregular lumps PLI the ISRM suggested method (Franklin, 1985) has been used. More than 50 irregular lumps of each sample were tested. The data points of close correlation were considered and the irrelevant points were discarded.

$$De = \sqrt{4WD/\pi} \quad (2)$$

Where W is $(W1 + W2)/2$ is defined in figure 4.

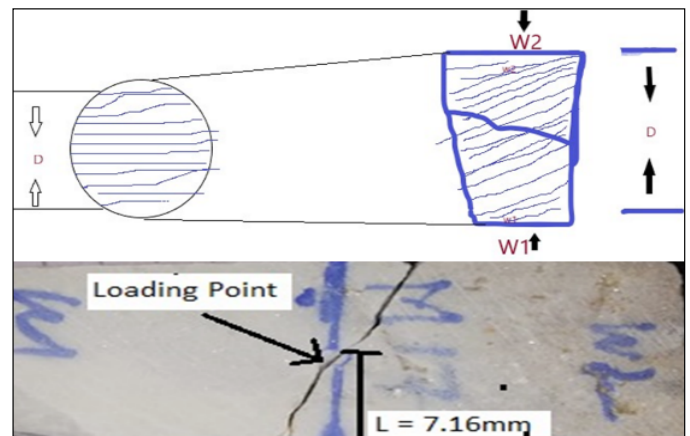


Figure 4. The equivalent diameter De and specimen dimension

The De has been obtained using Equation 2 and correlated with 50 mm diameter using the Equation 3. The purpose is to obtain the point load index for 50 mm diameter called $Is50$.

$$F = \left(\frac{De}{50}\right)^n \tag{3}$$

The correction factor F is used when the cores of diameter not equal to 50mm. In this study the power of the correction factor (n) has been determined for irregular lumps and cores for axial and diametral PLI of Ghulmet marble. The Is_{50} value is determined using Equation 4. Below is the suggested methodology of determination of correction factor power (n) for marble deposit.

Using the data of PLI of different sizes a relationship of log (Is_{50}/Is) and log ($De/50$) has been generated as described by Equation 5.

$$Is_{50} = FIs \tag{4}$$

$$Is_{50} = \left(\frac{De}{50}\right)^n Is$$

$$\frac{Is_{50}}{Is} = \left(\frac{De}{50}\right)^n$$

$$\log\left(\frac{Is_{50}}{Is}\right) = n \log\left(\frac{De}{50}\right) \tag{5}$$

The laboratory testing and evaluation

The diametral, axial and irregular lumps point load test were conducted by Point load index apparatus in Rock Mechanics Lab, Department of Mining Engineering Karakoram International University, Gilgit. The UCS tests were also performed followed by

ASTM standard (ASTM, 2006). The standard method suggested in the literature is used for PLI (Bieniawski, 1975). The Schematic of the test method is shown in Figure 5. The PLI tests were evaluated in Figure 6. The average PLI of the irregular lumps of marble is 1.8 MPa. Few of the samples show a PLI value of 2.4 MPa in the case of irregular lumps. The PLI values lie in between 1.6-2.4 MPa. In cases of the diametral test, most of the samples represent a maximum PLI of 2.3 MPa. The cluster of the data lies in between 1.5-3.1 MPa. In the case of axial PLI, the cluster of the data lies in between 2.6-3.4 MPa. The peak UCS of the marble deposit is 59 MPa. The cluster of the data lies in the range of 34-59 MPa.

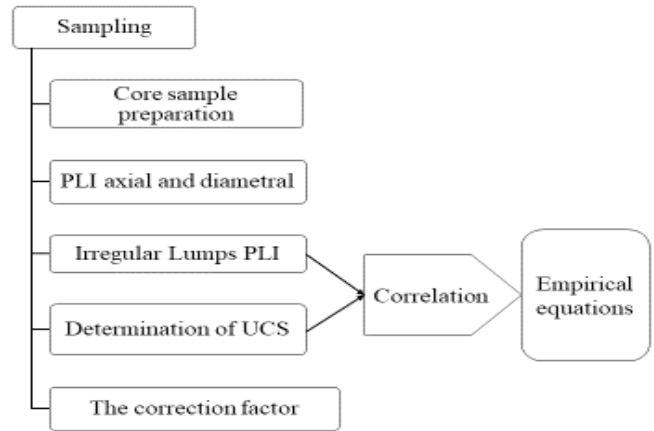


Figure 5. The Schematic of laboratory test

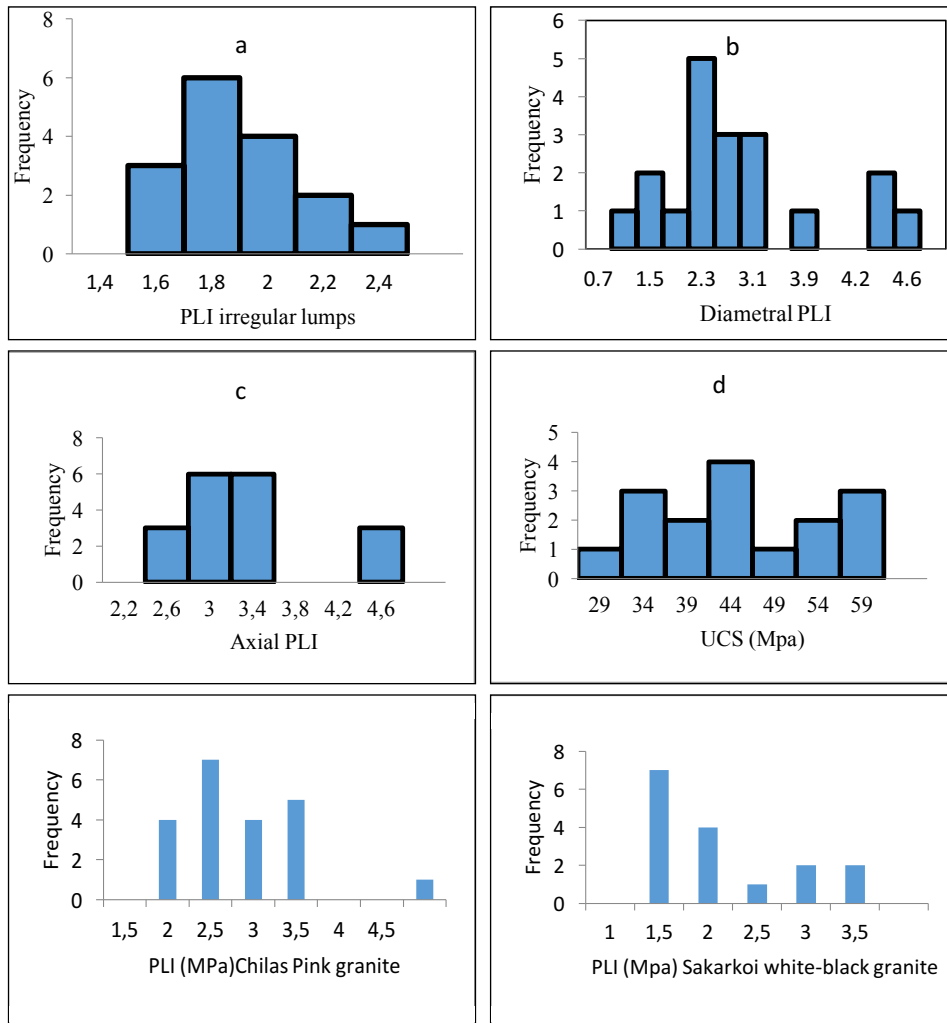


Figure 6. Histogram showing (a) PLI of irregular lumps (b) dimetral (c) axial and the (d) compression strength of Ghulmet marble

4. Results and Discussions

The PLI and UCS of irregular lumps were linearly correlated (Figure 7). The high correlation coefficient (>0.7) in the empirical relation of PLI and UCS shows the empirical correlations are realistic. These equations are indirect UCS predicting empirical relations for irregular lumps. As UCS determination method is time-consuming, expensive and needs sample preparation. Therefore the suggested equations are helpful for UCS using irregular lumps PLI of Ghulmet marble, Chilas pink granite and Sakarkoi white-black granite of tectonic regions. The point load strength index PLI or $Is_{(50)}$ of irregular lumps of marble, white and pink granitic specimens were determined by interpolation from a straight line fitting of P and De^2 to obtain the strength of P from $De^2 = 2500$. The $P_{(50)}$ value i.e load corresponds to the 50mm diameter has been determined from the P versus De^2 line (Figure 8). Then, the point load strength index $Is_{(50)}$ can be determined by $P/50^2$. The size correction factor F is a power function in which the power index n value is obtained from a straight line fitting to data (Figure 9) of $\log(Is_{50}/Is)$ and $\log(De/50)$. The value of P_{50} was observed as 4.0565 kN in the case of white marble. The Is_{50} value corresponding to P_{50} is 1.62 MPa for the case of irregular lumps of Ghulmet marble. A correlation of De^2 with load (P) has also been developed with a correlation coefficient of 0.74.

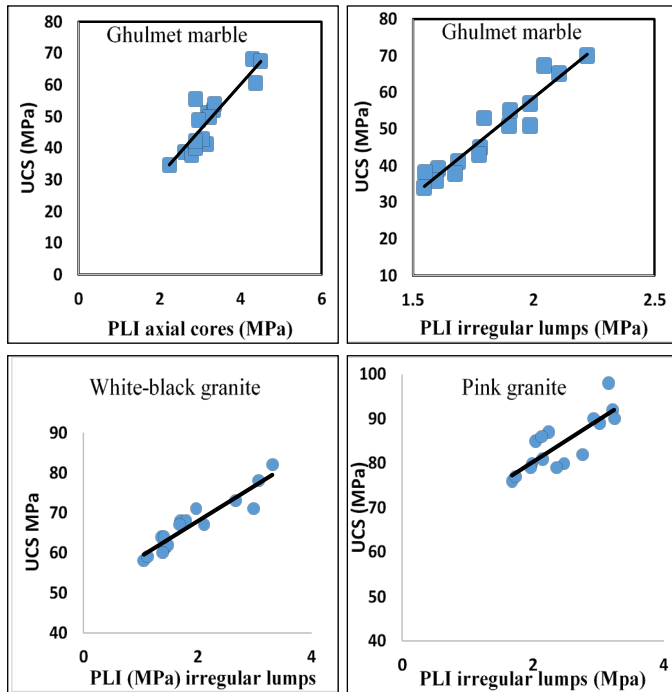


Figure 7. The correlation of PLI and UCS

The PLI of axial testing samples shows a linear relation with UCS. The correlation coefficient, in this case, is 0.809. A linear correlation was also observed between PLI and the strength of marble in diametral testing. The correlation coefficient is 0.68. The correlation coefficient in the relation of PLI and UCS of white-black granite is 0.87 and the coefficient for pink granite is 0.67. The correlations coefficients and average UCS and PLI values are shown in Table 3. The correlation equations are shown in Table 5.

The P_{50} value of pink granite is observed as 8 kN and the Is_{50} value is 3.2 MPa. The P_{50} value of white-black granite is 6kN. And the Is_{50} value is 2.4 MPa.

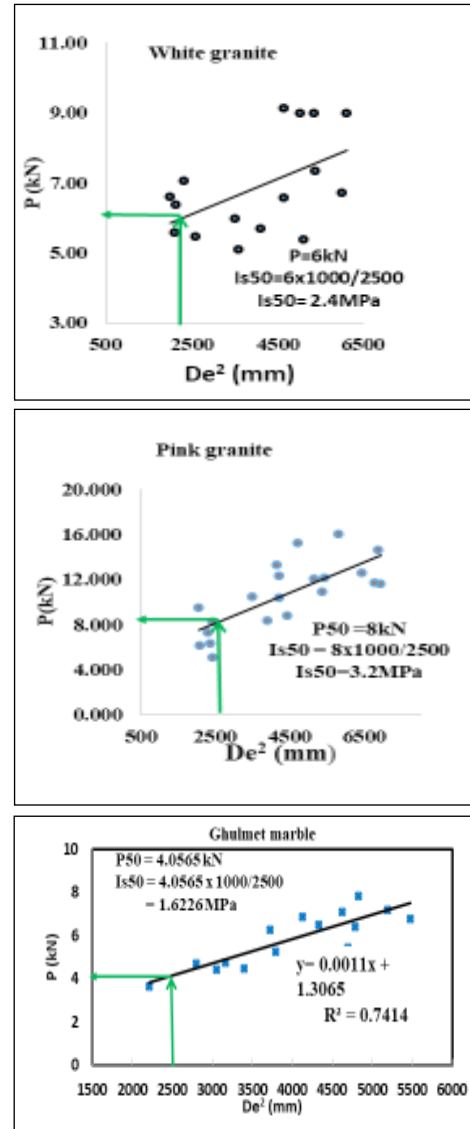


Figure 8. The P_{50} of marble and granite

Table 3. The results of Is_{50} and size correction factor for three different test types

Test type	$Is_{(50)}$ MPa	Average UCS (MPa)	n	R^2
Irregular marble lumps	1.8	48.975	0.8	0.915
Axial PLI	3.234439	49.0675	0.45	0.8097
Diametral PLI	2.249682	43.1125	0.45	0.684
White granite irregular lumps	2.4	67	1.4	0.87
Pink granite irregular lumps	3.2	84	0.9	0.67

For irregular marble lumps, the power factor n is found as 0.8. While for cores of diameter less than 50 mm the power factor was found as 0.45. The average UCS of irregular marble lumps was 48.975. The correlation coefficient of UCS and PLI of irregular lumps is 0.915. The correlation coefficients of axial and diametral PLI were 0.8097 and 0.684 respectively.

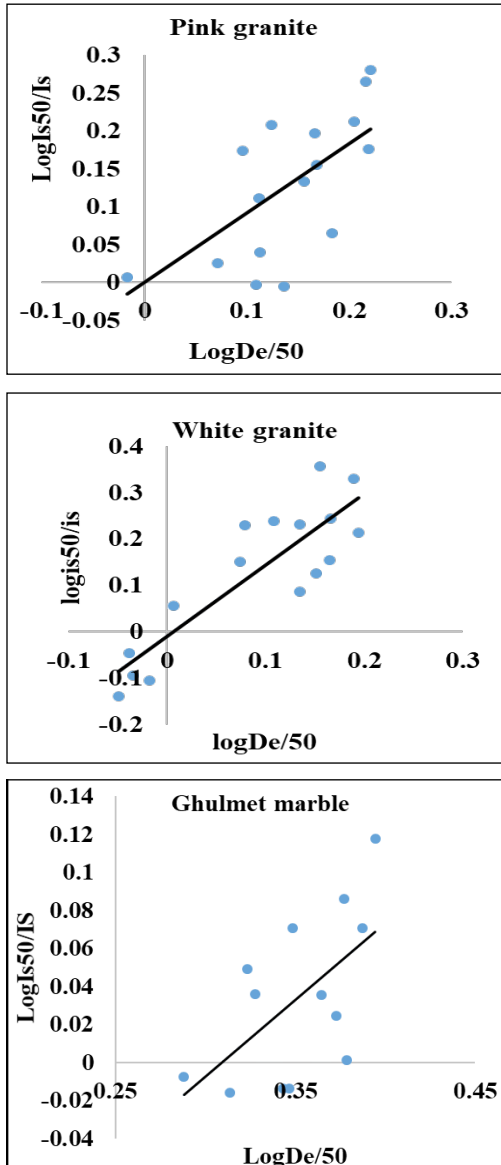


Figure 9. The determination of n

Table 4 reports statistical results from t-test and p-value suggested strong correlations and the realistic of the equations. The suggested equations for the marble and granite deposits in the relation of PLI and UCS are given in table 5.

Table 4. Statistical analyses results of marble for PLI and compression test.

Irregular lumps (marble)				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	-48.1558	7.942	-6.0632	2.92044E-05
X Variable 1	53.322	4.333	12.3036	6.78248E-09
Axial (marble)				
Intercept	2.34058	6.163	0.37977	0.30981
X Variable 1	14.446	1.87	7.71863	2.07234E-06
Diametral (marble)				
Intercept	18.1438	4.752	3.8177	0.0018
X Variable 1	11.09873	2.013	5.5114	7.66512E-05

Table 5. Derived equations of PLI and UCS of marble

Equations	Test type	R-square value
UCS=11PLI+18	Diametral marble	0.7
UCS=14PLI+2.3	Axial marble	0.8
UCS =53PLI-48	Irregular lumps marble	0.9
UCS=9.46PLI+61	Irregular lumps (pink granite)	0.7
UCS=8.8PLI+50	Irregular lumps (white-black granite)	0.87

Recently Kahraman (S Kahraman. 2007) suggested an equation for marble.

$$UCS=18.45PLI-13.6 R^2 =0.7$$

This equation is similar with Ghulmet marble equation but for irregular lumps the empirical relations are little bit different. It is suggested that a particular deposit should be characterized based on the geological information.

Conclusion

In this study rock samples of marble, white-black granite and pink granite were collected from tectonic zones of North Pakistan. A methodology of irregular lumps for PLI has been set and the following conclusions were presented. The correction factor for irregular marble lumps is $F=(De/50)^{0.8}$ and for pink and white granite the correction factors are $F=(De/50)^{0.9}$ and $F=(De/50)^{1.4}$ respectively. The PLI of pink granite is in between 1.6 MPa and 3.2 MPa. The PLI of white-black granite is in between 1.05 MPa and 3.03 MPa. The UCS of pink granite is in between 76 MPa and 98 MPa. The UCS of white-black granite is in between 58 MPa and 82 MPa. The case is different for Ghulmet marble as the UCS of all the samples is less than 54 MPa. The cluster of PLI values of Ghulmet marble is in the range of 2.2 MPa to 3.4 MPa. The correlation coefficients determined in the relation of PLI and UCS of axial, diamtral and irregular lumps for marble and granite are greater than 0.7. These correlations are considered reliable. The correlations equations of irregular lumps are given below:

$$UCS =53PLI-48 \text{ Marble}$$

$$UCS=9.46PLI+61 \text{ Pink granite}$$

$$UCS=8.8PLI+50 \text{ White-black granite}$$

Recommendations

The Region (Gilgit-Baltistan, North Pakistan) is rich of dimension stones and gemstones. The tectonic activities have created micro cracks in the studied dimension stones. It is recommended that before the usage of these dimension stones a proper physio-mechanical Characterization should be carried out

Conflict of interest

The authors have declared no conflict of interest.

References

Akram, M., & Bakar, M. A. 2016. Correlation between uniaxial compressive strength and point load index for salt-range rocks. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*.
 ASTM, D. 2006. Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. *ASTM standard D, 2166*.

- Bieniawski, Z. 1975. The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9(1), 1-11.
- D'Andrea, D. V., Fischer, R., & Fogelson, D. 1965. *Prediction of compressive strength from other rock properties* (Vol. 6702): US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A., & Gunaydin, O. 2005. A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38(4), 329-343.
- Franklin, J. 1985. *Suggested method for determining point load strength*. Paper presented at the International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts.
- Kahraman, S. 2007. The correlations between the saturated and dry P-wave velocity of rocks. *Ultrasonics*, 46(4), 341-348.
- Kahraman, S., & Gunaydin, O. 2009. The effect of rock classes on the relation between uniaxial compressive strength and point load index. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(3), 345-353.
- Panek, L., & Fannon, T. 1992. Size and shape effects in point load tests of irregular rock fragments. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 25(2), 109-140.
- Protodyakonov, M. 1960. *New methods of determining mechanical properties of rocks*. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Strata Control.
- Raza, S., Hussain, S., Jadoon, K., Rehman, Z., Sherin, S., & Muhammad, N. 2020. Mitigation plan for identified problems faced by the marble industry in Khyber Pakhtunkhwa. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 39(1), 77-86.
- Rusnak, J., & Mark, C. 2000. Using the point load test to determine the uniaxial compressive strength of coal measure rock.
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G., & Papanakli, S. 2008. Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 97(1-2), 80-90.
- Yin, J.-H., Wong, R. H., Chau, K. T., Lai, D. T., & Zhao, G.-S. 2017. Point load strength index of granitic irregular lumps: Size correction and correlation with uniaxial compressive strength. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 70, 388-399.



Orijinal Araştırma/Original Research

Pomzadan asit liçiyile alümina üretiminin araştırılması

Investigation of alumina production from pumice by acidic leaching

M. Kürşat Aydemir^{a,*}, Murat Erdemoğlu^{a,**}^a İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, TÜRKİYE

Geliş-Received: 22 Ocak - January 2022 • Kabul - Accepted: 25 Nisan - April 2022

ÖZ

Bayer prosesine uygun boksit rezervlerinin azalmasına bağlı olarak, boksit dışı kaynaklardan alümina üretimi günümüzde giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'deki rezervleri bol olan pomzadan asit liçiyile alümina üretimi araştırılmıştır. %64,64 SiO₂ ve %14,85 Al₂O₃ içeren pomza örneği su, HCl, H₂SO₄ ve HNO₃ çözeltileriyle liç edilmiş ve alüminyum hiçbir ortamda kazanılamamıştır. Mekanik olarak aktifleştirilmesi amacıyla pomza 2-60 dk aralığında değişik sürelerde gezegensel bilyalı değirmende aşırı öğütülmüştür. Aşırı öğütülmüş pomza örnekleri özdeş koşullarda değişik asit çözeltilerinde liç edilmiş ve 60 dk aşırı öğütülmüş pomza örneğinin HCl çözeltisinde liçi sonucunda alüminyumun %66,40'ı sulu çözeltide kazanılmıştır. Alüminyum kazanımını arttırmak amacıyla, süre, asit derişimi ve sıcaklık değişkenlerinin etkisi araştırılmıştır. Böylece, 4 M HCl çözeltisinde, kaynama sıcaklığında ve 24 saatte yapılan liç işlemiyle alüminyum kazanımı %91,37'ye yükselmiştir. Bu yüklü liç çözeltisinden evaporasyon yöntemiyle AlCl₃ tuzu çöktürülmüş ve bu tuz 1200°C sıcaklıkta 3 saat kavrularak, %62,87 Al₂O₃ içerikli bir pomza alüminası ilk kez üretilmiştir. Alüminada safsızlık olarak demir, kalsiyum, magnezyum ve titanyum bulunmakla birlikte mekanik aktivasyon, asit liçi, çöktürme ve kavurma işlemlerini içeren ardışık bir süreçle pomzadan alümina üretilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar sözcükler: Alümina Üretimi, Pomza, Asit Liçi, Mekanik Aktivasyon

A B S T R A C T

Due to the decrease in bauxite reserves suitable for the Bayer process, production of alumina from non-bauxite sources is becoming increasingly important today. In this study, production of alumina from pumice, which has high reserves in Türkiye, by acid leaching was investigated. Pumice sample containing 64.64% SiO₂ and 14.85% Al₂O₃ was leached with water, HCl, H₂SO₄ and HNO₃ solutions and aluminum could not be recovered in any medium. To activate it mechanically, the pumice was intensively milled in a planetary ball mill at different times in the range of 2-60 minutes. Intensively milled pumice samples were leached in different acid solutions under identical conditions and 66.40% of aluminum was recovered using 60 min. milled pumice sample leached by HCl. For increasing the aluminum recovery, effects of time, acid concentration and temperature were investigated. Thus, the aluminum recovery increased to 91.37% by leaching in 4 M HCl solution, at boiling temperature and in 24 hours. AlCl₃ salt was precipitated from this pregnant leaching solution by evaporation method, then the salt was roasted at 1200°C for 3 hours and a pumice alumina with 62.87% Al₂O₃ content was produced for the first time. Although there are iron, calcium, magnesium and titanium in the alumina as impurities, it was shown that by applying a sequential process including mechanical activation, acid leaching, precipitation and roasting, alumina can be produced from pumice.

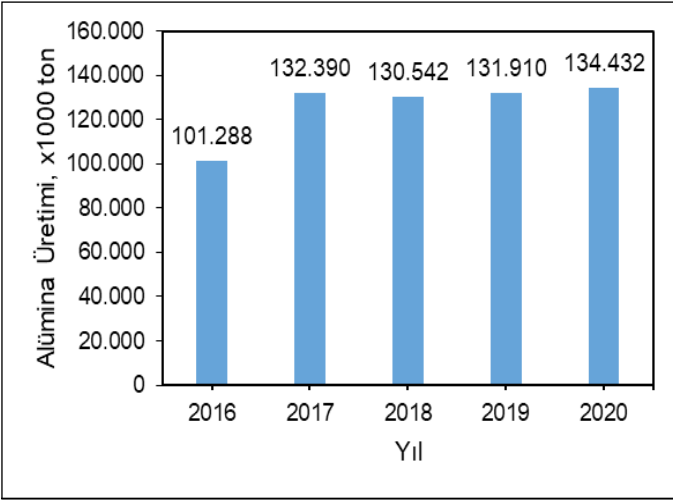
Keywords: Alumina Production, Pumice, Acid Leaching, Mechanical Activation**Giriş**

Hızla tükenen ve ekonomik olarak değerlendirilemeyen yeraltı zenginliklerimizin değişen ihtiyaçlar ve artan maliyetler neticesinde daha efektif şekilde değerlendirilmesi gerekliliği or-

taya çıkmıştır. Günümüzde boksit cevherinden üretilmekte olan alümina miktarı artmakta ancak boksit rezervleri ise hızla azalmaktadır. 2016 yılında 27,8 milyar ton olan Dünya boksit rezervi 2020 yılı sonunda 26,3 milyar tona gerilemiş (Talsad, 2021),

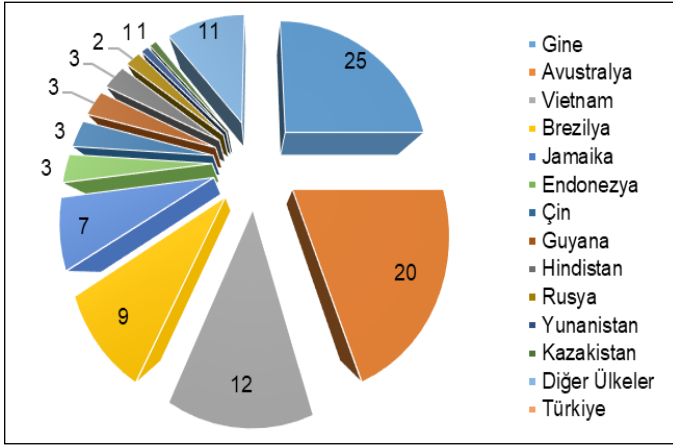
* Sorumlu yazar / Corresponding author: aydemir.kursat@outlook.com • <https://orcid.org/0000-0003-0846-4355>** murat.erdemoglu@inonu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-2922-7965>

buna karşın aynı yıl aralıklarında alümina üretimini 101,3 milyon tondan 134,5 milyon tona yükselmiştir (Şekil 1) (World Aluminum, 2021).



Şekil 1. Yıllara göre dünya alümina üretimi (World Aluminum, 2021)

Ayrıca alümina üretiminde ana kaynak olan boksit rezervinin Dünyaya eşit olarak dağılmadığı ve Çin, Kanada gibi gelişmiş ülkelerde ve ülkemizde oldukça az olduğu görülmektedir (Şekil 2) (Talsad, 2021).



Şekil 2. Dünya boksit rezervinin ülkelere dağılımı (%) (Talsad, 2021)

Şekil 2 incelendiğinde alümina üretiminde ön sıralarda bulunan Çin ve Rusya gibi ülkelerin boksit rezervinin tüm dünya rezervinin yalnızca %4'üne karşılık geldiği görülmektedir. Bu nedenle alümina üretiminde söz sahibi olan bu ülkelerin boksite alternatif kaynak arayışları başlamış ve boksit dışı kaynaklardan alümina üretimi gündeme gelmiştir. Ülkemiz boksit rezervinin de düşük olduğu göz önünde bulundurulduğunda, nefelin siyeni (Bondin, 1979), kaolen (Al-Ajeel ve Al-Sindy, 2006), pirofillit (Erdemoğlu vd. 2020) gibi alüminyum silikatlı minerallerden olduğu kadar pomza gibi alüminyum içeriği olan kaynaklardan da alümina üretimi olanaklarının araştırılması önem arz etmektedir. Ülkemiz pomza rezervinin yüksek olması (3 milyar ton) (Elmastaş, 2012) ve pomzanın üretim maliyetlerinin düşük olması pomzadan alümina üretimi olanaklarının araştırılmasının önünü açmıştır.

Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı volkanik bir kayadır (MTA, 2021). Tane boyutlarının artışıyla birlikte gözenekli yapıda da artış olmaktadır (Davraz ve Gündüz, 1997). Örneğin, aynı yatakta 0-2 mm'lik tane büyüklüğündeki pomzanın yoğunluğu 750 kg/m³ iken, 4-8 mm aralığında 650 kg/m³ ve 8-16mm aralığında ise 450 kg/m³ tür (Karabay, 2006). Gözenekliliğin değişimiyle ilgili olarak verilebilecek başka bir bilgi de, 24 saatlik su emme yüzdesinin ince agregada %20, iri agregada %30 civarında olmasıdır (Ünal vd. 2003).

Pomza genel olarak inşaat sektöründe kullanılmakta olup sektörde kullanım oranı Dünyada %70 iken ülkemizde %80'in üzerindedir (Orhan vd. 2017). Bunun yanında tekstil, tarım, kimya ve diğer endüstriyel alanlarda da kullanım alanı bulmaktadır (Umucu, 2004). Pomzanın kullanım alanını belirleyen en önemli faktör ise kimyasal içeriğidir. Pomza jeokimyasal kayaç sınıflaması bakımından asidik ve bazik pomza olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Çizelge 1) (Kılınç Aksay vd. 2016). Asidik kayaç karakterli pomza daha çok inşaat sektöründe tercih edilirken, bazik kayaç karakterli pomza ısı tutucu özelliği nedeniyle gazlı mangal ve ızgaralarda, rengi nedeniyle çevre düzenleme ve peyzaj çalışmalarında kullanılmaktadır (Eroğlu ve Şahiner, 2020).

Çizelge 1. Asidik ve bazik pomzanın kimyasal bileşimi (Kılınç Aksay vd. 2016)

Bileşim	Asidik Pomza	Bazik Pomza
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
Fe ₂ O ₃	2,5	7
CaO	0,9	11
MgO	0,6	7
Na ₂ O + K ₂ O	9	8

Kimyasal içeriğinin yanı sıra pomzanın mineralojik yapısının aydınlatılması amacıyla yapılmış olan çalışmalar da mevcuttur. Buna göre pomzanın çoğunlukla amorf yapı sergilediği görülmüş ancak albit, anortit gibi feldspat minerallerine ait piklere de rastlanmıştır (Aydemir, 2021).

Pomza hakkında daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların genellikle pomzadan puzolonik malzeme üretimine ve inşaat sektöründe kullanımına yönelik olduğu görülmüştür (Özkan ve Tuncer, 2001). Ayrıca pomzadan alkali liç yöntemiyle amorf silika üretimiyle ilgili bir çalışmaya da rastlanmıştır (Aydm, 2020). Ancak pomzadan hidrometalurjik yöntemlerle alümina üretimi konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, pomzanın hidrometalurjik süreçlerle değerlendirilerek alümina üretiminde kullanılabilirliği ilk kez araştırılmıştır.

1. Malzeme ve Yöntem

1.1. Malzeme

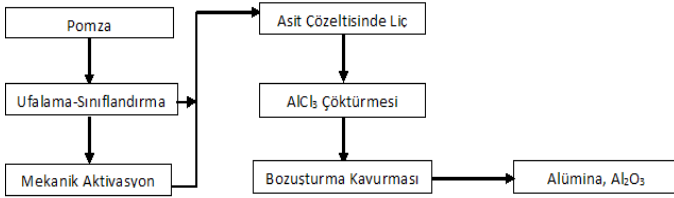
Çalışmada Kayseri, Talas ilçesi Kamber köyünde işletilen asidik karakterli pomza kullanılmıştır. Mabimssan Malatya Bims Sanayi tarafından temin edilen 5-10 cm parça iriliğindeki pomzanın tipik görünümü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan pomzanın tipik görünümü

1.2. Yöntem

Çalışmada pomzadan alümina üretimi amacıyla ufalama ve sınıflandırma gibi cevher hazırlama, mekanik aktivasyon için aşırı öğütme, asit liçi, $AlCl_3$ tuzu çöktürmesi amacıyla evaporasyon, pomza alüminası eldesi için bozuşturma kavurması işlem basamakları uygulanmış ve elde edilen ürünlerin karakterizasyonu için çeşitli analiz yöntemleri kullanılmıştır. Uygulanan işlemleri gösteren bir akım şeması Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Pomzadan alümina üretimi çalışmaları genel akım şeması

1.2.1. Ufalama-Sınıflama

Ocakta üretildikten sonra 5-10 cm parça iriliğinde sınıflandırılmış stoktan alınan pomza örneği, çeneli kırıcıyla önce -10 mm sonra -4,75 mm tane boyuna ufalanmış; seramik tamburlu ve bilyalı değirmende ASTM standardı test elekleri yardımıyla kontrolü olarak -75 μ m tane boyuna öğütülmüştür. Mekanik aktivasyon amacıyla aşırı öğütme çalışmalarında ve tüvenan pomzanın içinde bu tane boyundaki cevher kullanılmıştır.

1.2.2. Mekanik aktivasyon için aşırı öğütme

Aşırı öğütme işlemi, gezegensel bilyalı değirmende (Fritsch Pulverisette 6 Mono Mill), iç hacmi 250 cm³ olan tungsten karbür (WC) öğütme havanı ve 10 mm çapında WC bilyalar kullanılarak; 2-60 dk aralığında değişik sürelerde ve önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlara dayalı olarak (Aydoğmuş, 2019; Uysal, 2018; Erdemoğlu vd. 2018a) seçilmiş olan 20/1 bilya-cevher oranında ve 400 devir/dk havan dönme hızında kuru olarak gerçekleştirilmiştir.

Öğütme öncesi örneklerin yüzey neminin uzaklaştırılması amacıyla 105°C'de, 24 saat süreyle etüvde kurutma yapılmıştır. Öğütme sırasında havanda meydana gelen aşırı ısınmanın önüne geçmek amacıyla öğütme işlemi ardışık olarak 15 dk öğütme ve ardından 15 dk bekletme/soğutma şeklinde uygulanmıştır.

1.2.3. Liç

Tüvenan ve farklı sürelerde aşırı öğütülmüş pomza örnekleri, sabit bir liç sıcaklığı, asit derişimi ve liç süresinde; su ve farklı asitlerle liç edilmiş ve yüklü liç çözeltisinde alüminyum kazanımı hesaplanmıştır. Böylece alüminyum kazanımının en yüksek olduğu asit türü ve aşırı öğütme süresi belirlenmiştir. Ardından liç süresi, asit derişimi ve liç sıcaklığı gibi bağımsız değişkenlerin alüminyum kazanımı üzerine etkisi incelenmiştir. Su ile liç işlemi neredeyse hiç alüminyum kazanımı sağlamadığından daha sonraki incelemelerde suda liç işlemi uygulanmamıştır. Liç işlemlerinde incelenen koşullar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Liç işlemlerinde incelenen koşullar

İncelenen Koşullar	Çalışılan Değerler
Aşırı Öğütme Süresi, dk	0*, 15, 30, 60**
Liç Çözeltisi	Su, HCl**, H ₂ SO ₄ , HNO ₃
Liç Süresi, saat	3, 6**, 12, 24
Asit Derişimi, Molar	2, 3, 4**, 5
Liç Sıcaklığı, °C	30, 60, 80, KS**
Karıştırma Hızı, devir/dk	600***
Çözelti/Katı Oranı (ml/g)	20 (Sabit tutulmuştur.)

* : Aşırı öğütme işlemine tabi tutulmamış tüvenan pomza örneği

** : Diğer parametrelerin etkisi incelendiğinde kullanılan değer

*** : Kaynama sıcaklığından çalışıldığından karıştırma hızı parametresi incelenmemiştir

KS : Kaynama sıcaklığı (~ 108°C)

Sıcaklık etkisinin incelenmediği liç işlemleri için balon ısıtıcı içerisine yerleştirilmiş 500 ml'lik ve üç boyunlu borosilikat cam balon kullanılmıştır. Buharlaşmadan kaynaklanabilecek çözelti kaybını engellemek için liç işlemleri su soğutmalı cam bir yoğuşturucu varlığında yapılmıştır. Karıştırma manyetik karıştırıcı ile yapılmıştır. Liç sıcaklığının etkisinin incelendiği liç deneylerinde ısıtıcı su sirkülatörüyle ısıtılan bir ceketli liç reaktörü kullanılmıştır. Liç süresinin bitiminden hemen sonrasında yüklü çözelti vakum süzme yardımıyla çözünmeyen katılardan ayrılmıştır.

1.2.4. $AlCl_3$ çöktürmesi için evaporasyon işlemi

En yüksek alüminyum kazanımı sağlanan şartlarda yapılan liçten elde edilen yüklü çözeltiden $AlCl_3$ çöktürmek üzere çözelti bir evaporasyon işlemiyle elden geçirilmiştir. Buharlaşarak çözeltiden ayrılan gazlar su soğutmalı bir yoğuşturucuyla ayrı bir kapta toplanmıştır.

1.2.5. Alümina üretimi için $AlCl_3$ 'ün bozuşturma kavurması

Evaporasyon işlemi ile elde edilen sulu $AlCl_3$ tuzu 1200°C'de bir tüp fırında (Protherm PTF 14/105/45) pomza alüminası üretilmiştir. Fırın içerisinde bulunan silindirik mullit tüpün içerisine, fırına gaz beslenmesi ve kavurma sırasında oluşan gazların toplanması ve uzaklaştırılmasını sağlayan vanalara sahip kuvars bir tüp yerleştirilmiştir. Zararlı gazlar vakum kaynağına bağlanmış olan ve içerisinde alkali bir çözelti bulunan bir asit yıkama şişesinden geçirilerek zararsız bir biçimde ortamdan uzaklaştırılmıştır.

1.2.6. Malzemelerin tanımlanması

Araştırmada kullanılan veya elde edilen tüm katıların mineralojik ve kristalografik özelliklerini belirlemek üzere Rigaku RadB-MMAX II model X-ışınları difraktometresi (XRD); katıların

mikromorfolojik özelliklerini tanımlamak için Leo marka Evo40 model taramalı elektron mikroskobu (SEM); katıların tane boyu dağılımı belirlemek için Malvern Mastersizer 2000 model tane boyu analiz cihazı; katıların BET özgül yüzey alanını belirlemek üzere Micromeritics gemini VII 2390 model BET Yüzey alanı analiz cihazı; Katıların kimyasal içeriği Bureau Veritas Inc. (Kanada) aracılığıyla eritme ve ardından ICP-ES yöntemiyle belirlenmiştir. Yüklü liç çözeltisindeki alüminyum derişimi ise Thermo marka 3000 series model alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresi (FAAS) kullanılarak belirlenmiştir. Yüklü liç çözeltisinde alüminyum kazanımı [Eşitlik 1](#) kullanılarak hesaplanmıştır.

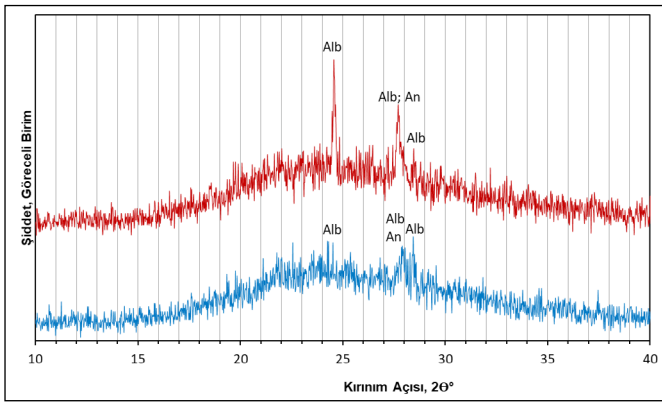
$$\text{Al Kazanımı, \%} = \frac{\text{Yüklü liç çözeltisindeki Al, g}}{\text{Beslemedeki Al, g}} \times 100 \quad (1)$$

2. Bulgular ve Tartışma

2.1. Pomzanın karakterizasyonu

Alümina üretimi için kullanılan pomzanın ana oksitler olarak kimyasal içeriği [Çizelge 3](#)'te verilmiştir. Genel bir sınıflama yapmak üzere, kullanılan pomzanın yaklaşık %65 SiO₂ içeriyor olması onun asidik özellikte bir kayaç olduğunu göstermektedir ([Özçelik, 1985](#)). Al₂O₃ içeriği yaklaşık %15 olmakla birlikte üretilecek alüminanın saflığını olumsuz etkileyecek olan Fe₂O₃ ve CaO içeriğinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan Na₂O ve K₂O içerikleri de alümina saflığına olumsuz etki edecek değerlerdedir.

Çalışmada kullanılan pomzaya ait iki farklı örneğin [Şekil 5](#)'de verilen XRD desenleri incelendiğinde, pomzanın çoğunlukla amorf halde olan minerallerden oluştuğu; bunun yanında albit (NaAlSi₃O₈) ve anortit (CaAl₂Si₂O₈) minerallerine ait birer tane keskin pik bulunduğu belirlenmiştir. Böylelikle pomzadaki alüminyum, kalsiyum ve sodyumun kaynakları arasında bu feldspat minerallerinin de olduğu anlaşılmaktadır. Bu arada, pomzadaki bazı koyu renkli tanelerin ferromanyetik özellik gösterdiği anlaşılmış ve düşük alan şiddetli bir manyetik ayırma işlemiyle bu mineraller ayrılarak tanımlaması yapılmıştır. XRD analizi bulgularına göre ([Aydemir, 2021](#)), manyetik özellikteki bu malzemenin Fe₂TiO₅ (ya da (Fe³⁺, Fe²⁺)₂(Ti, Fe²⁺)O₅) mineralojik formülüyle gösterilen psödobrokit içerdiği ve böylece Kayseri Talas bölgesi pomzalarındaki demir ve titanyumun kaynağı da olduğu ilk kez bu çalışmada ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 5. Tüvenan pomzadan alınmış olan iki farklı örneğe ait XRD deseni (Alb: Albit, An: Anortit)

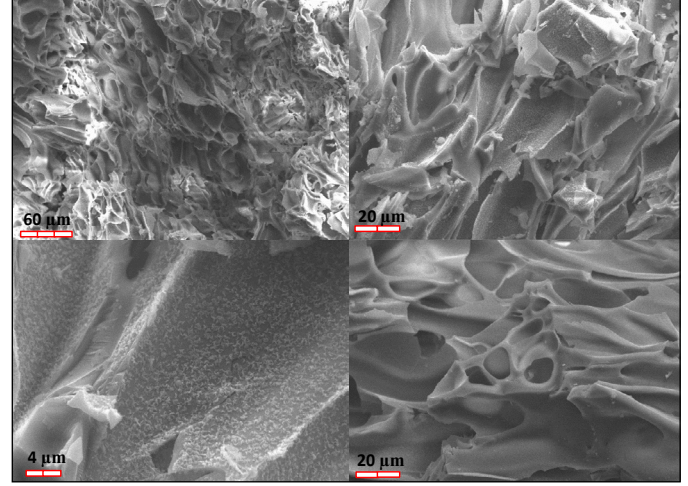
Çizelge 3. Tüvenan pomzanın kimyasal içeriği

Ana Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	A.K.*
%	64,64	14,85	3,90	0,83	2,41	3,74	3,28	0,77	0,15	0,07	5,2

*A.K.: Ateşte kayıp (1000 °C)

SEM ile elde edilen mikromorfolojik görüntülere ([Şekil 6](#)) göre kullanılan pomza tamamıyla gözenekli ve kristal olmayan yani amorf bir yapıya sahiptir. Gözenekler genel olarak küresel ve elipsoidal biçimli ve gaz kabarcığı şeklinde olup kırılma kenarları keskindir. SEM ile incelenen taneler arasında XRD deseninde ortaya çıkan albit ve anortite ait olabilecek herhangi bir kristal biçimli tane rastlanmamıştır.

Aşırı öğütme süresinin pomzanın özgül yüzey alanına etkisinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen BET özgül yüzey alanı analizi sonuçlarına göre ([Çizelge 4](#)), aşırı öğütme süresi artışıyla birlikte özgül yüzey alanı da beklenildiği gibi artmaktadır.

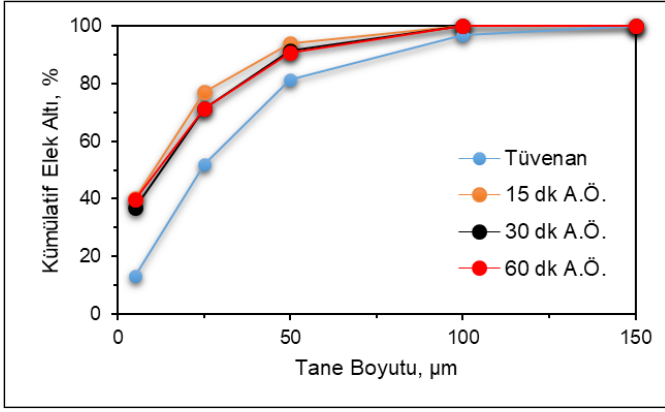


Şekil 6. Kullanılan pomzanın mikromorfolojik görüntüleri

Çizelge 4. BET yüzey alanı

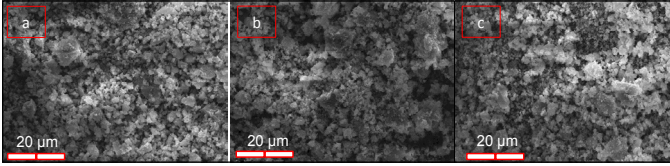
Pomza Örneği	BET Yüzey Alanı, m ² /g
0 dk (Aşırı Öğütülmemiş)	2,852
15 dk Aşırı öğütülmüş	6,897
30 dk Aşırı öğütülmüş	7,855
60 dk Aşırı öğütülmüş	9,734

Yüzey alanındaki artışın sebebi olarak gösterilen tane boyundaki değişimin ortaya çıkarılması amacıyla, tüvenan pomza ve aşırı öğütme işlemleri sonucunda elde edilen pomza örneklerinin tane boyu dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar [Şekil 7](#)'de verilmiştir. Aşırı öğütmeyle birlikte tane boyunun tüvenan pomzaya göre küçüldüğü ancak aşırı öğütme süresi artışıyla birlikte kümülatif elek altı miktarında 15 dk öğütmeye göre azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi olarak, öğütme süresinin artışıyla birlikte, özgül yüzey alanında 0-15 dk arasındaki artış hızına göre 15-60 dk arasındaki artış hızında azalmaya sebep olacak biçimde, ince ve çok ince tanelerin topaklanma eğiliminde oldukları yorumu yapılmıştır. Benzer bulgular, [Godočková vd. \(2007\)](#) ve [Erdemoğlu vd. \(2018a\)](#) tarafından yapılan çalışmalarda da ortaya çıkmıştır.



Şekil 7. Tüvenan ve aşırı öğütülmüş pomza örneklerinin kümülatif elek altı eğrisi (A.Ö.: Aşırı öğütme)

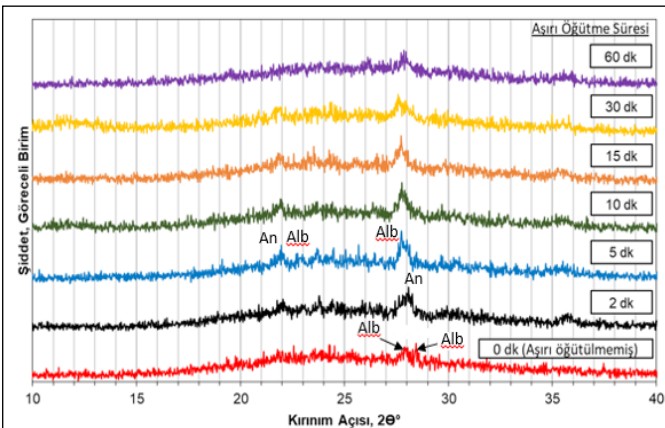
Hem tane boyundaki ve böylece özgül yüzey alanındaki değişimi hem de mikromorfolojik yapıdaki değişimi göstermek amacıyla aşırı öğütülmüş pomza örneklerinin SEM mikrofotografı (Şekil 8) elde edilmiştir. Aşırı öğütülmüş pomza örneklerinin, öğütülmemiş pomzanın aksine küresel gözeneklerin artık hiç izlenmediği bir yapı kazandıkları ve uzun süre aşırı öğütmeden kaynaklı olarak ince tanelerin topraklanması sonucu aglomeratlar içerdikleri görülmektedir.



Şekil 8. Aşırı öğütülmüş pomza örneklerinin SEM görüntüleri (a: 15 dk A.Ö., b: 30 dk A.Ö., c: 60 dk A.Ö.)

2.2. Mekanik aktivasyon için aşırı öğütme

Pomzanın suda ve asitlerde çözünürlüğünü ortaya çıkarmak üzere gerçekleştirilen ön denemelerde anlamlı bir alüminyum kazanımı elde edilememiştir. Bu sebeple pomzadaki mineralleri mekanik olarak aktifleştirerek tepkimeye girme isteklerini arttırmak amacıyla aşırı öğütme yapılmıştır. Aşırı öğütme sonunda pomzadaki mineralojik yapının değişimi XRD analizi ile izlenmiştir. Öğütülmüş örneklerin XRD desenleri tüvenan pomzankiyle karşılaştırılmıştır (Şekil 9).



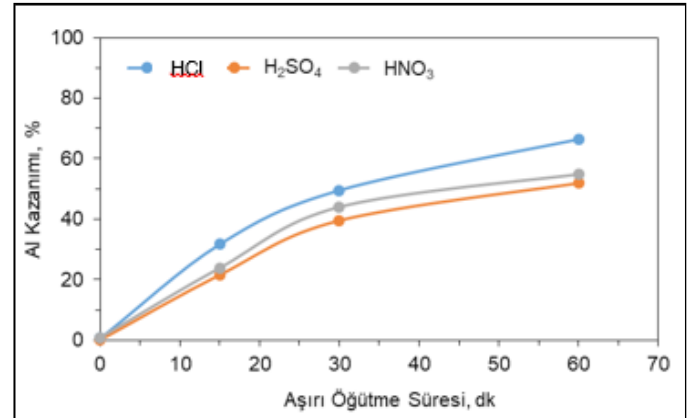
Şekil 9. Tüvenan ve aşırı öğütülmüş pomza örneklerinin karşılaştırmalı XRD deseni (Alb: Albit, An: Anortite)

Şekil 9'daki karşılaştırmalı XRD desenleri incelendiğinde, 27,9° ve 28,3° 2θ açılarında albite ait piklerin ve 28,1°'de anortite ait bir pikin 2 dk aşırı öğütmeden itibaren önce daha görünür hale geldiği; 60 dk aşırı öğütmeyle birlikte anortit pikinin neredeyse kaybolduğu; 27,9° 2θ'da görülen albite ait pikin şiddetinin azaldığı görülmüştür. Bu arada, öğütme süresi artışıyla birlikte albite ait pikin, kristal deformasyonunun işareti olarak (Baláz, 2008) sağ yönde 27,5°'ye doğru kaydığı tespit edilmiştir. Öğütme süresiyle birlikte albite ait bu pikin ve 5 dk öğütülmüş pomzada 22° kırınım açısında ortaya çıkan albit ile birlikte anortite de ait olduğu anlaşılan pikin daha belirgin hale gelmesinin sebebi olarak, zaten çoğunlukla amorf olan pomza yapısının aşırı öğütmeyle daha fazla ince tane boyuna ufalanması ve anortitin de amorflaşmaya başlamasıyla amorf yapı miktarının artması sonucu albit piklerinin belirginleştiği yorumu yapılmıştır. 60 dk aşırı öğütmeyle birlikte pomzanın neredeyse tamamen XRD-amorf bir yapı sergilediği görülmektedir.

2.3. Pomzanın Liçi

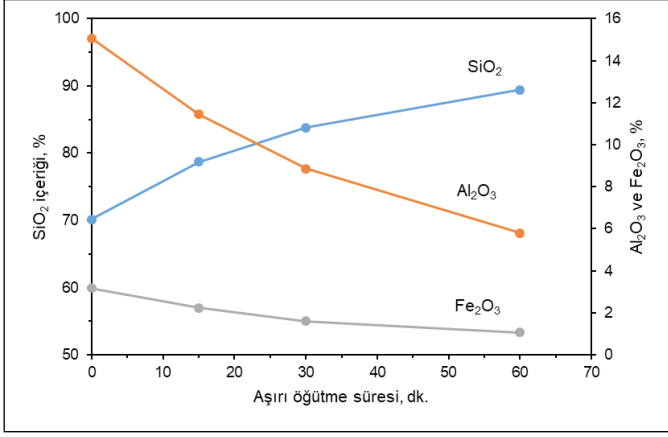
2.3.1. Asit türü ve aşırı öğütme süresi etkisi

Pomza, Çizelge 2'e açıklanan liç koşullarında su ve farklı türlerde asitlerle liç edilmiştir. Tüvenan ve çeşitli sürelerde aşırı öğütülmüş pomza örneklerinin suyla çeşitli sürelerde liçi sonucunda alüminyum kazanımı sağlanamamıştır. Tüm asit türlerindeki liç işlemlerinde en yüksek alüminyum kazanımı 60 dk aşırı öğütülmüş pomzayla elde edilmiştir (Şekil 10). Asit türünün etkisine bakıldığında ise %66,40 ile en yüksek alüminyum kazanımı 60 dk aşırı öğütülmüş pomza örneğinin HCl ile yapılan liçle elde edilmiştir.



Şekil 10. Al kazanımının aşırı öğütme süresi ve asit türüne bağlı değişimi (Liç işlemleri, kaynama sıcaklığında, 6 saat liç süresinde, 20 C/K oranında, 600 devir/dk karıştırma hızında ve 4M asit derişiminde gerçekleştirilmiştir)

Asit türünün ve aşırı öğütme süresinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda ortaya çıkan liç atıklarının da kimyasal analizi yapılarak, atıklardaki SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içeriklerinin aşırı öğütme süresiyle değişimi incelenmiştir. Şekil 11 sadece HCl liçle elde edilen atıklardaki bu oksitlerin aşırı öğütme süresiyle değişimini göstermektedir. Aşırı öğütme süresinin artışıyla birlikte HCl liçi atıklarındaki SiO₂ içeriğinin artış gösterdiği, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içeriklerinin ise azaldığı görülmüştür. Böylece aşırı öğütme süresinin liç verimine olumlu etki yaptığı atık içeriklerinden de anlaşılmıştır. Liç atıklarının tam kimyasal analizine göre Al ve Fe yanında Mg, Ca, Na ve K'un da %90'dan fazla miktarda çözeltiyeye geçtiği saptanmıştır (Aydemir, 2021).



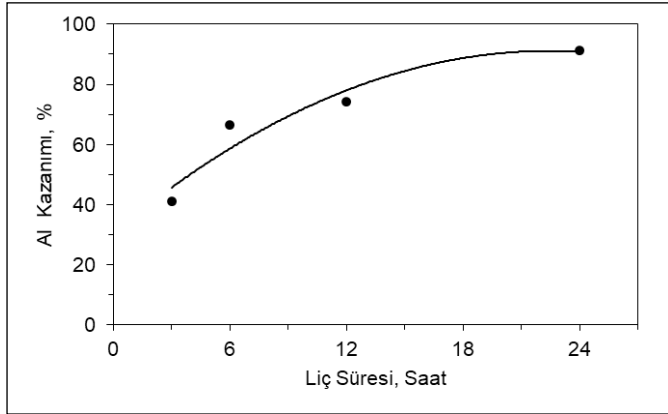
Şekil 11. HCl liçiyile elde edilen atıklardaki SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içeriklerinin aşırı öğütme süresiyle değişimi.

Boksit dışı kaynaklardan alümina üretimi amacıyla yapılan çeşitli çalışmalarda (Uysal, 2018; Erdemoğlu vd. 2018b; Aydoğmuş, 2019) mekanik aktifleştirme sonrası uygulanan asit liçiyile alüminyum kazanımında anlamlı artışlar meydana geldiği ortaya çıkarılmıştır.

Diğer liç koşulları değişkenlerinin araştırılmasında asit türü olarak HCl ve 60 dk aşırı öğütülmüş pomza örnekleri kullanılmıştır.

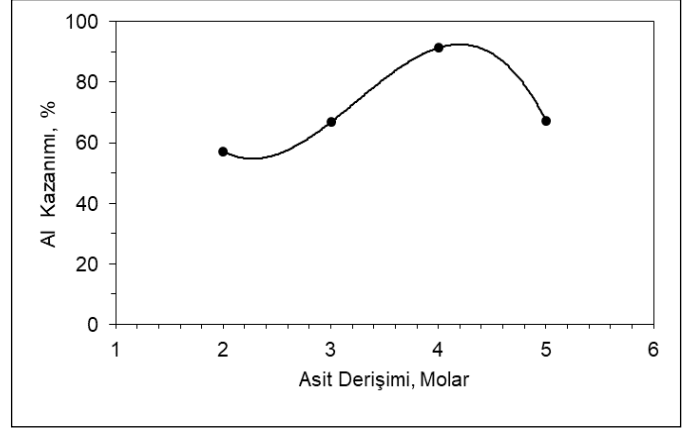
2.3.2. Çeşitli değişkenlerin etkisi

60 dk aşırı öğütülmüş pomza örneği 4 M HCl çözeltisiyle çeşitli sürelerde liç edilmiştir. En yüksek alüminyum kazanımı %91,37 ile 24 saat liç süresinde elde edilmiştir (Şekil 12).



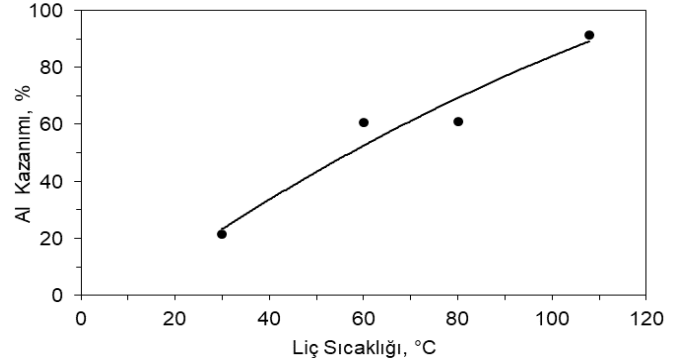
Şekil 12. Al kazanımının liç süresine bağlı değişimi (Liç işlemleri, kaynama sıcaklığında, 20 Ç/K oranında, 600 devir/dk karıştırma hızında ve 4M HCl ile gerçekleştirilmiştir.)

60 dk aşırı öğütülmüş pomza HCl'nin çeşitli derişimlerinde de liç edilmiştir. 2-4 M aralığında asit derişimi artışıyla birlikte alüminyum kazanımının da arttığı ancak 5 M asit derişiminde alüminyum kazanımının düştüğü bulunmuştur (Şekil 13). Bu düşüşün AlCl₃'ün derişik HCl çözeltisinde çözünürlüğünün azalmasına bağlı olarak çözeltideki Al³⁺ iyonlarının katı AlCl₃ halinde çökmesi ve süzme işlemi sırasında atıktaki kalması sonucu meydana geldiği düşünülmektedir (Uysal, 2018; Aydemir, 2021).



Şekil 13. Al kazanımının asit derişimine bağlı değişimi (Liç işlemleri, kaynama sıcaklığında, 20 Ç/K oranında, 600 devir/dk karıştırma hızında ve 24 saat liç süresinde, HCl ile gerçekleştirilmiştir)

Sıcaklık artışı ile birlikte alüminyum kazanımının da arttığı ve en yüksek alüminyum kazanımı %91,37 ile kaynama sıcaklığında elde edildiği bulunmuştur (Şekil 14). Literatürde, çözelti kaynama sıcaklığında alüminyum kazanımının daha yüksek olduğunun bulunduğu çalışmalar da bulunmaktadır (Uysal, 2018; Aydoğmuş, 2019).



Şekil 14. Al kazanımının liç sıcaklığına bağlı değişimi (Liç işlemleri, 20 Ç/K oranında, 600 devir/dk karıştırma hızında ve 24 saat liç süresinde, 4M HCl ile gerçekleştirilmiştir)

Böylece pomzadan alümina üretimi çalışmalarında çeşitli bağımsız değişkenlerin alüminyum kazanımı üzerine etkisi ortaya çıkarılmıştır. %91,37 ile en yüksek alüminyum kazanımının elde edildiği liç koşulları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Asit liçi çalışmaları sonucunda en yüksek Al kazanımının elde edildiği liç koşulları

Liç Parametresi	Belirlenen Değer
Asit Türü	HCl
Aşırı Öğütme Süresi, dk	60
Liç Süresi, saat	24
Liç Sıcaklığı, °C	~108
Asit Derişimi, Molar	4
Çözelti/Katı Oranı (ml/g)	20
Karıştırma Hızı, devir/dk	600

2.4. AlCl₃ çöktürmesi ve Kavurma

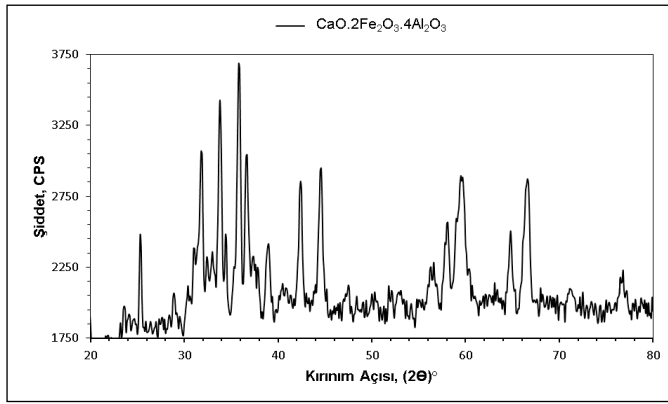
Liç çalışmaları sonucu en yüksek Al kazanımıyla üretilen yüklü liç çözeltisinin aşırı suyu ve asidi evaporasyon yoluyla uzaklaştırılmış; daha az sulu bir alüminyum klorür tuzu (AlCl₃.nH₂O) elde edilmiştir.

Evaporasyon işlemi ile elde edilen tuz 1200°C sıcaklıkta 3 saat kavrularak (Aydemir, 2021) klorür formundan oksit formuna bozuşturulmuş ve pomza alüminası üretilmiştir. Pomza alüminasının kimyasal içeriği Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Pomza alüminası kimyasal içeriği

Ana Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
%	0,27	62,87	17,54	4,85	11,82	0,09	1,72	0,48	0,31	0,01

Pomza alüminasının XRD analizi sonucu Şekil 15'te verilmiştir. XRD deseni incelendiğinde tüm piklerin 4Al₂O₃.CaO.2Fe₂O₃ mineralojik formülüyle gösterilen tek bir maddeye ait olduğu görülmüştür. Liç işlemi sırasında Al yanında Fe, Ca, Mg ve Ti'nin de çözeltiye geçmesi sonucu, pomza alüminasının Al₂O₃ tenörü düşük olmuştur. Bu safsızlıkların, yüklü liç çözeltisinin solvent ekstraksiyonla saflaştırılmasıyla giderilebileceği önerilmektedir (Aydemir, 2021).



Şekil 15. Pomza alüminası XRD deseni

Sonuçlar

Asidik kayaç karakterindeki bir pomza örneğinden asit liçle alümina kazanımı çalışmalarıyla elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kayseri Talas'ta işletilen bir ocaktan sağlanan ve Al₂O₃ tenörü %14,85 olan pomza genel olarak XRD- amorf bir yapıya sahip olmakla birlikte kristal halde albit, anortit ve psödobrokit içermektedir. Bu pomzanın su, HCl, H₂SO₄ ve HNO₃ gibi çözeltilerde liçle alüminyum kazanılamamıştır. İçerdiği minerallerin çözünürlüğünü ve alüminyum kazanımını artırmak üzere, pomza aşırı öğütülerek minerallerin mekanik olarak aktifleştirilmesi hedeflemiştir.

- Aşırı öğütme süresi arttıkça genelde amorf olan pomzada kristal halde tespit edilen albit ve anortit de amorflaşmakta, 60 dk öğütmeyle bu minerallerin pikleri neredeyse izlenemez duruma gelmektedir. 60 dk aşırı öğütülmüş pomzanın yine değişik asitlerle gerçekleştirilen liç çalışmalarına göre; 4 M HCl çözeltisinde, kaynama sıcaklığında 24 saat liç edilmiş pomza örneğinden %91,37 Al kazanımı sağlanmıştır. Liç sonunda yaklaşık %90 SiO₂ içerikli çözünmeyen bir katı geriye kalmakta; Al, Fe, Ti, Ca, Mg, Na ve K metallerinin %90'ından fazlası çözeltiye geçmektedir. Evaporasyonla yüklü liç çözeltisinden çöktürülen AlCl₃'ün 1200°C'de kav-

rulmasıyla %62,87 Al₂O₃ içerikli düşük saflıkta bir alümina elde edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada, Türkiye'de rezervi bol ve ocak üretim maliyeti düşük olan pomzadan mekanik aktifleştirme ve asit liçi yöntemiyle alümina üretilebileceği gösterilmiştir.

Teşekkür

Yazarlar; bu çalışmayı FYL-2020-1984 nolu proje kapsamında destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne; FAAS analizi konusunda destek olan Prof. Dr. Sema ERDEMOĞLU'na ve Dr. Hatice ÇAĞLAR YILMAZ'a teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Al-Ajeel, A.W. A., Al-Sindy, S. I. 2006. Alumina recovery from Iraqi kaolinitic clay by hydrochloric acid route, *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 2(1), 67-76.
- Aydemir, M.K. 2021. Pomzadan Alümina Üretiminin Hidrometalurjik Yöntemlerle Araştırılması. [Yüksek Lisans Tezi], [Malatya], İnönü Üniversitesi.
- Aydın, M.G. 2020. Pomza, Kuvarsit ve Diatomitten Üretilen Amorf Silikanın Sondaj Çamuruna Etkisi. [Yüksek Lisans Tezi], [Hatay], İskenderun Teknik Üniversitesi.
- Aydoğmuş, R. 2019. Zenginleştirilmiş Malatya-Pütürge Pirofillit Cevherinin Alümina Üretimi İçin Aktifleştirilmesi, [Yüksek Lisans Tezi], [Malatya], İnönü Üniversitesi.
- Baláz, P. 2008. Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering. Springer, p152.
- Bondin.S.M. 1979. Alumina and Other Products from Nepheline by Treatment with Sulfuric Acid, Otkrytiya, Izobret, Prom, Obratzsky, Tovamyne Znaki, 46, 223.
- Davraz, M., Gündüz, L. 1997. Isparta Yöresi Pomza Taşının Hafif Yapı Elemanı Olarak Değerlendirilmesi Üzerine Bir Analiz. 1. *Isparta Pomza Sempozyumu*, (s. 61-70).
- Elmastaş, N. 2012. Türkiye İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı). *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (23), 198-206.
- Erdemoğlu, M., Birinci, M., Uysal, T., Porgalı Tüzer, E., Barry, T. S. 2018a. Mechanical activation of pyrophyllite ore for aluminum extraction by acidic leaching. *Journal of Materials Science*, <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2606-8>
- Erdemoğlu M., Birinci M. ve Uysal T., 2018b. Kil minerallerinden alümina üretimi: güncel değerlendirmeler, *Politeknik Dergisi*, <https://doi.org/10.2339/Politeknik.386907>
- Erdemoğlu, M., Birinci, M., & Uysal, T. 2020. Thermal Behavior of Pyrophyllite Ore during Calcination for Thermal Activation for Aluminum Extraction by Acid Leaching. *Clays and Clay Minerals*, <https://doi.org/10.1007/s42860-019-00061-w>
- Eroğlu, G., Şahiner, M., 2020. Dünyada ve Türkiye'de Pomza, MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Ankara.
- Godočíková, E., Baláz, P., Takacs, L., Šepelák, V., Škorvánek, I., Gock, E. 2007. Sb/FeS nanocomposite prepared by mechanochemical reduction. *Kovove Materialy*, 45, 99-104.
- Karabay, D. 2006. Değişik oranlarda pomza, talk ve serpantin ilavelerinin fayans masse üzerine etkileri. [Yüksek Lisans Tezi], [Kütahya], Dumlupınar Üniversitesi.

- Kılınç Aksay, E., Akar, A., Cöcen, İ. 2016. Pomza Cevherinin Hazırlanması ve Zenginleştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, <https://doi.org/10.5578/fmbd.25240>
- MTA. 2021. Pomza, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza> [Erişim Tarihi: 21 Aralık 2021].
- Orhan, A., Dinçer, İ., Akın, M., Çoban, S. 2017. Nevşehir Pomza Endüstrisi'nin Genel Değerlendirilmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, <https://doi.org/10.17100/nevbittek.354629>
- Özçelik, M. 1985. Malatya güneydoğusundaki Maden magmatik kayaların jeolojisi ve tektonik ortamına jeokimyasal bir yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 28, 19-34.
- Özkan, Ş. G., Tuncer, G. 2001. Pomza madencilğine genel bir bakış. 4. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 18-19.
- Talsad. 2021. Dünya Alüminyum Sektörü, <http://talsad.org.tr/wp-content/uploads/files/dunya-aluminyum-sektoru-ve-turkiye-talsad-ulus08-2017.pdf> [Erişim Tarihi: 21 Aralık 2021].
- Umucu, Y. 2004. Isparta-Karakaya yöresi pomza yataklarının gravite ile zenginleştirme olanaklarının araştırılması ve tesis simülasyonu. [Yüksek Lisans Tezi], [Isparta], Süleyman Demirel Üniversitesi..
- Uysal, T. 2018. Asit Liç Yöntemi İle Pirofillit Cevherinden Alümina Üretiminde Aktifleştirme Koşullarının Araştırılması. [Doktora Tezi], [Malatya], İnönü Üniversitesi.
- Ünal, O., Demir, İ., Uygunoğlu, T. 2003. Pomza Ve Diatomitin Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. 3. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu* (s. 3-4). İstanbul: Maden Mühendisleri Odası.
- World Aluminum. 2021. Alumina Production, <https://www.world-aluminium.org/statistics/alumina-production/#data> [Erişim Tarihi: 21 Aralık 2021].



Original Research / Orijinal Araştırma

Sivas ili Kangal-Çartıl yöresi kromit cevherlerinin sarsıntılı masa zenginleştirme ürünlerinin çeşitli teknikler kullanılarak tane şekilleri açısından incelenmesi

investigation of shaking table products of chromite ore from Sivas Kangal-Çartıl region in terms of particle shapes by using various techniques

Uğur Ulusoy^{a,*}, Osman Nuri Atagün^{a,**}

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, TÜRKİYE

Geliş-Received: 21 Mart - March 2022 • Kabul - Accepted: 14 Eylül - September 2022

ÖZ

Bu çalışmanın amacı; Sivas ili Kangal yöresinde faaliyet gösteren Aksu Madencilik kromit zenginleştirme tesisindeki iri ve ince sarsıntılı masa zenginleştirme devrelerinden alınan temsili örneklere ait tanelerin şekillerinin hızlı ve güvenilir sonuçlar veren dinamik görüntü analizi (DGA) ile incelenmesi, taramalı elektron mikroskop (SEM) ve stereo-mikroskop analizleriyle karşılaştırılması ve masa ayırmasındaki etkisinin yorumlanmasıdır. Her bir ölçümde 10,000'den fazla tanenin sayıldığı en az 4 tutarlı ölçümün ortalamasına göre, konsantre ürünlerinin (%95 güven aralığında) besleme, ara ürün ve artık ürünlerine göre en yüksek dairesellik (C) değerine sahip, artık ürünlerinin ise en düşük C değerine sahip (en uzun) tanelerden oluştuğu bulunmuştur. Bu sonuç, farklı şekilde tanelerin masa yüzeyi üzerinde farklı hareketler yapmasına dayandırılmaktadır. DGA görüntüleri, SEM görüntüleri ve stereo-mikroskop görüntüleri DGA sonuçlarını desteklemektedir ve literatürde daha önce bildirilen çalışmalar ile uyumludur. Sonuçlar, aynı boyut aralığında sarsıntılı masa ayırmasında sadece tane yoğunluğunun değil aynı zamanda tane şeklinin de ayırmaya etkisi olduğunu göstermektedir. Bu çalışma kromitin gravite zenginleştirilmesi devrelerinde, sarsıntılı masalara beslemek için daha yuvarlak taneler üreten öğütme sistemlerinin tercih edilerek daha yüksek ayırma veriminin elde edilebilmesine ışık tutacaktır.

Keywords: Tane şekli, Yuvarlaklık, Dinamik görüntü analizi, Sarsıntılı Masa, Kromit zenginleştirme

A B S T R A C T

The purpose of this study is not only to examine the shapes of representative samples taken from coarse and fine shaking table concentration circuits in a chromite concentration plant (Aksu Group Mining Industry Co. Inc.) operating in the Kangal region of Sivas, with dynamic image analysis (DIA) that gives fast and reliable results, but also to compare their results with scanning electron microscope (SEM) and stereo-microscope analyzes and to interpret the effect of their shapes on table separation. Based on more than 4 successive measurements for each sample by counting more than 10,000 particles, concentrate products (at 95% confidence interval) have the highest Circularity (C) values compared to other products, whereas tailing products have the lowest C values (elongated particles) compared to other products. The difference in shape of products is attributed to different movements of the particles on the table surface. In addition, DGA images, SEM images and stereo-microscope images support the DGA results and are compatible with previous studies in the literature. The results show that not only particle density but also particle shape has an effect on the shaking table separation at the same size range. The results of this study will shed light on the fact that higher separation efficiency can be obtained by preferring grinding systems that produce more rounded grains for feeding into shaking tables in chromite gravity enrichment circuits.

Keywords: Particle shape, Circularity, Dynamic image analysis, Shaking table, Chromite concentration

Giriş

Yüksek korozyona ve yüksek sıcaklığa karşı eşsiz bir direnç özelliğine sahip olan krom, kimyasal, refrakter ve metalurji endüstrilerinde yüksek önem arz etmektedir, dolayısıyla düşük kar-

bon enerji teknolojileri ve düşük karbon üretiminde önemli bir hammadde olarak düşünülmektedir (Guertin vd., 2005). Krom 2020 yılına göre Avrupa'nın tedarik riski bulunan hammaddeler

* Sorumlu yazar / Corresponding author: uulusoy@cumhuriyet.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-2634-7964>

** osmannuri@atagun.com.tr • <https://orcid.org/0000-0003-0032-2889>

listesinde gösterilse de ABD Enerji Departmanı ve Avusturalya Yer Bilimleri Departmanı tarafından kritik hammadde olarak nitelendirilmektedir (European Commission, 2020; Fortier vd., 2018; Mudd vd., 2018). Bu sebepten (Guertin vd., 2005). kromitin dünyadaki üretimi ve rezervi 2010 yılından 2019'a kadar giderek artmıştır. Örneğin, 2018 yılında bu değerler sırasıyla 43.000.000 ve 570.000.000 ton civarındadır. Kromit mineralinin metalurji, kimya ve refrakter endüstrilerinde kullanılması ve yüksek tenörlü cevherlerin günümüzde giderek azalması yüzünden düşük tenörlü kromit cevherlerinin zenginleştirilmesi giderek önem kazanmıştır. Günümüzde düşük tenörlü kromit cevherleri spiral ve sarsıntılı masalar gibi verimliliği yüksek gravite ayırıcıları tarafından diğer zenginleştirme yöntemlerine göre ucuz ve daha çevre dostu olduğu için tercih edilmekte, %46 Cr₂O₃'den yüksek tenörlü konsantreler üretilmektedir.

Geçen çeyrek yüzyılda fiziksel ayırma yöntemleri kullanan deneysel çalışmalar, tane boyutu ve şekli ile adlandırılan tane geometrisi kavramının önemini göstermiştir (Pita ve Castilho, 2016; Pita ve Castilho, 2017; Phengsaart vd., 2018; Richard vd., 2017).

Gravite zenginleştirme kromit ve gang minerali arasındaki özgül ağırlık farklılığına dayanan bir fiziksel ayırma yöntemidir ve su ortamında gravite kuvvetiyle farklı karışımda boyut, şekil ve yoğunluğa sahip tanelerin ayırımında kullanılır (Singh vd., 2014; Brits, 1991; Das, 2009). Bir başka ifadeyle gravite prosesi esasen taneleri yoğunluğa göre ayırdığı kadar, boyut ve şekle göre de ayırmaktadır (Aplan, 2003). Ayırma tanelerin büyük oranda hidrolik deplasmanına bağlı olduğu için onların şekilleri de davranışlarını etkilemektedir (Pryor, 1965).

Tane geometrisinin, gravite ayırıcılarından olan jiglerin (Pita ve Castilho, 2016; Phengsaart vd., 2018; Ahmed, 2011; Cierpisz vd., 2016; Kawatra ve Carao, 2013) optimizasyonunda, elektrostatik ayırmada (Richard vd., 2017) ve plastiklerin flotasyon ile ayırımında (Pita ve Castilho, 2017) önemli bir değişken olduğu çeşitli çalışmalar tarafından bildirilmiştir. Örneğin, jigle ayırmada, düşük yoğunluklu yüzen plastik tanelerinin düz ve yassı şekilli olduklarında ve batan yüksek yoğunluklu plastik tanelerin ise küresel şekilli olduklarında daha iyi performans verdikleri bildirilmiştir (Pita ve Castilho, 2016).

Sarsıntılı masa ayırmasında masanın asimetrik hareketi taneleri masanın uzun kenarı boyunca taneleri yoğunluk, boyut ve şekline göre ayırmaktadır (Sivamohan, 1985). Bir başka ifadeyle, karışık bir tane grubu içinde çeşitli boyut, şekil ve yoğunlukta taneler akan film zenginleştirmesinde engelli çökmeyle ayrılır (Richards ve Locke, 1940; Aplan, 2003). Gupta ve Yan (2006)'ın bildirdiğine göre, tane boyutu, katı özgül ağırlığı, su akış hızı, besleme hızı, eşik dizaynı, genlik, eğim, masa şekli gibi özelliklerin yanında tanelerin şekli de sarsıntılı masa prosesini etkileyen parametrelerden birisidir. Özellikle yassı taneler daha az yuvarlanma eğilimine sahiptirler ve ayırımı karmaşık hale getirirler. Verilen tipte bir cevherin gravite konsantrasyonunun uygulanabilirliği için yaygın olarak kullanılan konsantrasyon kriterinin sadece tanelerin ve ortamın yoğunlukları ile ilgili olduğu bilinmesine rağmen, aslında tane iriliği azaldıkça aynı konsantrasyon kriterinde gravite prosesinin zorluk derecesi azalmaktadır (Sebastien vd., 2012; Maharaj vd., 2012). Ayrıca ortam içinde hareket eden tanelerin hızları ortamdaki farklı direnç kuvvetlerine maruz kalan farklı şekildeki tanelerle de değişmektedir (Ofori-Sarpong ve Amankwah, 2011).

Minerallerin tane şekli kullanılan kırıcı ve değirmenlere bağlı olduğundan, bazı araştırmacılar istenilen mineral tane şeklinin seçilecek uygun öğütme sistemi ile elde edilebileceğini ileri

sürmüşlerdir. Örneğin, Hiçyılmaz vd., (2006) çubuklu değirmende öğütülmüş kuvars tanelerinin, bilyalı ve otojen değirmende öğütülmüş tanelere göre daha yüksek uzunluk oranına sahip olduğunu bildirmiştir. Benzer olarak bilyalı öğütülmüş manyetit ürünlerinin çubuklu öğütülmüş ürünlere kıyasla daha çok sayıda uzun tane içerdiği bildirilmiştir (Dehghani vd., 2012). Little vd., (2017) Güney Afrika platinyum grubu cevheri diye bilinen UG2 cevheri için bilyalı değirmenin karıştırmalı değirmene kıyasla daha çok köşeli ve uzun taneler ürettiğini bildirmiştir. Ofori-Sarpong ve Amankwah (2011) çalışmalarında çekiçli, diskli ve titreşimli pülverizatör değirmenlerin sırasıyla küresel, puro şekilli ve pulsu taneler ürettiğini, bilyalı değirmenin ise pulsu ve düzensiz şekilli tanelerin bir karışımını ürettiğini bildirmiştir. Çekiçli, diskli, bilyalı ve titreşimli değirmenler ile hazırlanan malzemeler için sırasıyla 28,3; 24,0; 23,6 ve 21,7 zenginleştirme oranları elde edilmiştir. Bu nedenle, numuneler gravite zenginleştirme (Knelson konsantratörü) için hazırlanırken, daha çok yuvarlak taneleri serbest bırakma potansiyeline sahip bir değirmenin kullanılmasının avantaj yaratacağı bildirilmektedir.

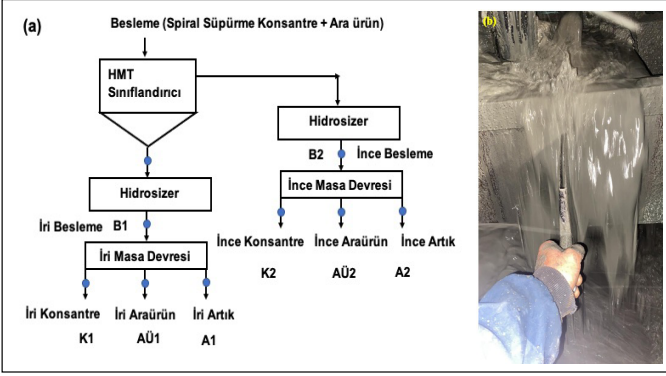
Yukarıda da anlatıldığı gibi minerallerin tane geometrisinin sarsıntılı masa ayırma performansı için önemli olmasına rağmen tane şekli ile sarsıntılı masa arasındaki ilişkiyi inceleyen çok az çalışma bulunmaktadır. Kademli ve Gülsoy (2012), mikanın feldspattan laminer (tabakamsı, yassı) şekilde olması yüzünden ayrılabilirliğini vurgulayan çalışmada, -212+75 mikron boyutunda pulsu şekilli mika sarsıntılı masa kullanılarak feldspat mineralinden yüksek verimlilik ile ayrılabilirdiğini sonucunu bulmuşlardır. Benzer olarak Zhao vd., (2013) vanadyum içeren minerallerin sarsıntılı masayla gravite ayırımında şekil faktörünün de etkili olduğunu bildirmiştir. Her ne kadar laboratuvar ve pilot ölçekte sarsıntılı masa ile cevher zenginleştiren pek çok optimizasyon çalışması yapılmışsa da bir kromit zenginleştirme tesisinin sarsıntılı masa akışlarındaki tanelerin dinamik görüntü analizi (DGA) ile incelenmesi literatürde eksiktir.

Tanelerin şeklinin proseteki davranışlarına etkisinin önemli iyi bilindiğinden bu çalışmanın amacı, endüstriyel bir kromit zenginleştirme tesisinin gravite zenginleştirme devresi ürünlerinin tane şekillerini sayısal olarak, son yıllarda doğru ve hızlı ölçüm yapan DGA ile karakterize etmek, sonuçları dairesellik (C) parametresi ile ifade etmek, ölçüm sonuçlarının birbirinden farklılığını istatistiksel olarak test etmek, DGA sonuçlarını, SEM ve stereo-mikroskop analizi ile karşılaştırılmak, konsantrasyon ve artık ürünlerinde hangi şekilde tanelerin dominant olduğunu ortaya çıkarmak, masa yüzeyi üzerinde değişik şekilde tanelerin nasıl hareket ettiğini ve son olarak, daha yüksek ayırma performansı için hangi şekilde tanelerin masaya beslenmesi gerektiğini ortaya koymaktır.

1. Malzeme ve yöntem

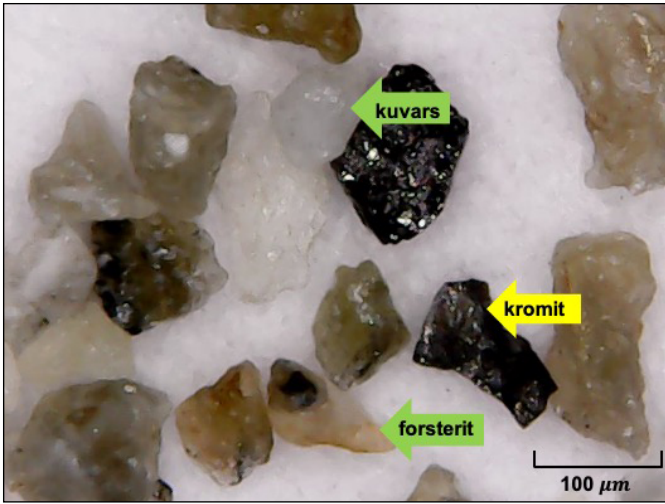
1.1. Örnek alma

Bu çalışma için Kangal-Çartlı yöresinde düşük tenörlü kromit cevherini gravite ayırma yöntemi ile zenginleştiren Aksu Madencilik kromit zenginleştirme tesisinden Şekil 1a' da gösterilen noktalardan, özel tasarlanmış dikdörtgen kesitli örnekleme aparatı (Şekil 1b) kullanılarak temsili örnekler toplanmıştır. 16 saat boyunca 30 dakika aralıklarla aynı miktarda alınan örnekler alüminyum tepsiye propan ocak ve fırın kullanılarak kurutulduktan sonra konileme-dörtleme yöntemi ile azaltılmıştır. Kimyasal analiz için ayrılan örnekler ve diğer örnekler etiketlenerek ayrı ayrı paketlenmiştir.



Şekil 1. (a) Sarsıntılı masa devre akışlarından alınan örnek noktaları, (b) Dikdörtgen kesitli örnek alma aparatı ile örnek alma

Sarsıntılı masa devrelerine beslenen kromit cevherinin mineralojik kompozisyonu Çizelge 1'de gösterildiği gibi birincil mineral olarak forsterit, brusit ve kromit içermektedir. Kuvars ve kalsit mineralleri de ikincil mineral olarak yer almaktadır. Tesise ait kromit cevherinin serbestleşme boyutu $-400 \mu\text{m}$ olduğu için, minerallerin stereo-mikroskop görüntülerini gösteren Şekil 2' den açıkça anlaşılacağı gibi masa beslemesine ait örneklerde bulunan tanelerin çoğu serbestleşmiş haldedir. Dolayısıyla tane şeklinin sarsıntılı masa devresi ile zenginleşmesine etkisinin incelenmesi için uygundur. Şekil 2'de siyah renkli taneler kromit mineralini, beyaz (kuvars), gri (kalsit), sarı (brusit), açık kahverengi (forsterit) vs. renkler de gang minerallerini temsil etmektedir. Kromit, forsterit, brusit, kalsit ve kuvars minerallerinin yoğunlukları sırasıyla 4,80; 3,27; 2,40; 2,65 ve 2,65 gr/cm^3 'dür.



Şekil 2. Sarsıntılı masalara besleme örneğinde bulunan minerallerin stereo-mikroskop altında görünüşü

Çizelge 1. Tüvenan kromit cevherinin mineralojik analiz sonuçları

Mineral	Kromit	Forsterit	Brusit	Kalsit	Kuvars
Formül	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	CaCO_3	SiO_2
Ağırlıkça % dağ.	5,249	86,464	5,477	1,239	0,205
Renk	siyah	yeşil, sarı, beyaz	beyaz, sarı, grimsi	beyaz, grimsi	beyaz, grimsi
Görünüm	metalik	transparan	transparan	Transparan, opak	Transparan, opak
Kristal sistem	izometrik	ortorombik	Trigonal-hegzagonal	hegzagonal	hegzagonal
Özgül ağırlık	4,80	3,27	2,40	2,65	2,65

İncelenen tesiste düşük tenörlü kromit cevheri öncelikle biliyalı değirmende 15 mm 'den 2 mm 'ye indirilmektedir. Daha sonra kaba ve süpürme devrelerinde ön zenginleştirme öncesi 5 katlı titreşimli elek ($-400 \mu\text{m}$) ve hidrosiklon ($-400+75 \mu\text{m}$) kullanılmıştır. Son olarak, $-400+75 \mu\text{m}$ boyut fraksiyonları spirallerde sınıflandırıldıktan sonra iri ($-400+75 \mu\text{m}$) ve ince ($-212+75 \mu\text{m}$) masalara besleme hazırlamak için HMT sizer (Crossflow) ve hidrosizer ekipmanları kullanılmıştır. Çizelge 2 bu çalışmada kullanılan sarsıntılı masaların özelliklerini ve işletme koşullarını özetlemektedir.

Çizelge 2. Kromit zenginleştirme tesisindeki sarsıntılı masaların çalışma şartları

Parametreler	İri Masa (Wilfley tipi)	İnce Masa (Wilfley tipi)
Uzunluk x genişlik x yükseklik (m)	L6,8 x W2,4 x H3,2	L6,8 x W2,4 x H3,2
Zenginleştirme Alanı (m^2)	8	8
Tane Boyu (μm)	- 400 + 75	- 212 + 75
Genlik (mm)	15 - 20	10 - 15
Yıkama Suyu (m^3/saat)	1,5 - 2	1,5 - 2
Besleme Miktarı (kg/ saat)	2,200	3,300
Eğim ($^\circ$)	3	3
Hız (dev/dak.)	290 - 310	300 -

Bu çalışmanın incelendiği tesiste tanelerin sınıflandırılmasında kullanılan HMTsizer ve Hidrosizer ekipmanlarının keskin bir ayırım gerçekleştirememesi yüzünden besleme alt boyutu $75 \mu\text{m}$ kadar inebilmektedir. Bu yüzden iri masa besleme tane boyutu $-400+75 \mu\text{m}$ olarak revize edilmiştir. Her ne kadar makalede DGA cihazının $250 \mu\text{m}$ mikrondan küçük tanelerde başarılı olduğu ifade edilse de önceki çalışmalarımızdan elde ettiğimiz tecrübelerle dayanarak ölçümlerde en iyi analiz boyutunun $-180+125 \mu\text{m}$ boyut fraksiyonu olması ve her iki masaya uygun olması nedeniyle $-180+125 \mu\text{m}$ mikron boyut fraksiyonunun kullanılması kararlaştırılmış ve bu boyutta örnekler hazırlamak için eleme yapılmıştır.

Bu çalışmada sarsıntılı masa akışlarına ait numunelerin tane şekillerinin zenginleşmeye etkisinin incelenmesi için alınan örnekler laboratuvarında kuru eleme (Endecotts elek makinasında, 40 genlik ve sürekli frekansta, 10 dakikada) işlemi ile $-180+125 \mu\text{m}$ boyutunda hazırlandıktan sonra Şekil 3' de görülen dönen otomatik örnekleyici (Quantachrome® Instruments) cihazı kullanarak $-250 \mu\text{m}$ 'dan küçük tanelerin şekillerini başarıyla görüntüleyen DGA cihazında kullanmak üzere daha az miktarlarda temsili örnekler alınmıştır. Çizelge 3' de gösterildiği üzere otomatik döner

örnekleyici diğer örnek alma teknikleri içinde güvenilirliği en yüksek yöntemdir.

Çizelge 3. Örnekleme metodlarının güvenilirliği (Allen, 1990)

Örnekleme Tekniği	STS
Konileme-dörtleme	6,81
Kaşıkla (Scoop sampling) örnekleme	5,14
Masa örnekleyici	2,09
Oluklu örnekleyici	1,01
Dönen (spinning riffing) örnekleyici	0,146



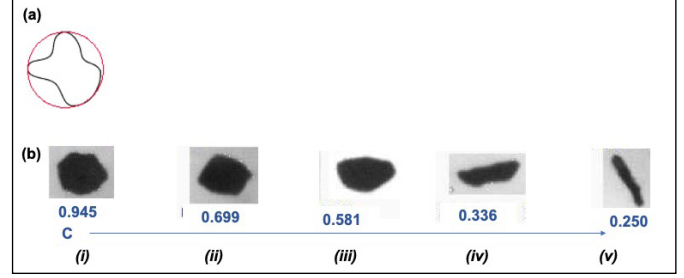
Şekil 3. Dönen otomatik mikro örnek bölücü (Quantachrome, 2021)

1.2. DGA ile Tane Şekli Karakterizasyonu

Dairesellik (Circularity: C), DGA cihazının dayandığı tane karakterizasyon modellerinden "Daire" modeline göre hesaplanan (yuvarlaklığın ya da küreselliğin bir ölçüsü) bir şekil parametresidir ve Şekil 4a' da görüldüğü gibi bir tanenin etrafını saran dairenin alanı olarak düşünülebilir. Eşitlik 1'den anlaşılacağı gibi alan ve çevreleyen daire çapından hesaplanan bir parametredir. C değeri, 0 ile 1 arasında değişen fraksiyonel bir ölçüdür, iğnemsiz taneler için 0'a yaklaşıırken, mükemmel bir daire için 1'e eşittir. Şekil 4b bu çalışmada kullanılan farklı şekildeki kromit tanelerinin alabileceği farklı C değerlerini göstermektedir. Açıkça görüldüğü gibi tanenin şekli yuvarlağa yakinken C parametresi 1 değerine yaklaşmakta, küreselden saptıkça yani uzunlaştıkça 0 değerine doğru azalmaktadır.

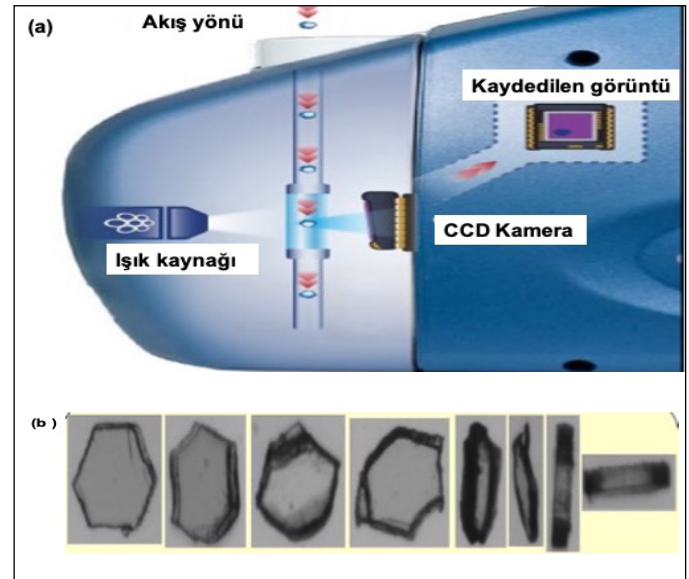
$$C = \frac{4A}{\pi D_{BC}^2} \quad (1)$$

Burada, A: alan, μm^2 , D_{BC} : çevreleyen daire çapı, μm , C: dairesellik, birimsiz,



Şekil 4. (a) Daire modeli (Vision Analytical, 2021), (b) DGA ölçümünde farklı tanelerin yuvarlaklık derecelerine göre C değerinin değişimi

DGA ölçümünde, taneler bir sıvı içinde homojen olarak süspansiyon edilmiştir. Taşıyıcı sıvı ile birlikte taneler ince bir akış hücresi içinden optik bir yoldan geçmektedir. Tanelerin gölgesinin yüksek-çözünürlüklü CCD kamera sensörü üzerine yansıtıldığı akış hücresi boyunca bir ışık kaynağı tarafından aydınlatılmaktadır. Akıştan 2 boyutlu görüntüler yakalanmakta ve kamera görüntüleri ana bilgisayara gönderilerek analiz edilmektedir. Taşıyıcı sıvıdaki tanelerin dispersiyonu ve süspansiyonu taşıyıcı sıvının yeniden sirkülasyonu ile sağlanmaktadır (Vision Analytical, 2021). Şekil 5a, devridaim yapan sıvı sistemi örnek hücrelerinden askıdaki taneleri taşıyarak bir CCD kameranın örneğin görüntüsünü alarak dijital bir görüntüye çevrilmesini ve nihai analiz için bilginin yazılıma gönderilmesini göstermektedir. Çalışma sonunda toplanan tane istatistikleri görüntüleme, yazdırma veya Excel formatına dönüştürülmektedir. İri ve ince sarsıntılı akışlarından alınan örneklerden otomatik örnekleyici kullanarak birkaç gr temsili numune alındıktan sonra, DGA cihazıyla şekil analizi için kullanılan numune kabında saf su ilave edilerek 5 dakika ultrasonik banyoda bekletilerek iyice disperse edilmiş ve nihayetinde damlalıklarla birkaç damla cihazın örnek besleme girişine ilave edilerek ölçüm yapılmıştır. Yüksek güvenilirlikte sonuç almak için en az 10 000 adet tane sayılmış ve istatistiksel sonuçlar görüntülerle birlikte toplandıktan sonra kaydedilmiştir. DGA genellikle temsili örnekler ve istatistiklerin yakalanması için rastgele oryantasyonu özelliğini kullanmaktadır (Şekil 5b). Şekil 5b' de tanenin rastgele görünümünü görmek için aynı tane döndürülmektedir. Kontrol edilmiş oryantasyon cihazı tanenin kritik bilgisini vermesi için bu görüntülerden sadece birini görmektedir.



Şekil 5. DGA cihazının çalışma mekanizması (a) görüntüleme prensibi ve (b) rastgele oryantasyon özelliği (Vision Analytical, 2021).

1.3. SEM Analizi

DGA için kullanılan aynı temsili örneklere ait taneler (iri ve ince masa devrelerindeki akışlardan alınan) taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmiştir. Alınan temsili örnekler toz halinde karbon bant üzerine düzenli olarak dağıtılarak numune tablasına (stub) yerleştirilip, vakum ile cihaza gönderildikten sonra geri saçınımlı elektron dedektörü ile 250 kat büyütme yapılarak görüntüler kaydedilmiştir. Bu analizde kullanılan SEM cihazı Tescan MIRA3 XMU model (Tescan Orsay Holding A.S., Çek Cumhuriyeti) olup 20 kv seviyesinde çalıştırılmıştır. Şekil 6' da ince masa konsantresine ait bir örneğin sırasıyla spektrumu ve element haritası verilmektedir. Görüldüğü gibi masa beslemesine ait tanelerin Bölüm 1.1'de numuneye ait özelliklerde anlatıldığı gibi kromit, forsterit, brusit ve hematit minerallerinden ibaret olduğu için, ince masa konsantresi O, Mg, Al, Si, Cr, Fe elementlerini içermektedir.

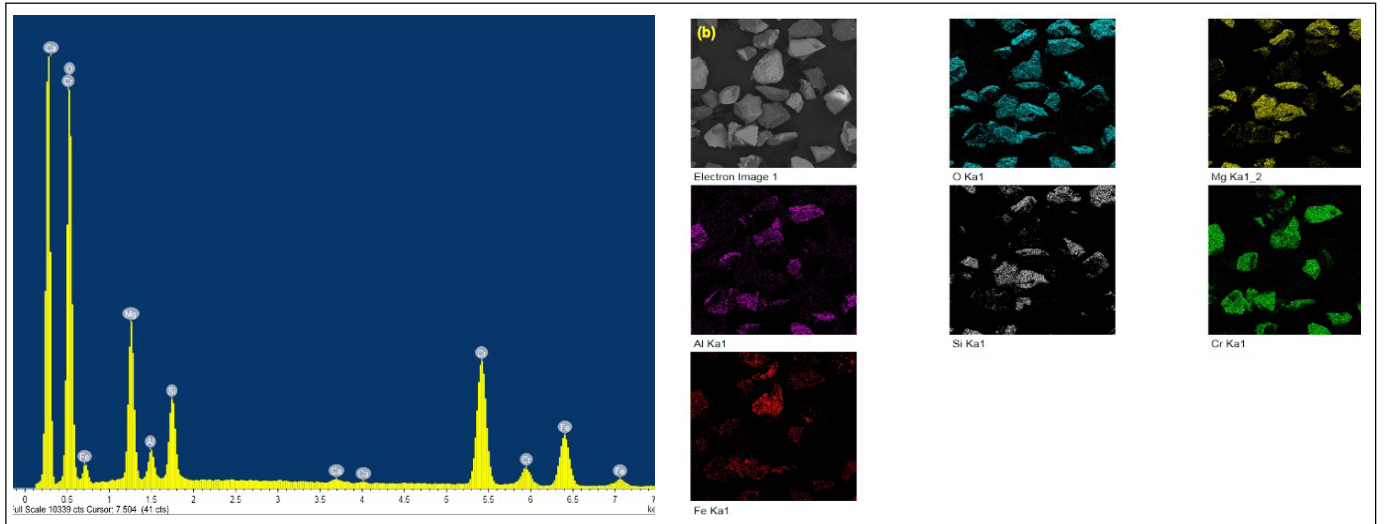
1.4. Stereo Mikroskop Analizi

DGA için kullanılan aynı temsili örneklere ait taneler (iri ve ince masa devrelerindeki akışlardan alınan) hem DGA hem de SEM analizi sonuçları ile karşılaştırmak için mineral tanelerinin renk farklılıklarını da yorumlayabilmeye imkân tanıyan stereo mikroskop (BOECO BM-1) altında da incelenmiştir.

2. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

2.1. DGA Sonuçları

Dinamik görüntü analizi ile iri ve ince masa akışlarından alınan örneklerin tane şekilleri dairesellik C parametresi cinsinden her bir ölçüm için en az 10 000 adet sayılarak ve en az 4 tutarlı ölçüm yapılarak aşağıdaki Çizelge 4 de özetlenmiştir. Çizelge 4'den açıkça görüldüğü gibi iri ve ince masa akışlarına ait taneler aynı C değerlerine sahip değildir. Şekil 7' de görüldüğü gibi örnekler ortalama C değerlerine göre karşılaştırıldığında hem iri hem de ince masa akışı için de " $K_{ort} > AÜ_{ort} > B_{ort} > A_{ort}$ " şeklinde ortak bir trend bulunmuştur. Bir başka ifadeyle, en yüksek C değerleri konsantre ürünlerinde en düşük C değerleri ise artık ürünlerinde görülmüştür. Şekil 8 bu sonucu desteklemektedir. Hem iri hem de ince masa akışlarındaki konsantre ve artık ürünlerine ait tanelerin şekilsel olarak birbirinden farklı olduğu açık bir şekilde fark edilmektedir. DGA sonuçları konsantreye ait tanelerin artığa ait tanelerden daha yuvarlak olduğu, bir başka ifadeyle artığa ait tanelerin konsantreye ait tanelere göre daha uzun olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar aynı numunelerin tane uzunluğunun göstergesi olan aspekt oranı (BRAR) değerleriyle uyumludur (Ulusoy ve Atagün, 2022).

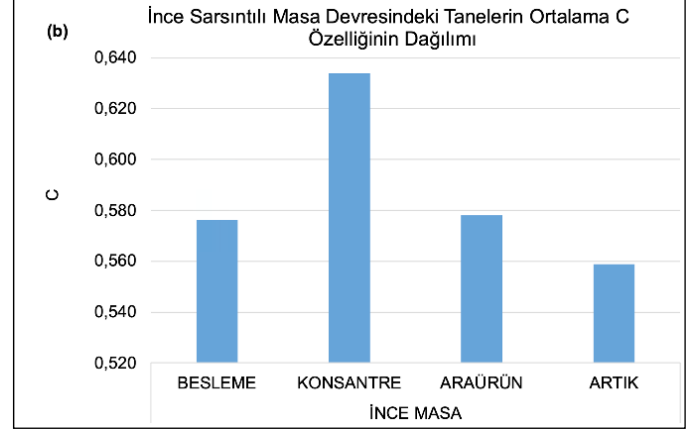
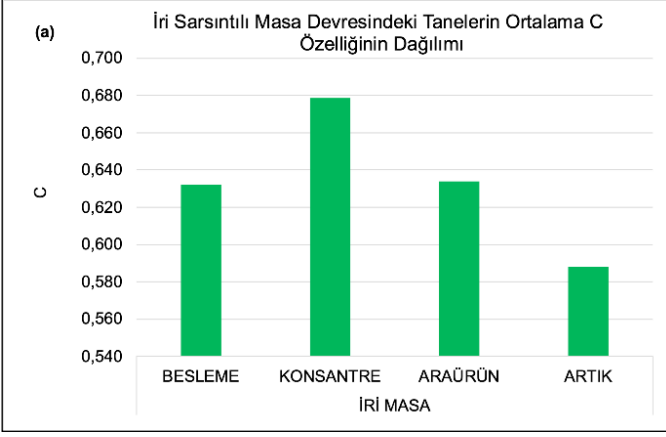


Şekil 6. (a) İnce masa konsantresinin SEM spektrumu, (b) İnce masa konsantresinin SEM ile belirlenen element dağılımı

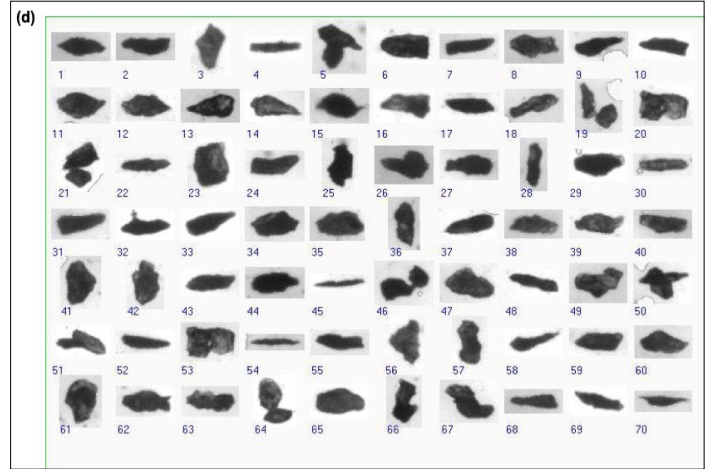
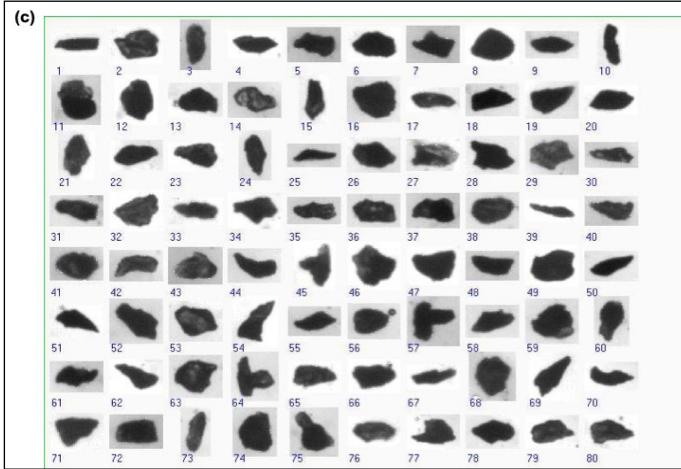
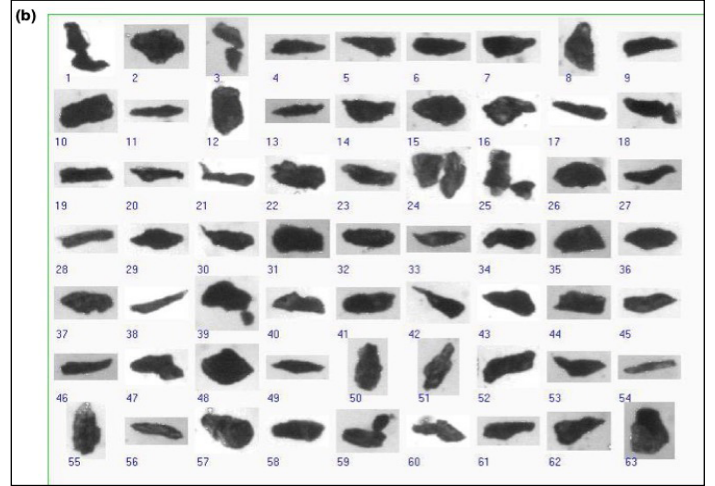
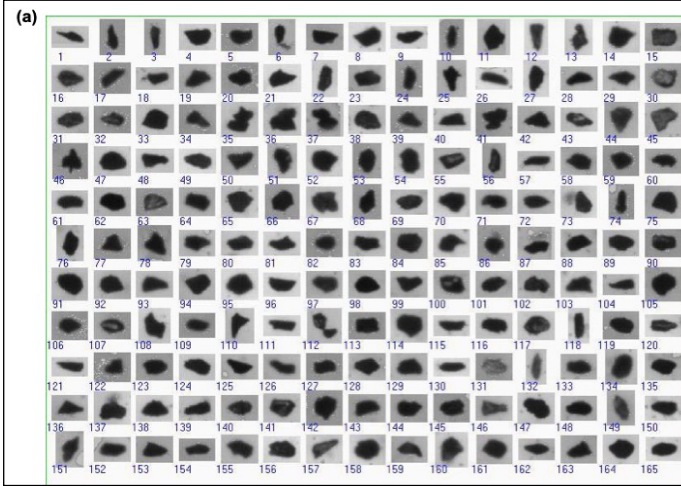
Çizelge 4. İri ve ince masa akışlarına ait tanelerin ölçülmüş C sonuçları

Masa	Örnek Adı	C*			
		1. Ölçüm (st. sap.)	2. Ölçüm (st. sap.)	3. Ölçüm (st. sap.)	4. Ölçüm (st. sap.)
İri	Besleme (B1)	0,577 (0,145)	0,678 (0,196)	0,630 (0,174)	0,644 (0,180)
	Konsantre (K1)	0,662 (0,175)	0,668 (0,179)	0,684 (0,181)	0,701 (0,189)
	Ara Ürün (AÜ1)	0,613 (0,168)	0,626 (0,175)	0,649 (0,198)	0,648 (0,184)
	Artık (A1)	0,571 (0,152)	0,582 (0,151)	0,606 (0,174)	0,594 (0,161)
İnce	Besleme (B2)	0,579 (0,165)	0,584 (0,156)	0,566 (0,155)	0,576 (0,154)
	Konsantre (K2)	0,627 (0,160)	0,640 (0,159)	0,635 (0,167)	0,634 (0,166)
	Ara Ürün (AÜ2)	0,580 (0,151)	0,584 (0,156)	0,570 (0,150)	0,578 (0,151)
	Artık (A2)	0,544 (0,160)	0,570 (0,152)	0,562 (0,158)	0,559 (0,157)

* DGA tekniği ile her bir ölçüm için en az 10 000 tane sayılmıştır.



Şekil 7. (a) İri ve (b) ince sarsıntılı masa akışlarından alınan örneklere ait tanelerin DGA ile ölçülmüş C değerlerinin kıyaslanması



Şekil 8. İri ve ince masa ürünlerine ait DGA görüntüleri, (a) İri masa konsantre (b) İri masa artık, (c) İnce masa konsantre (d) İnce masa artık

2.2. DGA Sonuçlarının İstatistiksel Değerlendirilmesi

ANOVA (varyans analizi) iki veya daha çok gruba ait verilerin arasındaki anlamlı farklılığı test eden ve varyanslarını kıyaslamak için kullanılan bir istatistiksel tekniktir. Tek yönlü ANOVA tekniği genellikle test edilen popülasyonların ortalamalarının eşit olduğu H_0 hipotezi ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$) veya eşit olmadığı H_1 hipotezini (H_1 : ortalamaların en az 1 tanesi farklı) ispatlamak için kullanılmaktadır. Hem iri hem de ince masa akışları için DGA tekniği ile ölçülen C değerlerinin farklılığını ya da aynı olup olmadığını test etmek için gerçekleştirilen ANOVA tekniği IBM® SPSS® Statistics Version 26 programı kullanılarak uygulanmıştır. 1. ölçüm sonuçlarına göre

ince masa akışlarındaki tanelerinin ortalama C parametresinin ANOVA test sonuçları (Çizelge 5) özetlenmiştir. Çizelge 5’ de (kırmızı renkle çerçevesiz) .000 olarak bulunan “Anlamlılık” değeri ($\alpha=0,05$ yani %95 güven aralığında) değerinden küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ve “gruplar arasında anlamlı farklar bulunmaktadır, $F(3, 27578) = 226.015, p = .000$ ” şeklinde raporlanır. Dolayısıyla uygulanan ANOVA testlerinde bu gruplar arasında anlamlı bir farkın olduğunu gösterir. Bir başka ifadeyle hem iri hem de ince masa akışlarında besleme, konsantre, ara ürün ve artık için ölçülen C değerleri birbirinin aynısı değildir. Diğer ölçümlerde Çizelge 5’de örnek olarak verilen sonuçlarla uyumludur.

Çizelge 5. 1. İnce masaya ait akışların 1. ölçümle belirlenmiş ortalama C değerlerinin ANOVA testi sonucu (alfa=0,05)

Varyansların Homojenlik Testi		Levene İstatistiği	df1	df2	Anlamlılık*
Ortalamalara göre		35,998	3	27578	,000
Medyanlara göre		36,310	3	27578	,000
Medyan ve df değerlerine göre		36,310	3	27504,969	,000
ANOVA C	Karelerin toplamı	df	Ortalama kareler	F	Anlamlılık**
Gruplar arasında	17,781	3	5,927	226,015	,000
Gruplar içinde	723,210	27578	,026		
Toplam	740,991	27581			

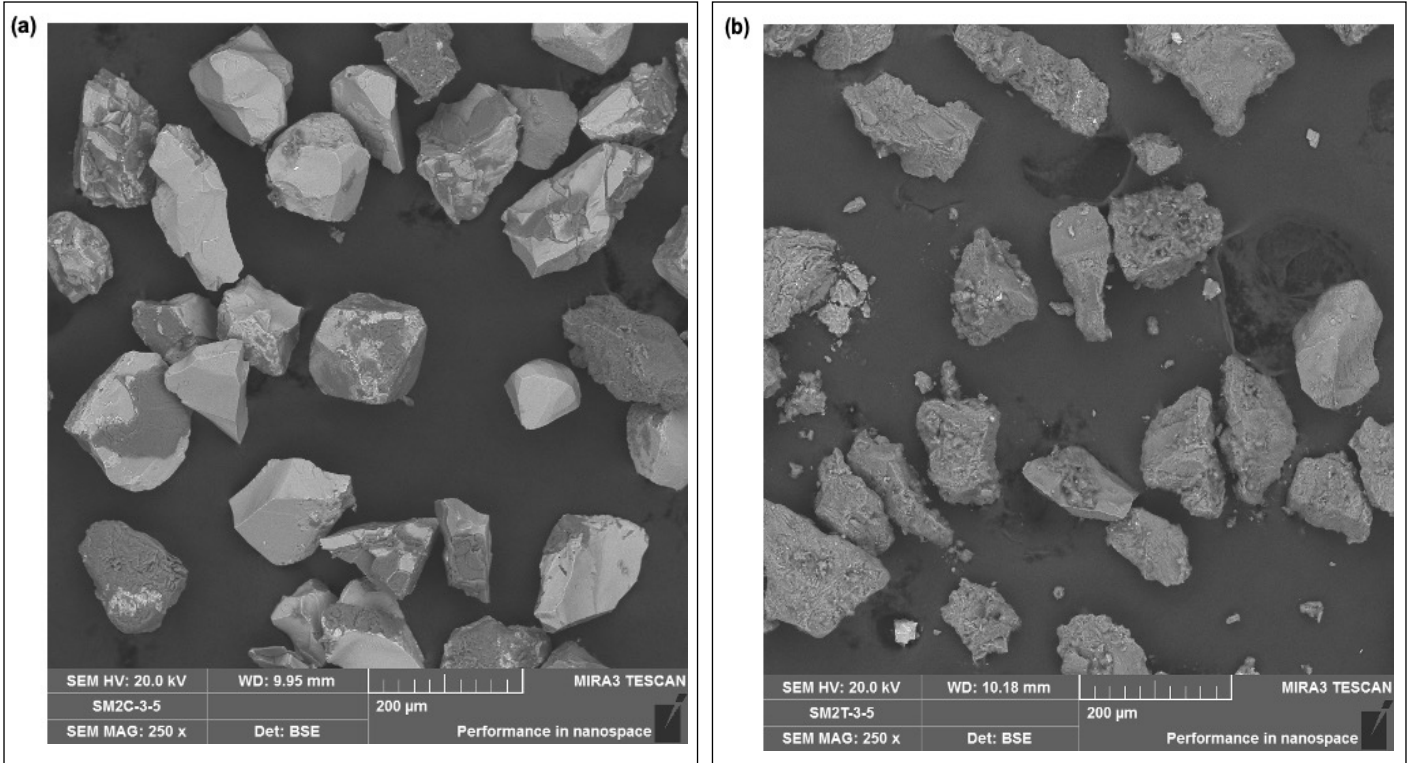
* Varyansların homojenlik testi anlamlıdır

** Gruplar arasındaki farkın anlamlı olduğunu gösteren p-değeri

2.3. SEM sonuçları

DGA için kullanılan iri ve ince masa devrelerindeki akışlardan alınan aynı temsili örnekler için elde edilen sonuçların SEM ile bakıldığında da desteklendiği görülmüştür (Şekil 9). Bir başka ifadeyle, artık ürünlerine ait tanelerin genellikle konsantre ürünlerindeki tanelere kıyasla daha uzun olduğu bulunmuştur.

yuvarlağa yakın şekilde ve daha çok kromit taneleri görülmüştür (Şekil 10a). Artık ürününe (Şekil 10b) ait tanelerin içinde çok az oranda küçük kromit taneleri gözlenmiş, fakat şekilsel olarak değerlendirildiğinde daha çok ince, uzun, çubuğumsu şekilli tanelerden ibaret olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan ara üründe bulunan tanelerin konsantre ürünündeki taneler kadar yuvarlak

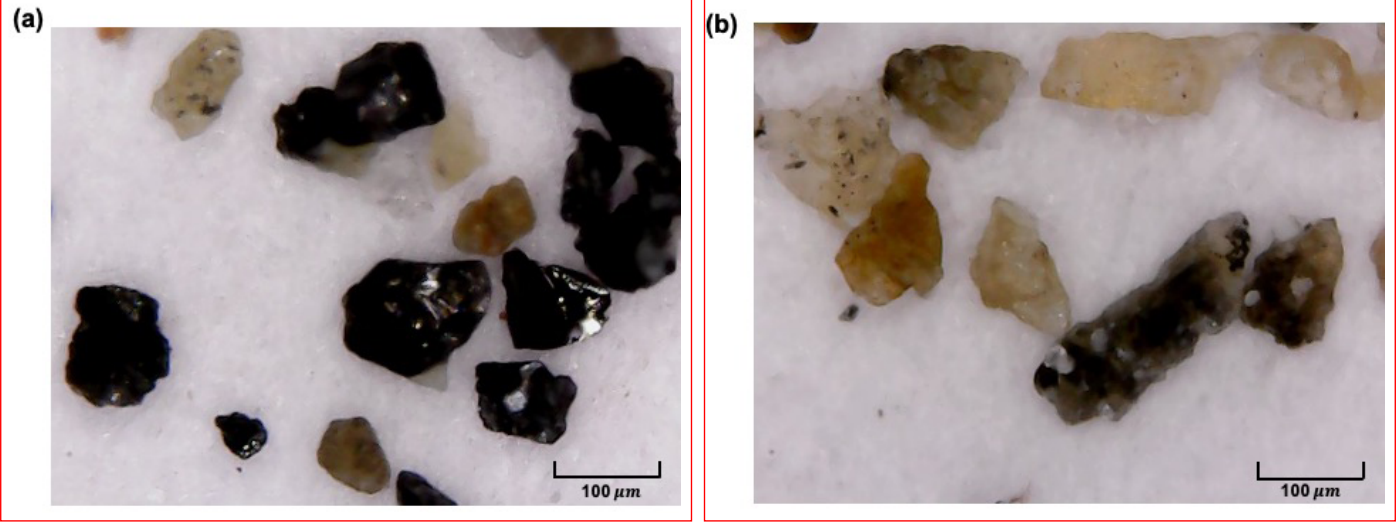


Şekil 9. SEM görüntülerinin kıyaslanması (a) İri masa konsantre ve (b) artık ürünlerine ait taneler (x250).

2.4. Stereo-mikroskop analizi sonuçları

DGA için kullanılan iri ve ince masa devrelerindeki akışlardan alınan aynı temsili örnekler için elde edilen sonuçların farklı renk ve şekilde taneleri görebilmemize imkân tanıyan stereo-mikroskop analizi ile de desteklendiği bulunmuştur. Genel olarak az oranda kromit tanesi içeren besleme ürününde değişik şekilli taneler gözlemlenirken, konsantre ürününde

şekilli olmadıkları ve de artık ürünündeki taneler gibi uzun olmadıkları görülmüştür. Ayrıca bağlı tanelerde görülmektedir. Bu sonuç sarsıntılı masa yüzeyi üzerindeki ayırma sadece tanelerin yoğunluğu ve boyutunun değil şekillerinin de etkili olduğunu göstermektedir.

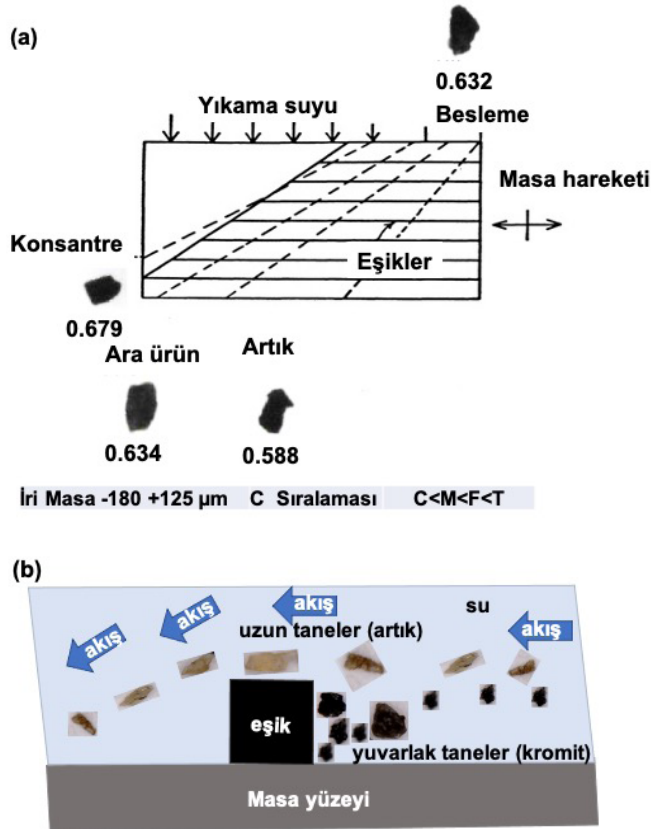


Şekil 10. Stereo-mikroskop görüntülerinin kıyaslanması (a) İri masada zenginleştirilen konsantre ve (b) İri masada zenginleştirilen artık (x40).

2.5. Masa yüzeyi üzerinde çeşitli şekilde tanelerin hareketi

Farklı şekildeki tanelerin masa yüzeyinde ince su filmi içerisinde farklı karşı koyma kuvvetlerine (drag forces) maruz kalmaları sarsıntılı masa ayırmasında akan su içinde çeşitli hızlardaki tanelerin farklı hareketlerine sebep olmaktadır (Ofori-Sarpong ve Amankwah, 2011). Bir sarsıntılı masa zenginleştirme prosesinde tanelerin şekillerinin, boyut ve yoğunlukları kadar etkin bir parametre olduğu iyi bilindiğinden, karışık özellikteki besleme tanelerinin yıkama suyu ve eşik etkisi ile hangi yolu izleyerek, hangi ürünlere doğru hareket ettikleri şematik olarak Şekil 11a'da gösterilmiştir.

Bu çalışmada incelenen kromit zenginleştirme tesisine ait iri ve ince masa akışlarından alınan besleme, konsantre, ara ürün ve artık tanelerinin farklı boyut ve yoğunlukta olmalarının yanında farklı şekillere de sahip olduklarının tespit edilmesi Şekil 11b'de masa yüzeyinde bulunan eşiklerde gerçekleşen engelli çöküş sınıflandırmasına göre açıklanmıştır. Masaya beslenen ağır, siyah renkli ve yuvarlağa yakın şekilli kromit tanelerinin eşik dibinde çökerek biriktiği ve eşik boyunca konsantreye doğru taşınmakta olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan açık renkli hafif ve daha uzun gang minerali tanelerinin de su akışı sayesinde eşikleri kolayca aşarak sonraki eşiklere doğru masanın ya ara ürün ya da artık kenarlarına doğru hareket ettikleri düşünülmektedir (Gupta ve Yan, 2006). Bir başka ifadeyle küresel taneler masa yüzeyinde yuvarlanarak hareket ederken, yassı taneler ise kayarak hareket etmiştir (Sivamohan, 1985). Walsh ve Kelly (1992) mika gibi yassı şekle sahip tanelerin yoğunluğa dayalı bazı uygulamalarda akan film tabakasının üstüne doğru hareket ettiklerini bildirmiştir. Bununla ilgili olarak uzunluğu yüksek olan tanelerin büyük yüzey alanları yüzünden masanın artık ucuna doğru hareket etme eğilimine sahip oldukları da bazı araştırmacılar tarafından ileri sürülmektedir (Napier-Munn ve Alford, 1991). Aslında bu durum yuvarlak tanelerin daha büyük direnç kuvvetlerine sahip olmalarıyla ilgilidir (Thompson, 1958; Boucher, 2017).



Şekil 11. (a) İri sarsıntılı masalarda tanelerin şekillerinin dağılımı ve (b) eşik etkisiyle masa üzerinde konsantre ve artığa ait tanelerin farklı hareketi

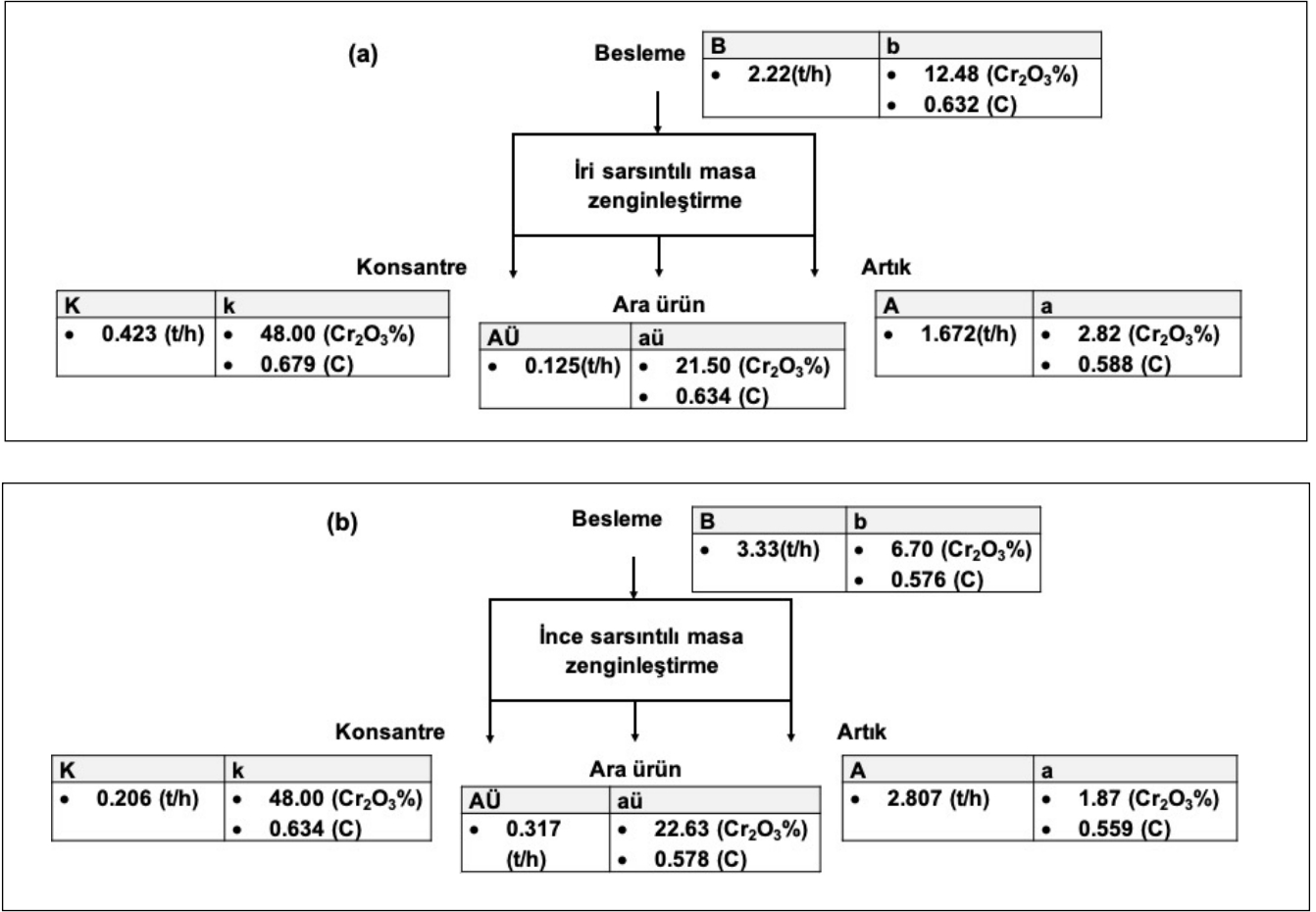
2.6. Metalurjik Denge Hesaplamaları

Genellikle tesis metal zenginleştirme devrelerinde toplam malzeme ve metal dengesi düşünüldüğünde her bir akışın kütle veya metal dengesine bakılmaktadır. Şekil 12'de gösterilen üç ürünlü (konsantre, ara ürün, artık) basit bir ayırma prosesi için B, b, K, k, AÜ, aü, A, a sırasıyla besleme, konsantre, ara ürün ve artığın kütle akış hızı ve tenör değerleri ile ifade edildiğinde, genellikle kütle ve bileşen dengesi aşağıda verilen Eşitlik 2 ve 3'e göre tenör üzerinden kolaylıkla yapılmaktadır.

$$B=K+A\bar{U}+A \quad (2)$$

$$Bb=Kk+A\bar{u}a+Aa \quad (3)$$

Fakat bileşen dengesi tenörün dışında su/katı oranı, tane boyutu, katı yüzdesi, yoğunluk, tane şekli ve hidrofobisite gibi diğer özellikler üzerinden de doğru bir şekilde kurulabilmektedir (Wills ve Finch 2016; Drzymala, 2007). Bu çalışmada, b, k, aü, a ile gösterilen tenör değerleri kullanılarak önce kütle akış hızları dengelenmiştir, daha sonra dengelenen kütle akış hızlarına göre C tane şekil parametresi kullanılmıştır.



Şekil 12. İri ve (a) ince (b) masa akışlarının tenör, tonaj ve ortalama C değerlerinin dağılımı

İncelenen kromit zenginleştirme tesisindeki hem iri hem de ince sarsıntılı masa akışlarından temsili olarak alınan besleme, konsantre, ara ürün ve artık örneklerinin 3'ü Eşitlikte tenörler yerine C değerleri kullanılarak sistemin yaklaşık olarak dengeye geldiği görülmüştür. Sonuçlar Çizelge 6'de özetlenmiştir. 3'ü Eşitliğe göre C değerlerinin kısmen (çok az farkla) dengelenmesi ürünlerin kütle akış hızlarının ve tenörlerin net olarak belirlenememesi ve sonuçların zamana

göre dalgalanmasından kaynaklanmasına dayandırılmaktadır. Buna rağmen söz konusu tesisin gravite zenginleştirme devresi için metalurjik denge hesaplarında tenör yerine C değerlerinin kullanılabilmesi, dolayısıyla sarsıntılı masa akışlarındaki tanelerin şekilsel dağılımlarının tutarlı olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca istatistiksel hipotez testi ile kanıtlanan her ürününün yuvarlaklık değerlerinin farklılığı, SEM ve mikroskop çalışmalarının sonuçları ile de desteklemiştir.

Çizelge 6. DGA ortalama C değerleri ile birlikte tenör ve ürün tonaj değerleri

Masa	Örnek Adı	C _{ort} *	C Sıralaması	Tenör (%Cr ₂ O ₃)	Tonaj (t/saat)
İri	Besleme (B1)	0,632		12,48	2,220
	Konsantre (K1)	0,679		48,00	0,423
	Ara Ürün (AÜ1)	0,634	K1>AÜ1>B1>A1	21,50	0,125
	Artık (A1)	0,588		2,82	1,672
İnce	Besleme (B2)	0,576		6,70	3,330
	Konsantre (K2)	0,634		48,00	0,206
	Ara Ürün (AÜ2)	0,578	K2>AÜ2>B2>A2	22,63	0,317
	Artık (A2)	0,559		1,87	2,807

* En az 10 000 tane sayılarak gerçekleştirilen her bir ölçümden 4 tekrar yapılarak ortalaması alınmıştır.

Sonuç

Sivas İli Kangal-Çartlı Yöresi kromit cevherleri işleyen Aksu Madencilik kromit zenginleştirme tesisine ait iri ve ince sarsıntılı masa devrelerindeki besleme, konsantre, ara ürün ve artık akışlarından alınan örnekler, rastgele oryantasyon ve sirkülasyon özelliğine sahip yüksek istatistiksel sonuç veren üç boyutlu dinamik görüntü analizi (DGA) ile Dairesellik (C) şekil parametresi cinsinden başarıyla ölçülmüştür. DGA ile belirlenen C değerlerinin istatistiksel anlamlılık testi tek yönlü ANOVA ile %95 güven aralığında test edilmiştir. DGA sonuçları hem iri hem ince masalarda her iki boyut fraksiyonu içinde konsantre ürünlerinin, diğer ürünlere kıyasla daha yuvarlak tanelerden oluştuğu, artık ürünlerinin ise daha uzun tanelerden oluştuğunu göstermiştir. Aynı örnekler için DGA görüntüleri, SEM görüntüleri ve stereo-mikroskop görüntüleri de DGA sonuçlarını desteklemektedir ve literatürde daha önce bildirilen çalışmalar ile uyumludur. DGA, SEM ve stereo-mikroskop sonuçları aynı tane boyutu aralığında, sadece tanelerin yoğunluklarının değil, tanelerin şekillerinin de ayırmaya etkisinin olduğunu göstermektedir. Literatürde de aralarında yeteri kadar yoğunluk farkı olan yuvarlak ve pulsu yapıda olan mineral tanelerinin gravite tekniği ile ayrılabilirdiği bildirilmiştir. Sonuç olarak, bilyalı değirmende cevherin öğütülmesi sonucunda kromitin daha yuvarlak tanelerden, diğer gang minerallerinin ise daha çubuksu tanelerden ibaret olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma kromit cevherlerinin gravite ile zenginleştirmesinde daha yüksek ayırma performansı elde etmek için bilyalı veya otojen değirmen gibi uygun bir öğütme sisteminin kullanılmasıyla daha yuvarlak şekillere sahip tanelerin üretilmesini ve masaya beslenmesinin önemli olabileceğini göstermiştir.

Teşekkür

Aksu Grup Madencilik San. A.Ş.'ye örnekler ve tesis verilerinin kullanımına verdiği izin için minnetle teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Ahmed, M. M. 2011. Optimization of a jigging process using statistical technique. *International Journal Coal Preparation and Utilization*. 31, 112–123.

Allen, T. 1990. *Particle size measurement*. fourth ed. New York: Chapman & Hall.

Aplan, F. F. 2003. Chapter 6: Gravity Concentration, Fuerstenau, M. C. ve Han, K. N. (Ed.). *Principles of Mineral Processing*. Littleton, Co: SME. 185-219.

Boucher, D. 2017, Observation of iron ore particle flow in a mineral spiral concentrator by position emission particle tracking (PEPT), [Doktora tezi]. [Montreal]: McGill University.

Brits, B. R. 1991, Effect of particle size in gravity separation processes at Palabora, South Africa, Palabora Mining Company, South Africa, Institution of Mining and Metallurgy, African Mining '91, Institution of Mining and Metallurgy.

Cierpisz, S., Kryca, M., Sobierajski, W. 2016. Control of coal separation in a jig using a radiometric meter, *Minerals Engineering*. 95, 59–65.

Das, A. 2009, Chapter 1, *Mineral Processing. A Continuing Education Course for Metallurgy for Engineers*. December 14-16, 2009, Jamshedpur: NML, 1-37.

Dehghani, F., Rahimi, M., Rezai, B. 2012. Influence of particle shape on the flotation of magnetite, alone and in the presence of quartz particles, December, *Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 113(12), 905-911.

Drzymala, J. 2007. *Mineral Processing, Foundations of theory and practice of mineralurgy*, 1st edition, Wrocław University of Technology: Oficyna Wydawnicza PWr., www.ig.pwr.wroc.pl/minproc, ISBN 978-83-7493-362-9, 32.

European Commission, 2020. Study on the EU's list of Critical Raw Materials, Factsheets on Non-critical Raw Materials, p. 70.

Fortier, S. M., Nassar, N. T., Lederer, G. W., Brainard, Jamie, Gambogi, Joseph, McCullough, E.A. 2018. Draft critical mineral list—Summary of methodology and background information—U.S. Geological Survey technical input document in response to Secretarial Order No. 3359: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1021, 15 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20181021>, <https://pubs.usgs.gov/of/2018/1021/ofr20181021.pdf>, [Erişim tarihi: 8 Mart 2021].

Guertin, J., Cynthia, J. A. J., Avakian, P. 2005. *Chromium (VI) Handbook*. Independent Environmental Technical Evaluation Group (IETEG).

Gupta, A., Yan, D. S. 2006. *Introduction to Mineral Processing Design and Operation*, Gupta A. ve Yan, D. (Ed.). Amsterdam: Elsevier. 2nd eds.

Hicyilmaz, C., Ulusoy, U., Bilgen, S., Yekeler, M., Akdogan, G. 2006. Response of rough and acute surfaces of pyrite with 3-D approach to the flotation. *Journal of Mining Science*. 42, 393-402.

Kademli, M., Gülsoy, O. Y. 2012. The role of particle size and solid contents of feed on mica-feldspar separation in gravity concentration. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 48(2), 645–654.

Kawatra, S. K., Caraon, J. T. 2013. *Beneficiation of Phosphate Ore*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration: Colorado.

Little, L., Mainza, A. N., Becker, M., Wiese, J. 2017. Fine grinding: How mill type affects particle shape characteristics and mineral liberation, *Minerals Engineering*. 111, 148-157.

Maharaj, L., Loveday, B. K., Pocock, J. 2012. Gravity separation of a UG-2 ore secondary sample of the reduction of chromite minerals. *Minerals Engineering*. 30, 99-101.

Mudd, G. M., Werner, T. T., Weng, Z.-H., Yellishetty, M., Yuan, Y., McAlpine, S. R. B., Skirrow, R. G., Czarnota, K. 2018. *Critical Minerals in Australia: A Review of Opportunities and Research Needs, Records 2018/051*. Geoscience Australia, Canberra. Available at: <https://ecat.ga.gov.au/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/#/metadata/124161> [Erişim tarihi: 8 Mart 2021].

Napier-Munn, T. J., Alford, R. A. 1991. The causes of heavy mineral loss from mineral sands wet concentrators. *The AusIMM Proceedings*, 19–30.

Ofori-Sarpong, G., Amankwah, R.K. 2011. Comminution environment and gold particle morphology: effects on gravity concentration. *Minerals Engineering*. 24, 590-592.

Phengsaart, T., Ito, M., Hamaya, N., Tabelin, C.B., Hiroyoshi, N. 2018. Improvement of jig efficiency by shape separation, and a novel method to estimate the separation efficiency of metal wires in crushed electronic wastes using bending behavior and “entanglement factor,” *Minerals Engineering*. 129, 54-62.

Pita, F., Castilho, A. 2016. Influence of shape and size of the particles on jigging separation of plastics mixture, *Waste Management*. 48, 89-94.

Pita, F., Castilho, A. 2017. Separation of plastics by froth flotation. The role of size, shape and density of the particles, *Waste Management*. 60, 91-99.

- Pryor, E. J. 1965. *Mineral Processing*. 3rd ed., Amsterdam: Elsevier, 349.
- Quantachrome, 2021. <http://www.quantachrome.com>, [Erişim tarihi: 8 Mart 2021].
- Richard, G., Touhami, S., Zeghloul, T., Dascalescu, L. 2017. Optimization of metals and plastics recovery from electric cable wastes using a plate-type electrostatic separator, *Waste Management*, 60, 112-122.
- Richards, R.L., Locke, S.B. 1940. *Textbook of Ore Dressing*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- Sebastien, J., Rabotin, K., Bourgeois, F., Climent, E. 2012. Experimental validation of a fluid dynamics based model of the UF Falcon concentrator in the ultrafine range. *Separation and Purification Technology*. 92, 129-135.
- Singh, R. K., Dey, S., Mohanta, M. K., Das, A. 2014. Enhancing the Utilization Potential of a Low Grade Chromite Ore through Extensive Physical Separation, *Separation Science and Technology*. 49(12), 1937-1945, DOI: 10.1080/01496395.2014.903495.
- Sivamohan, R. 1985. *A Study of Gravity Concentration with emphasis on surface phenomena*, 45D, [Doktora tezi]. [Norrboten]: Lulea University of Technology.
- Thompson, J. V. 1958. The humphreys spiral concentrator its place in ore dressing, *Mining Engineering*. (January) 84-87.
- Ulusoy, U. ve Atagun, O. N. 2022. Particle shape characterization of shaking table streams in a Turkish chromite concentration plant by using dynamic imaging and microscopical techniques, *Particulate Science and Technology*, DOI: 10.1080/02726351.2022.2046666. [Erişim tarihi: 8 Mart 2022].
- Vision Analytical, 2021. Why particle shape is important. <https://particle-shape.com/why-particle-shape-is-important>, [Erişim tarihi: 8 Mart 2021].
- Walsh, D. E., Kelly, E. G. 1992. An investigation of the performance of a spiral using radioactive gold tracers. *Minerals and Metallurgical processing*. 105-109, August.
- Wills, B. A., Finch, J. 2016. *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*, 8th Edition, Oxford: Butterworth Heine- mann, ISBN: 9780080970530.
- Zhao, Y. Zhang, Y. Bao, S. Liu, T. Bian, Y. Liu, X. Jiang M. 2013. Separation factor of shaking table for vanadium pre-concentration from stone coal, *Separation and Purification Technology*, 115, 92-99.



Original Research / Orijinal Araştırma

Divriği A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında uygulanmakta olan üretim yönteminin ve cevher kaybının değerlendirilmesi

Evaluation of actively applied mining method and ore loss in Divriği A-Kafa and Ekinbaşı underground iron mines

Atila Ceylanoğlu^{a,*}, Bülent Erdem^{a,**}, Bahadır Şengün^{a,***}, Aydın Karatepe^{b,****}, M. Engin Yayla^{b,*****}

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, SİVAS

^b Erdemir Madencilik San. ve Tic. A.Ş. Divriği, SİVAS

Geliş-Received: 9 Mart - March 2022 • Kabul - Accepted: 9 Mayıs - May 2022

ÖZ

Bu çalışmada, Divriği A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında uygulanmakta olan üretim yöntemi ve cevher kaybı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yeraltı ocaklarında yerinde ölçüm, gözlem ve incelemeler yapılmıştır. Gerek arazi çalışma sonuçları gerekse konu ile ilgili literatür birlikte değerlendirilmiş ve uygulanmakta olan arakatlı göçertme yöntemi seçiminin isabetli ve doğru olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı ocaklarında sırasıyla cevher kaybı %5,97 ve %8,20 olarak belirlenmiş ve bu değerlerin kabul edilebilir sınırın altında olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Yeraltı üretim yöntemleri, Arakatlı göçertme yöntemi, Cevher kaybı

ABSTRACT

In this study, the applied mining method and ore loss in Divriği A-Kafa and Ekinbaşı underground iron mines were evaluated. Within this scope, in-situ measurements, observations and investigations were made in underground mines. The results of the field investigation as well as the related literature were evaluated together, and it was concluded that the sublevel caving method chosen is accurate and correct. In addition, ore loss in A-Kafa and Ekinbaşı underground operations was determined as 5,97% and 8,20%, respectively, and these values were found to be below the acceptable limit.

Keywords: Underground mining methods, Sublevel caving method, Ore loss

Giriş

Bilindiği gibi uygun yeraltı üretim yöntemi seçimi birçok parametre göz önüne alınarak yapılmaktadır (Cummins ve Given, 1973; Hustrulid ve Bullock, 2001). Bu parametrelerden özellikle cevher geometrisi ve şekli (kalınlık, uzanım, eğim, derinlik vb.), rezerv ve üretim miktarları, tenör ve tenör dağılımı, cevher-yantaş kontak durumu, jeolojik ve tektonik yapı, cevher ve yan kayaçların sağlamlık durumu, su durumu, yeryüzü koşulları ve ekonomik koşullar dikkate alınmaktadır. Dünyada yeraltı madenciliğinde genellikle uygulanan üretim yöntemleri tahkimatsız, tahkimatlı ve göçertmeli yöntemler olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Çizelge 1).

Bu çalışmada özellikle incelenen arakatlı göçertme yönteminde, diğer madencilik yöntemlerinde olduğu gibi, madencilik maliyetlerini ve karlılığı büyük ölçüde değiştirebilen birçok maden planlama faktörü bulunmaktadır. Bu faktörler; üretim planlaması, nakliyat kat açıklığı, cevher galerisi boyutları ve maden kazı sınırı olarak sıralanabilir. Ayrıca yeraltı üretim yöntemi seçilirken planlanan günlük ve yıllık üretim miktarları ile maden ömrü dikkate alınması gerekmektedir. Tüm göçertmeli yöntemler; az ya da çok kontrollü koşullar altında cevher ve yankayacın kırılmasına dayanır. Cevher alındıktan sonra parçalanmış malzeme, boşluğu doldurarak üst kısımda göçük bir alan oluşturur.

* Sorumlu yazar / Corresponding author: aceylan@cumhuriyet.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-1987-6622>

** bulent@cumhuriyet.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-1226-9248>

*** bsengun@cumhuriyet.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-0413-1748>

**** akaratepe@erdemirmaden.com.tr • <https://orcid.org/0000-0001-7543-9710>

***** eyayla@erdemirmaden.com.tr • <https://orcid.org/0000-0002-5895-7177>

Çizelge 1. Yeraltı üretim yöntemleri (Hustrulid, 1982; Baase vd., 1998)

Tahkimatsız Yöntemler (Unsupported Openings)	Tahkimatlı Yöntemler (Supported Openings)	Göçertmeli Yöntemler (Caving Methods)
Oda Yöntemi (Open Stopes)	Kes-Doldur Yöntemi (Cut and Fill Mining)	Arakatlı Göçertme Yöntemi (Sublevel Caving)
Oda-Topuk Yöntemi (Room and Pillar Mining)	Üsten Dilimli Ayak (Top Slicing Method)	Blok ve Panel Göçertme Yöntemi (Block and Panel Caving)
Arakatlı Kazı Yöntemi (Sublevel Stopping)	Küp Tahkimatlı Yöntem (Square-Set Stopping)	
Ambarlı Kazı Yöntemi (Shrinkage Stopping)	Uzunayak Yöntemi (Longwall Mining)	
Suni Tabanlı Travers Ayak (Stull Stopping)	Kısaayak Yöntemi (Shortwall Mining)	

Yeraltında açılan büyük boşluklar ani göçmeyle işletmeye önemli zararlar vereceğinden, tümüyle ve sürekli göçmenin sağlanması esastır. Bu nedenle örtü tabakası ve tavantaşının kolay göçer nitelikte olması istenir (Demirci vd., 1994).

Arakatlı göçertme yönteminde damar birbirine oldukça yakın dikey dilimler halinde normal olarak 10-30 m arasında değişen arakatlara bölünmektedir (Şekil 1). Cevher gövdesinde düzenli aralıklarla hazırlanan arakatlardan, yukarıdan aşağıya doğru üretim yapılmaktadır. Arakatlar, sistematik şekilde cevher gövdesine yatay düzlemde dik ya da paralel düzende açılmış üretim galerilerinden oluşturulmaktadır. Geniş cevher gövdelerinde arakat üretim galerileri tabantaşı rekubundan başlatılmakta ve tavantaşına kadar sürülmektedir. Bu yöntem, enine arakatlı göçertme olarak adlandırılmaktadır. Arakatlarda delme-patlama ve yükleme işlemleriyle üretilen cevher, arakatlar arasında oluşturulan fereler vasıtasıyla ana nakliye sistemine verilmektedir. Arakatlı göçertme yönteminde, arakat hazırlığı (genel olarak %20'ye kadar üretimin de yapılabildiği), üretim delikleri ve yükleme birbirinden bağımsız olarak ayrı katlarda devamlı sürdürülebilmektedir. Bu durum operasyonlar için çalışma arını sayısını artırmakta, üretim kapasitesini olumlu yönde etkilemektedir. Bu yöntemin özellikle kontrolsüz delme-patlama uygulamalarında seyrelme ve cevher kaybı diğer yöntemlere göre daha fazla olabilmektedir. Genel olarak seyrelme % 10-35 arasında değişirken, cevher kaybı %10-20 arasında olabilmektedir.

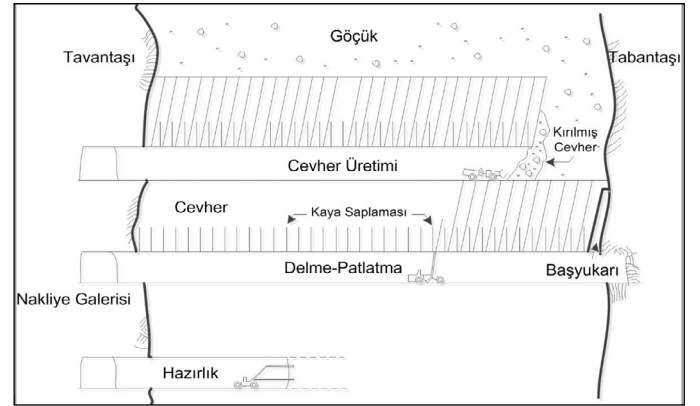
Bu çalışmada kapsamında, Sivas ili, Divriği ilçesi sınırları içinde yer alan A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında uygulanmakta olan arakatlı göçertme yönteminin uygunluğu değerlendirilmiş ve bu yöntemle ilgili olarak cevher kaybının kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı incelenmiştir. Öncelikle söz konusu ocaklarda ölçüm, gözlem ve incelemeler yapılmıştır. Daha sonra, gerek arazi çalışma sonuçları gerekse konu ile ilgili literatür çalışmaları değerlendirilmiştir.

1. A-kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarının tanıtımı

1.1. Jeolojik yapı

A-Kafa ve Ekinbaşı sahalarında MTA tarafında yapılan jeoteknik etüt ve değerlendirmeler sonucunda ocaklar ve civarında mevcut kayaçlar belirlenmiştir (Aktimur vd., 1988; Yıldızeli, 1998). Söz konusu sahalarda yapılan çalışmalarda, yüzeylenmiş cevhere rastlanmamakla birlikte daha önceki yıllarda sahada yapılan jeofizik manyetik çalışmalarda, cevherleşmenin olduğunu belirten manyetik anomaliler elde edilmiştir. Cevherleşmenin konumunun belirlenmesi amacıyla 1991 yılından itibaren sondajlı aramalara başlanmış ve cevherleşmenin granitik kayaçlar ile serpantinler arasında, serpantinlere doğru gelişmiş kontakt felsler içinde oluş-

tuğu tespit edilmiştir. Cevherin felslerle tarak şeklinde girift olarak incelenip, kalınlaştığı belirlenmiştir. Aynı şekilde serpantin-fels ilişkisinde girift ve karmaşıktır (Ermaden, 2008). Son yapılan 9 adet sondaj da mevcut bilgileri doğrulamakta olup cevherin, doğu batı uzanımlı bir ana kütle şeklinde, bu kütlemin altında ve üstünde irili ufaklı mercekler şeklinde yerleştiği izlenmiştir. Cevherleşmenin eğimi batıda yaklaşık güneye eğimli 54°, doğuya doğru gidildikçe güneybatıya eğimli 65°'dir ve cevherleşmeyi tabanda ve kuzeyde granitik kayaçlar sınırlamaktadır. Cevherleşmenin zahiri kalınlığı 40-80 m arası değişmekte olup ortalama kalınlığı 60 m civarındadır (Ermaden, 2008).

**Şekil 1.** Enine arakatlı göçertme yöntemi (Baase vd., 1998)

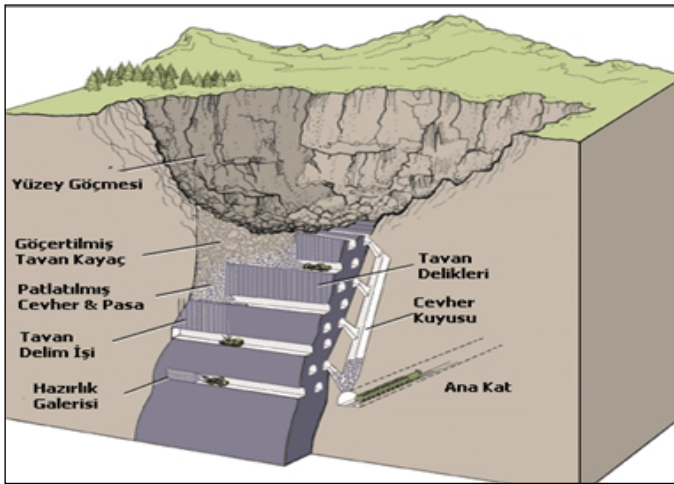
1.2. Üretim yöntemi ve mevcut uygulama

1.2.1. Üretim yöntemi

A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı ocaklarında arakatlı göçertme yöntemi ile cevher üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde ve diğer ülkelerdeki birçok işletmede uygulanmakta olan arakatlı göçertme yönteminde tavan patlatması ile alınan cevher boşluğuna yan kayaç ve tavantaşının dolmasıyla alt kotlara inilmektedir. Arakatlı göçertme yöntemi, cevher gövdesinde düzenli aralıklarla hazırlanan arakatlardan, yukarıdan aşağıya doğru üretim yapılması prensibine dayanmaktadır (Şekil 2). Arakatlar, sistematik şekilde cevher gövdesine yatay düzlemde dik ya da paralel düzende açılmış üretim galerilerinden oluşturulmaktadır. Geniş cevher gövdelerinde arakat üretim galerileri tabantaşı rekubundan başlatılmakta ve tavantaşına kadar sürülmektedir. Yöntem genellikle düşey uzanımlı fazla olan büyük ve dik dalımlı (>60°) cevher gövdelerine uygulanmakla birlikte, oldukça kalın (yatay uzanımlı) ya da masif depozitlerde de kullanılmaktadır. Kaya kütlesi ve cevher minimal tahkimat (aralıkli kaya saplama) ile arakat galerilerinin açık kalabileceği şekilde

duraylı olmalıdır. Tavantaşı zayıf→sağlam olabilir ancak cevher alımını takiben kırılarak göçebilmelidir. Bu nedenle, ocak üzerindeki yüzey zemininde tasmana izin verilebilmelidir. Yöntemin uygulanabilmesi için cevher, orta→yüksek dayanıma sahip olmalı ve tahkimatsız durabilmelidir. Cevher alındıktan sonra parçalanmış malzeme, boşluğu doldurarak üst kısımda göçük bir alan oluşturmaktadır. Yeraltında açılan büyük boşluklar ani göçmeyle işletmeye önemli zararlar verebileceğinden, tümüyle ve sürekli göçmenin sağlanması esastır. Bu nedenle, tavantaşının kolay göçer nitelikte olması arzu edilmektedir. Yöntemin kontrolsüz delme-patlatma uygulamalarında seyrelme ve cevher kaybı diğer yöntemlere göre daha fazla olabilmektedir. Genel olarak seyrelmeden dolayı oluşan cevher kaybı en fazla %15 olmaktadır. Arakatlı göçertme yöntemi özellikle masif yatakların ve orta kalınlıktaki dik damarların kazanılmasında başarıyla uygulanmaktadır.

Üretim ve hazırlık katlarının oluşturulması sırasında gerekli ekip ve makinaların organizasyonlarının sağlanması ve uygulanması kolaydır. Üretim ve hazırlık sürecinde personel ile ekipmanın tavan göçmelerine karşı korunmuşluğu sağlanmasına rağmen, yöntemin göçertmeli oluşundan dolayı bir risk faktörü taşımaktadır. Ancak üretimin yapıldığı göçertme noktalarındaki üretim faaliyeti, uzaktan kumandalı ekipman ile sağlandığından sadece ekipmana ait risk faktörü vardır. Buna rağmen risk ögesi emniyet yönünden orta sınıfta değerlendirilmektedir. Modern delme ve ateşleme araçları kullanılabilirliği için üretim kapasitesinin yükseltilebilir olması, mekanizasyona elverişliliği, tahkimat malzemesi gereksiniminin azlığı ve ton başına düşen hazırlık maliyetinin düşüklüğü yöntemin avantajları olarak bilinmektedir. Diğer yandan, yöntemin dezavantajları ise; seyrelme oranının yüksekliği, seçimli cevher üretiminin zorluğu, hazırlık işleminin ve arakat bacalarında tali havalandırma gerekliliği olarak belirtilmektedir.

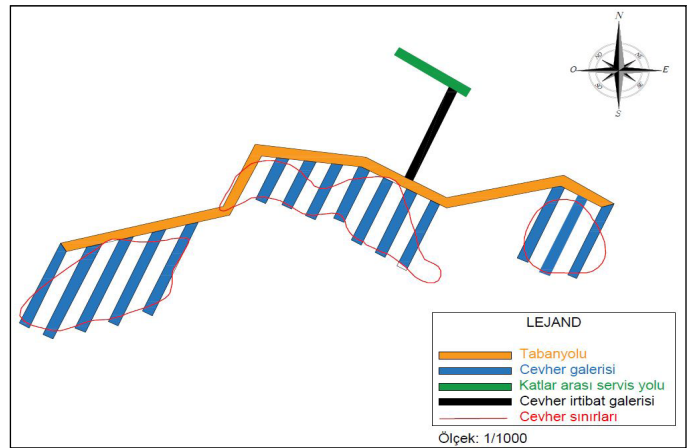


Şekil 2. Arakatlı göçertme yöntemi (Hustrulid, 1982)

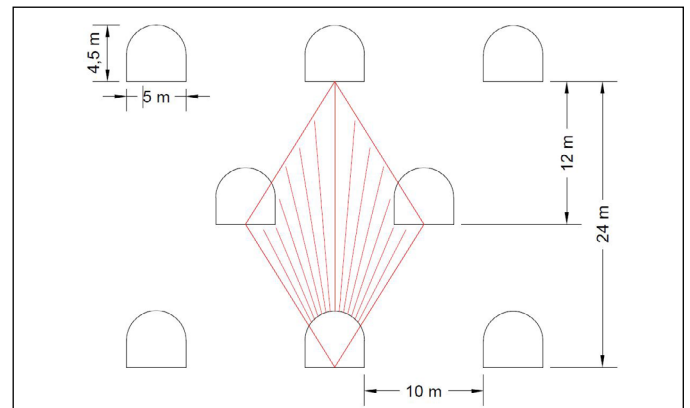
Divriği A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında hazırlık galerileri, cevhere bağlantı galerilerinin ilerletilmesiyle açılmaktadır. Bunlar, cevher sınırlarına paralel şekilde pasa ve cevher içerisinde açılarak ilerletilen 22,5 m² kesit alanına sahip galerilerdir ve cevherleşmenin son bulunduğu noktaya kadar ilerletilmektedir. Daha sonra, taban yoluna dik ve cevher içerisine doğru 10 m aralıklarla tabanyolu ile aynı boyutlardaki cevher galerileri, cevherin enine doğru olan sınırına erişişine kadar sürülmektedir. Bu galerilerin aynasına veya yan cidarlarına yapılacak doğrusal veya eğimli sondajlarla ve kat haritalarındaki cevher izleri de dikkate alınarak cevher sınırları tespit edilmektedir. Her iki yeraltı ocağı katlarındaki üretim planı Şekil 3'te gösterilmiştir. Tavan patlatmalarına başlamadan önce en az bir üretim katının galerileri hazırlanmaktadır. Galeri ilerlemeleri delme-patlatma yöntemiyle yapılmakta olup patlatma deliklerinin delinmesinde elektrikli jumbo kulla-

nılmaktadır. Galeri aynası patlatmalarında toplam 53 adet, 45 mm çapında ve 4 m uzunluğunda patlatma delikleri delinmektedir. 8 adet taban deliğinin tamamında dinamit, diğer deliklerde yemleme amacıyla birer adet dinamit ve ANFO kullanılmaktadır. Çekme deliklerinin tamamı ile tarama ve üretim deliklerinin 2/3'ü ANFO ile doldurulmaktadır.

Cevher üretimi 12 m'de bir oluşturulan arakatlardan yapılmaktadır. Her bir katın sonlandırılmış olan galerilerinde, galerinin son noktasından başlanarak, tavan delici makinalarla geriye doğru belirli aralıklarla yelpaze düzeninde delikler delinmekte ve doldurulup patlatıldıktan sonra yükte-taşı-boşalt (YTB) araçları ile taşınarak üretim kuyusuna dökülmektedir. Delik düzenindeki ortadaki en uzun dik delik, iki üst katın tabanına kadar uzanmaktadır. Deliklerin öngörülen toplam uzunluğu 159 m'den az olmaktadır. Böylece tavan üretimi, cevher içerisinde, galeri tabanı ile 90° - 63° arasında değişen açılarda delinen yelpaze şeklindeki deliklerin şarj edilip patlatılması sonucunda yapılmaktadır (Şekil 4). 76 mm çapındaki deliklerin boyu 9 ile 19 m arasında değişmektedir. Cevher, yelpaze delik setleri arasında 2,5 m bırakılarak, dilimler halinde patlatılmaktadır. Patlayıcı olarak ANFO, emülsiyon dinamit ve elektriksiz kapsüller kullanılmaktadır. Ocakta şiddetli sarsıntı oluşturup olumsuzluklara meydan vermemek için bir patlatmada en fazla iki sıra tavan deliği patlatılmaktadır. Tavan göçertmesi ile üretilen cevher yığınındaki 80 cm'den büyük parçalar hidrolik kırıcıyla kırılarak veya patar patlatması yapılarak, 80 cm altına düşürülmektedir. Gerek A-Kafa gerekse Ekinbaşı yeraltı ocaklarında seyrelme ortalama %10-15 arasında değişmektedir. Cevher çekme noktalarında azami dikkat gösterilerek yankayaç geldiğinde üretim sonlandırılmaktadır. Her 200 tonda bir numune alınıp tenör belirlenmekte ve sınır tenör de dikkate alınarak tenörün %25'in altına düşmemesi sağlanmaktadır. Böylece cevher kaybının da en aza çekilmesi mümkün olabilmektedir.



Şekil 3. A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı ocakları üretim planı



Şekil 4. Cevher üretimi yapılan tavan patlatma delik düzeni

1.2.2. A-kafa yeraltı ocağında üretim

A-Kafa yeraltı İşletmesi'nde 1236 katından başlatılan cevher üretim faaliyetleri 12'şer metre kat aralıkları ile aşağı doğru ilerletilmektedir. Yöntem gereği cevherde öncelikle hazırlık galerileri açılmakta ve tavan, cevherin sonlandığı bölgeden başlanarak geri gelmek sureti ile yelpaze düzeninde delinmekte, açılan deliklere patlayıcı şarjı yapılmakta ve patlatma işlemi gerçekleştirilmektedir. Patlatılmak sureti ile galeri boşluğuna indirilen tavan cevheri YTB araçları ile yeraltı kamyonlarına yüklenmekte, yeraltı üretim kuyusuna taşınmakta ve buradan, yerçekimi marifetiyle 1104 kotunda bulunan 500 t/h kapasiteli yeraltı kırıcısına indirilmektedir.

1.2.3. Ekinbaşı yeraltı ocağında üretim

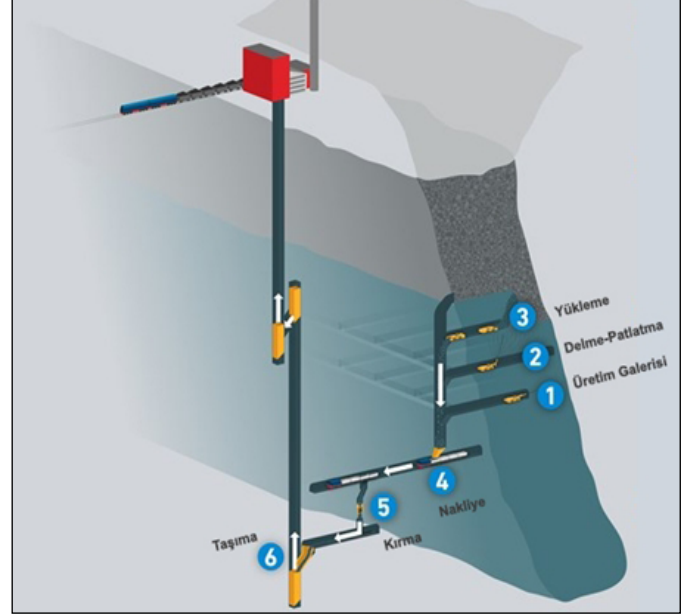
2011 yılında üretim faaliyetleri başlatılan Ekinbaşı yeraltı işletmesinde, 1260 ile 1170 katları arasında kat aralığı 18 m, 1170 katından sonraki alt kademelerde ise 12 m olarak uygulanmıştır. Galeri aralıkları ise 10 m ve kesitleri 5' x 4,5 m'dir. A-Kafa yeraltı ocağında olduğu gibi üretim ayna ve tavanda delme-patlatma ile yapılmaktadır. Üretilen cevher, toplam uzunluğu 121 m olan cevher kuyusuna taşınmakta ve buradan, 1108 kotunda bulunan 700 t/h kapasiteli yeraltı kırıcısına indirilmektedir. Yeraltı kırıcısında birincil kırmaya tabi tutularak boyutu -170 mm'ye indirilen cevher, ana nakliye galerisindeki banda aktarılmakta ve A-Kafa yeraltı ocağı cevherinin taşındığı hat üzerinden işleme tesisine ulaştırılmaktadır.

2. Dünyada arakatlı göçertme yöntemi uygulayan bazı yeraltı demir ocakları

Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB) firması, İsveç'te arakatlı göçertme yöntemi uygulanan Kiruna (27,3 milyon ton) ve Malmberget (17,4 milyon ton) yeraltı ocakları ile Svappavaara (4,7 milyon ton) açık ocağından yılda yaklaşık 50 milyon ton demir cevheri üretmektedir (Stöckel vd., 2012; LKAB, 2019). Ekonomik ve yüksek derecede mekanizasyon ve otomasyona izin veren arakatlı göçertme yöntemi, tavantaşı bölümünün göçertilmesi ilkesine dayanmaktadır. Kiruna ve Malmberget yeraltı demir madenleri bir yüzyıldan daha uzun süredir endüstriyel ölçekte işletilmektedir. A-Kafa yeraltı demir madeninde olduğu gibi, başlangıçta açık işletme olarak çalıştırılan Kiruna madeni, 1950'li yıllardan itibaren arakatlı göçertme yönteminin uygulandığı yeraltı işletmesine dönüştürülmüştür. Kirunavaara demir gövdesi yaklaşık 400 m uzunluğunda ve yeryüzünden 2000 m'den daha derinlere erişmektedir. Görece sağlam manyetitden oluşan cevher gövdesi, tavanda dayanıklı kuvars porfiri, tabanda ise siyenit porfiri ile çevrilidir. Ancak cevher, tavantaşı ve tabantaşında zayıflık zonları bulunmaktadır. Malmberget yeraltı ocağında halen 10 adedi işletilen dağılık durumda yaklaşık 20 cevher gövdesi bulunmaktadır. Ocağın doğu bölümünde manyetit üretilirken batı bölümündeki hematitin küçük bir kısmı da çıkartılmaktadır.

Yeraltı madenlerinde önce cevhere erişim amacıyla yankayaç içinde galeriler açılmakta, daha sonra cevher gövdesi içinde delme-patlatma yöntemi ile hazırlık galerileri açılarak bunlar, gerekli görüldüğünde kaya saplaması, çelik hasır ve püskürtme beton ile tahkim edilmektedir. Hazırlık galerileri tamamlandığında yukarıya doğru, yelpaze düzeninde boyları 55 m'ye varabilen delikler delinmektedir. Her galeri içinde beheri 8 delikten oluşan 15-40 yelpaze dilimi bulunabilmektedir. Delme işlemi, kontrol odasında bulunan operatörler tarafından uzaktan gerçekleştirilmektedir. Tüm galeri boyunca delme işlemi tamamlandığında, robot araçlar tarafından özel bulamaç türünde patlayıcılar doldurulmakta ve gece vardiyasında patlatılmaktadır. Patlatma sonrası oluşan gazların tahliyesini takiben cevher, keçesi 17-30 ton yük alabilen yeraltı yükleyicileri ile düşey nakil kuyularına taşınmakta ve ana

katın hemen üzerinde yer alan silolara istiflenmektedir. Silolardaki cevher büyük kırıcılara iletilmektedir. Kiruna ocağında bu işlem yüzeyden 1365 m derinde bulunan ana kattaki sürücüsüz trenler ile yapılırken, üretimin aynı anda çok sayıda cevher gövdesinde sürdüğü Malmberget ocağında büyük kamyonlar kullanılmaktadır. Tren ve kamyonlar cevheri, daha sonra kırıcılara aktarılmak üzere büyük silolara dökmektedir. Kırıcılarda ortalama boyutu 10 cm'ye indirilen cevher, daha sonra skip ihraç sistemine iletilmek üzere uzun bantlı konveyörlere aktarılmaktadır. Her biri 40 ton cevher taşıyabilen skipler, 17 m/s hız ile otomatik olarak yüklenen cevheri yüzeye çıkartmaktadır. Kiruna madeninde ihraç ve tekrar yükleme farklı dağıtım katlarında olurken Malmberget ocağında cevher uzun bir konveyör hattı üzerinden ihraç sistemine taşınmaktadır. LKAB firmasının işletme planı Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Kiruna ve Malmberget yeraltı demir ocakları işletme planı (<https://www.lkab.com/en/about-lkab/from-mine-to-port/mining/our-underground-mines/>, 2019)

3. Üretim yönteminin ve cevher kaybının değerlendirilmesi

3.1. Genel

Bu çalışma kapsamında, A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında üretim yönteminin ve cevher kaybının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Her iki ocağın anayol ve üretim hazırlık galerilerinde yerinde ölçüm, inceleme ve gözlemler sonucunda veriler elde edilmiştir (Ceylanoğlu vd., 2019). Gerek arazi çalışma sonuçları gerekse konu ile ilgili literatür çalışmaları dikkate alınarak uygulanan üretim yöntemi ve cevher kaybı değerlendirilmiştir.

3.2. Uygulanan üretim yönteminin değerlendirilmesi

Yeraltı üretim yöntemi seçiminde dikkate alınan parametrelerin değerleri (Çizelge 2) ve yerinde gözlem ve inceleme sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, gerek A-Kafa yeraltı ocağı, gerekse Ekinbaşı yeraltı ocağı için arakatlı göçertme yöntemi seçiminin son derece isabetli ve doğru olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Tavantaşı, tabantaşı ve cevherin sağlamlığı (Çizelge 2), gerek yerinde yapılan gözlem ve incelemeler gerekse sözkonusu kaya birimlerinin sağlamlıklarının belirlendiği çalışma sonuçları (Ceylanoğlu vd., 1998) dikkate alınarak belirlenmiştir. Sözkonusu çalışmada,

kaya kütle karakteristiği; RMR ve Q sınıflama sistemlerine göre kaya birimlerinin değerlendirilmesi sonucunda belirlenmiştir. Ayrıca söz konusu yöntemin her iki ocakta da Dünyadaki örneklerine benzer biçimde başarılı bir şekilde uygulandığı rahatlıkla söylenebilir. Diğer yandan, literatürde yeraltı metal madenleri için üretim yöntemi seçiminde öne çıkan yöntemler dikkate alındığında arakatlı göçertme yöntemi, blok göçertme yöntemi ve oda topuk yönteminden sonra en düşük işletme maliyeti olan yöntemdir (Çizelge 3). Söz konusu ocaklar için cevher sağlamlığı, modeli ve cevher kaybı dikkate alındığında gerek blok göçertme yöntemi

gerekse oda topuk yöntemi uygun değildir. Ayrıca üretim yöntemi değişikliğinin de ek topuk bırakılmasını gerektireceğinden cevher kaybına neden olacağı, üretim maliyetini büyük bir olasılıkla artıracacağı ve bu durumda da sınır tenörün yükselmesi nedeniyle cevher kaybının artacağı dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, üretim yöntemi değişikliği, cevher kaybının düşürülmesinde kazanılan tecrübelerden (A-Kafa İşletmesinde yaklaşık 15 yıl ve Ekinbaşı İşletmesinde ise 8 yıl) yararlanılmaması ve yeni yöntem uygulanmasındaki deneyimsizlik, cevher kaybını artırabilecektir.

Çizelge 2. Uygulanmakta olan üretim yönteminin değerlendirilmesinde dikkate alınan parametreler

Yöntem Seçiminde Dikkate Alınan Parametreler	A-Kafa Yeraltı Demir Ocağı	Ekinbaşı Yeraltı Demir Ocağı
Cevher kalınlığı (m)	70 – 100	40 – 70
Cevher uzunluğu (m)	950	410
Cevher başlangıç derinliği (m) (yüzeyden itibaren)	0	140
Cevher bitiş derinliği (m) (yüzeyden itibaren)	200	300
Cevher eğimi (derece)	40 – 50	50 – 55
Tenör (% Fe)	52 – 56	52 – 56
Yataklanma tipi	Skarn	Skarn
Cevher-yan kayaç kontak durumu (düz, az dalgalı, orta dalgalı, çok dalgalı)	Orta dalgalı	Orta dalgalı
Cevher sağlamlığı*	Orta - Sağlam	Orta - Sağlam
Tavantaşı sağlamlığı*	Zayıf - Orta	Zayıf - Orta
Tabantaşı sağlamlığı*	Zayıf - Orta	Zayıf - Orta
Yeraltı suyu durumu (L/dak)	10	10
Toplam görünür rezerv (ton)	10 800 000	5 080 000
Üretim miktarı (ton/yıl)	800 000	600 000
Ocağın yaklaşık kalan ömrü (yıl)	< 10	< 10
Yeryüzü koşulları (Tasmana uygunluğu) ** (Uygun à kamulaştırılmış, üzerinde herhangi bir yapı bulunmayan boş arazi) (Uygun değil à üzerinde herhangi bir yapı, enerji nakil hattı, ırmak vb. bulunan arazi)	Uygun	Uygun

* Ceylanoğlu vd., (1998)

** Erdem vd., (2019)

Çizelge 3. Yeraltı üretim yöntemlerinin yaklaşık üretim maliyetleri (Stebbins ve Schumacher, 2001)

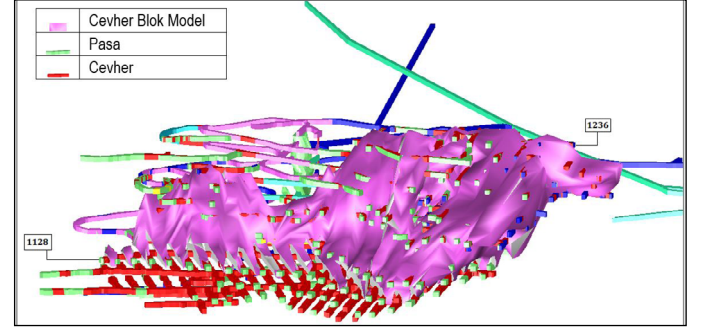
Yöntemler	Cevher Kazanımı (%)	Toplam İşletme Maliyeti (\$/ton)	Toplam Yatırım Maliyeti (\$/ton)	Toplam (İşletme + Yatırım) Maliyeti (\$/ton)
Ambarlı Ayak (<i>Shrinkage Stopping</i>)	75-85	32,77	16,214	48,984
Oda-Topuk (<i>Room and Pillar</i>)	50-70	10,66	6,856	17,516
Arakatlı Göçertme (<i>Sublevel Caving</i>)	80-90	11,30	9,123	20,423
Blok Göçertme (<i>Block Caving</i>)	90-100	5,18	3,451	8,631
Geri Dönümlü Düşey (Krater) Tavan Ayak (<i>Vertical Crater Retreat</i>)	-	23,54	20,502	44,042
Sondan Alt Dilimli Ayak (<i>End Slice</i>)	-	15,52	13,720	29,240
Kes Doldur (<i>Cut and Fill</i>)	90-100	37,74	15,377	53,117

3.3. Cevher kaybının değerlendirilmesi

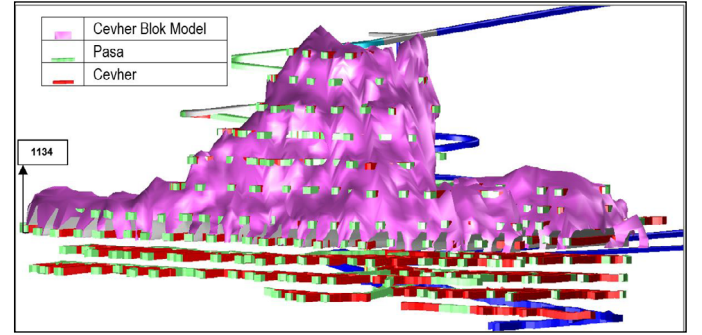
Yüksek üretim miktarlarının sağlanabildiği arakatlı göçertme yöntemi, düşük tenörlü cevherlerde de uygulanabilmektedir. Literatürde cevher kaybı miktarı %15-25, seyrelme miktarı ise %15-40 civarında verilmektedir ve bunlar yöntemin belirgin dezavantajlarıdır. Yöntem tam mekanizasyona uygundur ve yüksek hazırlık maliyeti içermektedir. Yapılan hazırlıklardan sonra üretim yöntemi değişikliği ya da cevher alınan yere dolgu yapılması, üretim maliyetini doğrudan artıracığından sınır tenör değerinin yükselmesine ve mevcut rezervin düşük tenörlü kısımlarının bırakılmasını gerektireceğinden cevher kaybı ile sonuçlanır. Arakatlı göçertme yönteminde seçimli cevher üretiminin zor olması önemli dezavantajlardan biridir ancak cevher kaybı açısından bakıldığında bu durum avantaja dönüşmektedir. Diğer bir deyişle, sınır tenörden düşük olan düşük tenörlü cevherlerin de üretilmesi, cevher kaybının düşük olmasını sağlamaktadır.

Literatür incelendiğinde, üretim yöntemlerinin çoğunda ve dünyada arakatlı göçertme yöntemi uygulamakta olan büyük ölçekli ocaklarda belirli oranda (%10-20) cevherin kazanılmayıp yerinde kaldığı görülmektedir (Çizelge 4 ve Çizelge 5). A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında dünyadaki örneklerine benzer biçimde uygulanan arakatlı göçertme yönteminde cevher gövdesi içinde açılan galerilerin dilimlere ayrılarak, tavanında yelpaze düzende delinen deliklerin patlatılması ve dilimdeki cevherin galeri içine yerçikimi etkisiyle akarak dolması ile kazanılan cevher, üretim kuyusuna taşınmaktadır. A-Kafa yeraltı işletmesinde, açık ocak üretim faaliyeti tamamlanan bölgede kalan rezervin üretimi için 2005 yılında üretime başlanmıştır. Uygulanan arakatlı göçertme yönteminde kat aralığı 12 m, galeri aralıkları 10 m ve galeri kesitleri 5' 4,5 m olarak seçilmiştir. Üretim ayna ve tavanada delme-patlatma ile yapılmaktadır. Cevher kaybını belirlemek için faaliyetin başladığı cevher tavan kotu olan 1236 katı ile ayna ve tavan üretimi tamamlanmış en alt kat olan 1128 katı arasında yapılan faaliyetler incelenmiştir. Bu katlar arasında kalan cevhere ait katı model 3B maden yazılımı (Datamine Studio UG, 2019) ile oluşturulmuş (Şekil 6) ve rezerv ile fiili üretim karşılaştırılmıştır. Fiili üretim değerleri kantar tartımı ile tespit edilmiş, katların ilerlemelerindeki değerlendirmeler sonucunda da rezerv hesaplanmıştır. Üretim faaliyeti tamamen bitmiş olan 1128 katı üzerindeki rezerv miktarı 8 351 679 ton olarak belirlenmiştir. Çizelge 5'te görüldüğü gibi cevher kaybı %5,97'dir ve bu değer kabul edilebilir sınırın oldukça altındadır.

2011 yılında üretim faaliyetleri başlatılan Ekinbaşı yeraltı işletmesinde üretim, A-Kafa yeraltı ocağında olduğu gibi ayna ve tavanada delme-patlatma ile yapılmaktadır. Cevher kaybını belirlemek için sondajlara ve kat ilerlemelerine göre tasarlanıp her ölçümde güncellenen katı model kullanılarak hacim ve tonaj hesaplaması yapılmış ve fiili üretim değerleri bant kantarından alınmıştır. Katı model hacim ve tonaj hesaplamaları için 3B madencilik yazılımları kullanılmıştır (Şekil 7). Üretim faaliyeti tamamen bitmiş olan 1134 katı üzeri için rezerv miktarı 5 252 528 ton olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6'da görüldüğü gibi cevher kaybı % 8,20'dir ve bu değer kabul edilebilir sınırın altındadır.



Şekil 6. A-Kafa yeraltı ocağı cevher modeli



Şekil 7. Ekinbaşı yeraltı ocağında üretimi tamamlanmış katlardaki cevher modeli

Çizelge 4. Yeraltı üretim yöntemlerinin cevher kazanım oranları (Gertsch ve Bullock, 1998)

Tahkimatsız Yöntemler	Cevher Kazanımı (%)
Oda Yöntemi (Open Stopes)	60-80 (75*)
Oda-Topuk Yöntemi (Room and Pillar Mining)	50-70 (60*)
Arakatlı Kazı Yöntemi (Sublevel Stopping)	50-75 (60*)
Ambarlı Kazı Yöntemi (Shrinkage Stopping)	75-85 (80*)
Tahkimatlı Yöntemler	
Kes-Doldur Yöntemi (Cut and Fill)	90-100 (95*)
Küp Tahkimatlı Yöntem (Square-Set Mining)	90-100
Uzunayak Yöntemi (Longwall Mining)	90-100
Kısaayak Yöntemi (Shortwall Mining)	90-100
Üsten Dilimli Ayak (Top Slicing Method)	90-100
Göçertmeli Yöntemler	
Arakatlı Göçertme Yöntemi (Sublevel Caving)	80-90
Blok ve Panel Göçertme Yöntemi (Block and Panel Caving)	90-100

*Ortalama

Çizelge 5. Arakatlı göçertme yöntemi uygulayan bazı yeraltı ocaklarının cevher kayıpları

Ocak Adı ve Yeri	Üretim Yönü (Enine veya Boyuna)	Rezerv (Milyon ton)	Yıllık üretim kapasitesi (Milyon ton)	Tenör (%)	Cevher Kaybı (%)	Cevher Kalınlığı (m) ve Eğimi (°)	Cevher Uzanımı ve Derinliği (m)
Kiruna yeraltı demir ocağı, İsveç	Enine	500	13,60	Manyetit ve Hematit, 54-67	10-20	80 50-70°	4 500 m 2 000 m
*Malmberget yeraltı demir ocağı, İsveç	Enine	150	7,60	Hematit ve Manyetit, 58	-	10-18 50°	-
Stobie yeraltı nikel-bakır ocağı, Kanada	Enine	130	-	Nikel 0,78 Bakır 0,73	-	274 70-75°	2.920 m 1 250 m
***Craigmont yeraltı bakır ocağı, Vancouver-Kanada	Enine	22,30	0,90	Bakır 1,11-2,11	10-20	18-79 50-90°	91-304 m -
****Big Bell yeraltı altın ocağı, Perth-Avustralya	Boyuna	-	1,70	Altın 3,21	13,70	- 50-80°	1 000 m 510-1 430 m
A-Kafa yeraltı demir ocağı, Divriği-Sivas	Enine	6	0,8	Manyetit 52-56	5,97	70-100 40-50°	450 m 0-200 m
Ekinbaşı yeraltı demir ocağı, Divriği-Sivas	Enine	6	0,6	Manyetit 52-56	8,20	40-70 50-55°	270 m 140-300 m

*Quinteiro vd., (2001); **Buksa, (2001); ***Baase vd., (1998); ****Player, (2001)

Çizelge 6. Cevher kayıpları

Yeraltı ocağı	Katı model hacmi (m ³)	Katı model tonajı (ton)	Fiili üretim tonajı (ton)	Fark (ton)	Cevher kaybı (%)
A-Kafa	2 087 919	8 351 679	7 853 044	498 635	5,97
Ekinbaşı	1 313 132	5 252 528	4 831 215	421 313	8,20

Sonuç

Bu çalışmada Sivas ili, Divriği ilçesi sınırları içinde bulunan A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında uygulanmakta olan üretim yönteminin uygunluk durumu ve cevher kaybı değerlendirilmiştir. A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı demir ocaklarında arakatlı göçertme yöntemi uygulanmaktadır. Arakatlı göçertme yöntemi genellikle düşey uzanımı fazla olan büyük ve dik dalımlı (>60°) cevher gövdelerine uygulanmakla birlikte, oldukça kalın (yatay uzanımlı) ya da masif depozitlerde de kullanılmaktadır.

Yeraltı üretim yöntemi seçiminde dikkate alınan parametrelerin A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı ocaklarına ait değerleri ve konu ile ilgili literatür dikkate alınarak değerlendirilmiş, gerek A-Kafa yeraltı ocağı, gerekse Ekinbaşı yeraltı ocağı için arakatlı göçertme yöntemi seçiminin isabetli ve doğru olduğu görülmüştür. Ayrıca söz konusu yöntemin her iki ocakta da Dünyadaki örneklerine benzer biçimde başarılı bir şekilde uygulandığı rahatlıkla söylenebilir.

Diğer yandan, literatürde yeraltı metal madenleri için üretim yöntemi seçiminde öne çıkan yöntemler dikkate alındığında arakatlı göçertme yöntemi, blok göçertme yöntemi ve oda topuk yönteminden sonra en düşük işletme maliyeti olan yöntemdir. Söz konusu ocaklar için cevher sağlamlığı, modeli ve cevher kaybı dikkate alındığında gerek blok göçertme yöntemi gerekse oda topuk yöntemi uygun bulunmamıştır. Ayrıca üretim yöntemi değişikliğinin ek topuk bırakılmasını gerektireceğinden cevher kaybına neden olacağı, üretim maliyetini büyük bir olasılıkla artıracığı ve bu durumda da sınır tenörün yükselmesi nedeniyle cevher kaybının artacağı dikkate alınmalıdır. Aynı zamanda üretim yöntemi değişikliği, cevher kaybının düşürülmesinde kazanılan tecrübelerden

(A-Kafa İşletmesinde yaklaşık 15 yıl ve Ekinbaşı İşletmesinde ise 8 yıl) yararlanılmaması ve yeni yöntem uygulanmasındaki deneyimsizlik cevher kaybını artırabilecektir. Arakatlı göçertme yönteminde seçimli cevher üretiminin zor olması önemli dezavantajlardan biridir ancak cevher kaybı açısından bakıldığında bu durum avantaja dönüşmektedir. Diğer bir deyişle, sınır tenörden düşük olan düşük tenörlü cevherlerin de üretilmesi cevher kaybının düşük olmasını sağlamaktadır. A-Kafa ve Ekinbaşı yeraltı ocaklarında sırasıyla cevher kaybı %5,97 ve %8,20 olarak belirlenmiş ve bu değerlerin kabul edilebilir sınırın altında kaldığı görülmüştür.

Kaynaklar

- Aktimur, T., Atalay, Z., Ateş, Ş., Tekirli, M.E., Yurdakul, M.E. 1988. Munzur Dağları ile Çavuşdağı Arasının Jeolojisi. MTA Derleme Rap. No.8320, Ankara, 102 s.
- Baase, R.A., Diment, W.D., Petrina, A.J. 1998. Sublevel caving at Craigmont mines ltd, Kanada. Techniques in Underground Mining, Selection from Underground Mining Methods Handbook. Editors: Richard E. Gertsch ve Richard L. Bullock, 655-686 s.
- Buksa, H. 2001. Sublevel Cave Mining Update at INCO's Stobie Mine, Canada. Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies. Editors: William A. Hustrulid, Richard L. Bullock, 369-370 s.
- Ceylanoğlu, A., Özkan, İ., Erdem, B., Sül, Ö.L. 1998. Divriği YNK-3 Nolu İstihsal Kuyusunda Karşılaşılabilecek Kayaçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Mühendislik Sınıflaması Çalışmaları, Proje Çalışması, Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, 250 s.

- Ceylanoğlu, A., Erdem, B., Şengün, B., Doğan, T. 2019. Divriği A-kafa ve Ekinbaşı Yeraltı Demir Ocaklarında Uygulanan Üretim Yönteminin ve Rezerv Kaybının Değerlendirilmesi Raporu, Proje Çalışması, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, 32 s.
- Cummins, A.B., Given, I. A. 1973. Mining Engineering Handbook, SME, USA.
- Datamine Studio UG, 2019. <https://www.dataminesoftware.com/solutions/studio-ug-underground-design/> [Erişim tarihi: Mayıs 2019].
- Demirci A., Ceylanoğlu, A., Kahrıman, A., Elevli, B., Sül, Ö. L., Arpaz, E., Durutürk, Y.S., Görgülü, K., Uysal, Ö., Yüksek, S. 1994. Kayseri Pınarbaşı - Pulpınar Krom Yeraltı Maden İşletmesinde (4 No'lu Kuyu) Optimum Üretim Yönteminin Belirlenmesi ve Projelendirilmesi Çalışmaları, C.Ü. Maden Müh. Böl., Nihai Rapor, Sivas, 122 s.
- Erdem, B., Ceylanoğlu, A., Doğan, T., Şengün, B. 2019. Divriği Ekinbaşı Yeraltı Demir Ocağında Üretim Yöntemine Bağlı Olarak Oluşan Tasmanın Yeraltı İşletmesine Etkisinin, Yerüstündeki Etki Alanının ve Çevresel Olarak Oluşturduğu Etkinin Değerlendirilmesi, Proje Çalışması, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, 34 s.
- Ermaden, 2008. Ekinbaşı Demir Madeni Sahasına Ait Fizibilite Raporu, Erdemir Madencilik Sanayi ve Ticaret AŞ, Divriği, Sivas, 122 s.
- Gertsch, R.E., Bullock, R.L. 1998. Techniques in Underground Mining: Selections from Underground Mining Methods Handbook. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, ISBN 0-87335-163-0. 836 s.
- Hustrulid, W.A. 1982. Underground Mining Methods Handbook, Society of Mining Engineers, USA.
- Hustrulid, W.A., Bullock, R.L. 2001. Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies, Society of Mining Engineers, USA.
- LKAB, 2019. <https://www.lkab.com/en/about-lkab/from-mine-to-port/mining/our-underground-mines> [Erişim tarihi: Haziran 2019].
- Player, J. 2001. Longitudinal Sublevel Caving, Big Bell Mine, Australia. Underground Mining Methods Engineering Fundamentals and International Case Studies. Editors: William A. Hustrulid, Richard L. Bullock, 371-380 s.
- Quinteiro, C., Quinteiro, M., Hedström, O. 2001. Underground Iron Mining at LKAB, Sweden. Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies. Editors: William A. Hustrulid, Richard L. Bullock, 361-368 s.
- Stebbins, A.S., Schumacher, L. 2001. Cost Estimating for Underground Mines. Underground Mining Methods Engineering Fundamentals and International Case Studies. Editors: Hustrulid, W.A., & Bullock, R.L. 49-72 s.
- Stöckel, B.M., Sjöberg, J., Mäkitaavola, K., Savilahti, T. 2012. Mining-induced Ground Deformations in Kiruna and Malmberget, Proceedings of the 12th EUROCK Symposium, The International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, May, Stockholm, Sweden.
- Yıldızeli, N. 1998. Divriği (GD Sivas) Yöresinde Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Fels Tipi Demir Yatakları. Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sivas, 130-138 s.



Derleme / Review

Madencilik sektörü iş kazalarının kayıp iş günü ve cinsiyet risk faktörleri açısından sürveyans analizi

Surveillance analysis of mining sector occupational accidents in terms of lost working days and gender risk factors

Kaan Koçali^{a,b*}^a İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul Gelişim MYO, İş Sağlığı ve Güvenliği, İstanbul, TÜRKİYE^b Kampüs Madencilik Müş. Mak. San. İç ve Dış Tic. Ltd. Şti., İstanbul, TÜRKİYE

Geliş-Received: 1 March-Mart 2022 * Kabul-Accepted: 5 July-Temmuz 2022

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye madencilik sektörünü oluşturan “05 - Kömür ve Linyit Çıkarılması”, “07 - Metal Cevheri Madenciliği”, “08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı” ve “09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler” kodlu işletmelerde meydana gelen iş kazalarının kayıp iş günü ve cinsiyet risk faktörleri göz önünde bulundurularak sürveyans analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında, Amerika Birleşik Devleti Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI) tarafından madencilik sektöründe kullanılan Z16.1-1967 isimli standart kapsamında yapılan çalışmalar ülkemize uyarlanmıştır. 2012-2020 yılları arasında Sosyal Sigortalar Kurumu (SGK)’na kayıtlı toplam 60.852 işyerinde toplam 1.210.926 adet sigortalı işçi çalıştırılarak, yaşanan iş kazalarında 11.214’sini erkek, 547’sinin ise kadın çalışanın etkilendiği görülmüştür. Kaza geçiren sigortalı erkek çalışanların toplam 1.496.268 gün, sigortalı kadın çalışanların ise 5.959 gün iş görmezlik süresi geçirdiği bulunmuştur. Bir kadın sigortalı iş kazasına karşılık 205 adet erkek sigortalı iş kazası meydana geldiği ve erkek sigortalıların iş kazası geçirdiklerinde kadın sigortalılara oranla ortalama 268,72 günlük iş kaybına uğradıklarını hesaplanmıştır. İş kazasının ve kayıp iş gücünün en çok yaşandığı alt sektörler yıllık olarak tek tek analiz edilerek ortaya çıkan sonuçlar ile iş kazalarının önlenmesinde alınabilecek olan önlemler önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: İş Kazası, İSG, İş Sağlığı ve Güvenliği, Sürveyans, Kaza Analizi

ABSTRACT

In this study, the number of lost working days and gender of the occupational accidents occurring in the enterprises with the codes “05 - Coal and Lignite Extraction”, “07 - Metal Ore Mining”, “08 - Other Mining and Quarrying” and “09 - Mining Supporting Services”, which constitute the mining sector in Turkey, Surveillance analysis was performed considering risk factors. Within the scope of the study, the studies carried out within the scope of the standard named Z16.1-1967 used in the mining industry by the United States National Standards Institute (ANSI) were adapted to our country. Between 2012 and 2020, a total of 1,210,926 insured workers were employed in 60,852 workplaces registered with the Social Security Institution (SSI), and it was observed that 11,214 male and 547 female employees were affected in occupational accidents. It was found that insured male employees who had an accident had a total of 1,496,268 days of incapacity, and 5,959 days of incapacity for female insured employees. It has been calculated that for one female insured work accident, 205 male insured work accidents occur and when male insured workers have a work accident, they lose an average of 268.72 days of work compared to female insured workers. Sub-sectors where occupational accidents and lost labor are experienced the most are analyzed one by one on an annual basis, and the measures that can be taken in the prevention of occupational accidents are suggested.

Keywords: Work Accident, OHS, Occupational Health and Safety, Surveillance, Accident Analysis

Giriş

Madencilik, uygarlıklara ve toplumlara şekil veren en temel sektörlerden biridir. Günümüzde madencilik faaliyetleri olmadan insanlığın yaşamını devam ettirebilmesi çok zordur. Günlük yaşamımızda kullandığımız arabalardan yaşadığımız konutlara, te-

lefonlardan bilgisayarlara kadar aklımıza gelen tüm alanlarda madencilik etkilerini ve en az bir maden türünü görmek mümkündür (Bilim vd., 2015). Madencilik, ülkelerin ekonomik gelişmelerine ve istihdamlarına katkı sağlayan sektörlerin başında gelmektedir. Ancak bu sektör, dünya genelinde iş sağlığı ve güvenliği açısından

* Sorumlu yazar / Corresponding author: kaan.kocali@kampusmadencilik.com.tr • <https://orcid.org/0000-0002-1329-6176>

en riskli sektörler arasında kabul görmektedir (Koçali, 2018a). Bunun en büyük nedeni çalışma ortamlarındaki risk ve tehlikelerin fazla sayıda ve çeşitte olmasıdır. Ayrıca bu risk ve tehlikelerin bertaraf edilmesi amacıyla yapılan değerlendirilme ve önlenme çalışmaları da çok karmaşık işlemlerdir (Koçali, 2018b).

İş kazaları tüm ülkeler açısından ortak bir sorun olmasına karşın gerekli önlemlerin alınması ile birlikte iş kazalarının sayıları belirli oranlarda azaltılabilmektedir (Ceylan ve Ergüzen, 2011). Önlenemeyen iş kazaları sonucunda ise çalışanlar yaralanmakta, sakat kalmakta ya da yaşamını yetirebilmektedir (Kurt ve Ceylan, 2001). Bir işyerinde çalışanlardan beklenen asıl performans iş verimliliğini de ortaya koyduğu için performanslar çalışandan çalışana değişim göstermektedir (Çalış vd., 2021). Türkiye’de ise özellikle madencilik gibi ağır çalışma şartlarına sahip olan bir sektörde iş sağlığı ve güvenliği açısından hem hukuken hem de uygulamada çok ciddi ilerlemeler yaşanmasına rağmen, yaşanan iş kazaları göz önüne alındığında iş kazalarını önlemek amacıyla atılması gereken daha birçok adımın olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır (Koçali, 2019). Sonuçta yaşanan bir maden kazasının etkisi ile halkın madencilik sektörüne bakış açısında da son derece olumsuz etkiler yaşanmaktadır (Yıldız, 2021).

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili faaliyetlerini tamamen bilimsel altyapıya yerleştirerek yürütmektedir. Ülkelerin aynı koşullara sahip olmadıkları da göz önünde bulundurulduğunda, gelişmekte olan ülkelerin gelişen ülkelerin seviyesine ulaşması için daha çok efor sarf etmeleri gerekmektedir (Çalış ve Çalış, 2021). İş sağlığı ve güvenliği alanında geliştirilen en temel bilimsel altyapı ise sürveyans çalışmaları olmuştur (Beyan ve Demiral, 2016). İş sağlığı ve güvenliği alanında sürveyans verilerini kullanan araştırmacılar, iş kazalarını önlemek için uygulanan politikaları değerlendirmekte ve risk değerlendirmelerine ek olarak zaman içerisinde işyerinde çizilen iş kazaları performans grafiğinin sayılarını ortalama ya da yüksek riskler ile karşılaştırarak analizlerini kolaylaştırmaktadır. Belirli bir sektör için zaman içinde istihdam sayısı değişeceğinden ve risk grupları içindeki kadın, erkek ve çocuk sayısı yüzdesi farklılık göstereceğinden dolayı sürveyans çalışmaları kullanılmaktadır. Yaralanmaların ciddiyetini (yaralanmaya bağlı kayıp iş günü, yasal çalışma iş günü, kısıtlı kalınan iş günü gibi mesaiye bağlı parametreler) ölçmek ve vaka başına kayıp işgücünün incelenmesi için de sürveyans çalışmaları tercih edilmektedir (Coleman ve Kerkering, 2007).

1. Madencilikte sürveyans analizi yöntemi

Tarihte bilinen ilk sürveyans çalışmaları 16-17. yüzyılda Londra’da veba salgınında yapılmıştır. Elde edilen verilerin yüksek olması durumunda rahiplere tiyatroları kapama ve kalabalık toplantıları engelleme yetkisi verilmesi, yargıçlara ise mahkemeleri tatil etme gibi veba salgınının önleyici tedbirlerin alınması amaçlanmıştır. Bu amaçla da görevli memurlar tarafından vebaya bağlı ortaya çıkan ölümler için düzenli olarak haftalık ölüm listesi ve sayısı yayımlanmıştır (Palmer, 2000). Başlangıçta sadece buluşçu hastalıklar için kullanılan sürveyans çalışmaları Alexander Langmuir tarafından bireysel çalışmalara adapte edilmiştir (Garcia-Abreu vd., 2002). Geçmiş zamanlardan elde edilen sağlık bilgilerinin gelecek için yorumlanarak sağlık sistemlerinin kapasitesinin iyileştirilmesi için günümüzde dahi kullanılmaktadır (Chambers vd., 2006). Sürveyans kavramı en kısa şekli ile verilerin sistematik şekilde toplanarak biriktirilmesi ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda olay karşısında harekete geçecek ve önlem alacak kişilere hızlı geri bildirim yapılmasını sağlayan değerlendirme süreci olarak tanımlanabilir (Thacker, 2000).

İstatistiksel çalışmaların iş sağlığı ve güvenliği alanında kullanımı çok eski tarihlere uzanmaktadır. Amerika Birleşik Devleti Maden Güvenliği ve Sağlık İdaresi (Mine Safety and Health Administration - MSHA) İşgücü İstatistikleri Bürosu’nun (1920) yayımladığı 276 nolu Endüstriyel Kaza İstatistiklerinin Standardizasyon Bülteni bu konudaki ilk resmi çalışmadır. Bu çalışmada, iş kazası sonrası kaybedilen çalışma zamanı incelenerek yaralan-

malar ve ölümler ile ilgili olarak tüm sektörler tek bir sistemde toplanmıştır. Yaralanmalar genel olarak irdelense de ölümcül olmayan (iki gözün kaybı, elin tamamen kopması vb.) ama çalışmayı engelleyerek kayıp iş günü oluşturacak iş kazaları için de bir standart getirilerek, bu tür kazalar için kayıp iş günü olarak işçiye 6.000 iş gününe eşit yasal ücret ödemesi yapılması hususu belirtilmiştir. Diğer türdeki yaralanmalar ise kalıcı toplam engellilik yüzdesinin kayıp gün sayısı olarak atanması şeklinde hesaplanmıştır.

İlk çıkartılan 276 nolu Endüstriyel Kaza İstatistiklerinin Standardizasyon Bülteni sonrasında bu işlemlerin yasal bir zemine yerleştirilmesi ve standart hale getirilmesi için 1926 yılında Z16 Komitesi kurulmuştur. Bu komite, belirli bedensel bozukluklar nedeniyle kaybedilen yasal günlere atıflarda bulunarak tablolar ve çizelgeler hazırlamıştır. Hazırlanan bültenlerde iş kazalarının gerekçelerine de yer verilmiştir. Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI), Z16 Komitesi’nin çalışmalarını ulusal standart haline getirerek “Z16.1-1967” ismini vermiştir (United States of America Standards Institute, 1968) ve aynı tablo ve çizelgeler korunarak MSHA (1986) tarafından kullanıldığı hale getirmiştir. MSHA’ya bildirilen yaralanmalara ilişkin veriler, araştırmacılara yaralanma türleri için ana risk konusu ve alt birime özgü risk-tehlike oranları geliştirmesine olanak tanımaktadır. MSHA, maden sahalarındaki iş kazalarını sınıflandırırken, maden sahasında yer alan her alt birim için (planlama, üretim, yönetim, tesis vb.) çalışılan iş saatlerini ayrı ayrı kategorileyerek sınıflandırmaktadır. Bu çalışma süreleri hesaplanırken işçinin yıllık deneyimi ve eğitimi dikkate alınmaktadır. Çünkü yeni işe başlamış ve daha az deneyimli/eğitilmiş işçiler risk değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Ayrıca çalışılan saatlerde makine tipi, faaliyet, meslek türü (mühendisi işçi, açıcı, patron vb.) gibi işletme içindeki değişkenlerde dikkate alınmadığı için yapılan kayıp gün sayısı belirleme ve toplam çalışma süresi hesabında net sonuçlara ulaşılmaktadır.

Maden sektöründe iş sağlığı ve güvenliği konusunda çalışma yapan araştırmacılar, istatistiksel çalışmalarda kayıp iş gücünü dikkate almışlardır. Ames ve Trent (1985), solunum sağlığı bozuk olan kömür madencilerinin iş kazası nedeniyle daha fazla sayıda sakatlık günü yaşadığı varsayarak analizler yapmışlardır. Puttick (1990), Kuzeydoğu İngiltere’de bulunan beş madende altı yıl boyunca cilt bozuklukları nedeniyle kaybedilen günleri incelemiş ve ayak dermatitini hastalığının en uzun süreli kayıp iş gününe sebep olduğu görülerek bu konuda alınması gereken önlemler sıralanmıştır. Hunting ve Weeks (1993), taşıma işlerindeki yaralanmaların yüksek oranda görüldüğü küçük boyuttaki madenlerde, ölümcül olan ya da kalıcı olarak sakat bırakan yaralanmaların büyük bir paya sahip olduğunu, daha büyük madenlerde ise kayıp zaman içermeyen yaralanmaların sayısının daha fazla olduğunu hesaplamıştır. Kayıp iş günleri, belirli madencilik görevleri için risk endeksleri geliştirmek için de kullanılmıştır (Grayson vd., 1992). Grayson ve diğerleri bu çalışmaya ek olarak, MSHA’nın kayıp iş günü istatistiklerine dayanan iş unvanlarını müdahale önceliğine göre sıralamak için bir indeks numarası üretmek üzere mikro analiz yaklaşımlarını güncellemiş ve genişletmişlerdir (Grayson vd., 1998). Ayrıca yine ABD Çalışma İstatistikleri Bürosu İş Güvenliği ve Sağlık İdaresi (OSHA)’ne bildirilen iş kazalarının kayıp-çalışma zamanı dağılımları raporlardaki kaza türüne, yaralanma kaynağına ve vücut kısmına göre özetlenmiştir. Bu sonuçlar, seçilen yaralanma gruplarını kaybedilen zaman miktarına göre karşılaştırmayı kolaylaştırarak, bir ay içinde 21 günden daha fazla çalışmanın yapıldığı işyerlerindeki vakaların en büyük yüzdeyi oluşturan kaza türlerine sebep olduğu görülmüştür (Mital vd., 1999). Ülkemizde ise bu alanda yapılmış bilimsel bir çalışma bulunmamaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri’nde kayıp iş günü incelemesinde yapılan tüm analizlerin arka planında MSHA raporları bulunmaktadır. Madenlerde meydana gelen kazalarda 30 dakika ya daha fazla bir iş durması durumunda veya olayla bağlantılı bir yaralanma veya ölüm varsa, olayın MSHA’ya bildirilmesi gerekmektedir. Böylece yaşanan tüm iş kazaları kayıt altına alınabilmektedir. Eğer ölüm ya da ciddi yaralanma var ise bu olaylar bizzat MSHA tarafından görevlendirilen denetçiler ile araştırılmaktadır. Araştırılan her

olay için 48 ayrı parametrede değerlendirme yapılarak madenler; kömür (antrasit veya bitümlü), metal, ametal, taş veya kum ve çakıl madenciliği şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu maden sınıflandırılmaları da yeraltı ve yerüstü olarak da ikiye ayrılmaktadır (Keçojevic vd., 2007). Kazalar nedeniyle kaybedilen zaman ise fiili işten kaybedilen günler, ücretlendirilen yasal günler ve kısıtlı faaliyet iş günleri olarak üçe ayrılmaktadır. Örneğin; yeraltı kömür madeninde meydana gelen küçük bir göçük olayı sonrasında, fiili çalışma 30 dakika veya daha fazla durmuş ancak yaralanma olmamış ise kaza nedeniyle işten uzakta herhangi bir süre geçirilmemiş kabul edilmekte ve kayıp iş günü değişkeni sıfır değerine sahip olmaktadır (Nieto vd., 2014). İşten kaybedilen günler en kısa hali ile bir çalışanın bir vücut üyesini kalıcı olarak kaybetmesi veya kalıcı bir işlev bozukluğunun neden olduğu gelecekteki üretken zaman kaybı olarak tanımlanmaktadır (MSHA, 1986).

2. Bulgular

İş sağlığı ve güvenliği alanlarında surveyans verilerini kullanan araştırmacılar, iş kazalarını önleyici programların performansını değerlendirmek için az sayıda risk ölçüm yöntemine güvenmektedir. Zaman içinde rapor edilen yaralanmaların ve hastalıkların sayıları, ortalamadan yüksek risk sorunlarının veya ortalamadan düşük risk başarı öykülerinin ilk belirtilerini sağlar. Payda verileri (iş kazası geçiren işçi sayısı) mevcutken insidans oranlarını hesaplamak, özellikle istihdamın zaman içinde değişimine veya farklı büyüklükteki alt sektörlerde veya risk gruplarında karşılaştırılma için kullanılan standart çalışmalardandır. İş kazaları sonrası yaralanmaların ve hastalıkların ciddiyetine bağlı olan, bireysel bir kazaya bağlı yaralanma veya hastalık başına kayıp iş günü ya da izinli iş günü sayısına dayalı istatistikler, karmaşık verilerin analizinde kullanıldığı için araştırmacılar tarafından daha az tercih edilmektedir. Bu çalışma, vaka sayıları ve insidans oranlarının geleneksel hesaplamalardan farklı bir metrik olarak vaka başına cinsiyet ve kayıp işgününün surveyans analizini yaptığı için önem arz etmektedir.

Bu çalışmada Türkiye’de madencilik sektöründe 2012-2020 yılları arasında meydana gelen iş kazaları verileri kullanılmıştır. Türkiye madencilik sektöründe rapor edilen iş kazaları, kayıp iş günü ve cinsiyet açısından irdelenmiştir. Çalışmanın başlangıç yılı olarak 2012’nin seçilmesinin nedeni İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’nun 2012 senesinde çıkarılmasıdır. Fakat şunu belirtmek yerinde olacaktır. Her ne kadar kanun 2012 senesinde çıkarılmışsa da sektörler için uygulanması için yürürlük ve başlangıç tarihi 01/01/2013’tür (Koçali, 2021). Bu tarihten önce de madencilik sektöründeki iş sağlığı ve güvenliğini düzenleyen birçok kanun, tüzük, yönetmelik vb. kanunu düzenlemeler olsa da çalışma kapsamında günümüzde geçerli olan en temel hukuki dayanak olan İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’nun seçilmesi önem arz etmektedir. Daha önceki yıllarda da iş kazaları ile ilgili kayıtlar tutulmakta ise de 2021 yılına kadar yapılan çalışmalar ile madencilik sektöründe meydana gelen iş kazaların önlenip önlemediğinin görülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kayıp iş günü ve cinsiyet risk faktörleri baz alınarak çalışma yapılmış olup çalışmada kullanılan çalışanlara ait bilgi ve veriler Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı’na bağlı Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK)’ndan elde edilmiştir.

Madencilik sektörü SGK sisteminde dört temel sektör kodu altında toplanmıştır (SGK, 2021). Sektör kodları, Avrupa İstatistik Ofisi (EUROSTAT)’nin belirttiği olduğu kodlar olup, sınıflandırma ve istatistiksel çalışmalar için belirli bir standart ortaya koymaktadır (EUROSTAT, 2022). Türkiye madencilik sektörü; Çizelge 1’de görüldüğü üzere “05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması”, “07 - Metal Cevheri Madenciliği”, “08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı” ve “09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler” şeklinde dört temel ekonomik faaliyet sınıflaması altında toplanmıştır. Bazı çalışmalarda “06 - Ham Petrol ve Doğalgaz Çıkarımı” da madencilik sektörü içerisinde değerlendirilmiştir. Fakat bu değerlendirme yanlıştır. Çünkü petrol ve doğalgaz madencilik sektörü düzenleyen 3213 sayılı Maden Kanunu Madde 2’de maden olarak tanımlanmamış olup,

6326 sayılı Petrol Kanunu Madde 2’de tanımlanmaktadır. Ayrıca ANSI Z16 Komitesi, MSHA ve EUROSTAT sektör raporlarında da “06 - Ham Petrol ve Doğalgaz Çıkarımı” madencilik sektörü iş kazaları ve meslek hastalıkları açısından madencilik sektörü içerisinde değerlendirilmemektedir.

Sektörlere göre kayıp günlerin dağılımlarını bulmak için beta, gama, Weibull, lognormal ve üssel gibi standart dağılımlar incelenmiştir (Hogg ve Klugman, 1983). Kaybedilen iş günlerinin vaka bazında dağılımı, minimum olarak sıfır gün kaybı ile maksimum olarak ölümcül yaralanmalara karşılık gelen 6.000 gün kayıplı vakaların önemli bir oranı olduğundan, modellemedeki esnekliği nedeniyle beta dağılımı seçilmiştir. Verilerin dağılım uyumlulukları için en küçük kareler tekniği ve uyum oranları için Kolmogorov-Smirnov D-istatistik testi (K-S D-istatistik) kullanılmıştır (Conover, 1980). Bu çalışma için kullanılan istatistiksel ve ilgili programlar Microsoft Office Excel 2021, IBM SPSS Statistics Versiyon 27, Wolfram Mathematica Version 12’dir.

Çalışma kapsamında SGK’den elde edilen verilerin incelenmesi ile, 2012-2020 yılları arasında “05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması” kodlu 5.254 adet, “07 - Metal Cevheri Madenciliği” kodlu 7.775 adet, “08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı” kodlu 43.211 adet ve “09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler kodlu” 4.612 adet olmak üzere toplam 60.852 adet işyeri olduğu görülmüştür. Çizelge 2’de de görüldüğü üzere “08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı” kodlu işyeri sayısı her yıl diğer çalışma alanlarından çok daha fazladır. “05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması” kodlu işyerleri sayısının yıllar ilerledikçe azaldığı fakat “07 - Metal Cevheri Madenciliği” kodlu işyerlerinin sayısının yaklaşık %40 ve “08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı” kodlu işyerlerinin de yaklaşık iki kat arttığı görülmüştür. Madencilik sektöründe faaliyet gösteren toplam işyeri sayısının ise yıllar içinde yaklaşık %3,34 oranında artış gösterdiği görülmektedir.

Madencilik sektöründe yer alan toplam 60.852 adet işyerinde çalışan sigortalı sayısı incelendiğinde ise “05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması” kodlu işyerlerinde 365.230 adet, “07 - Metal Cevheri Madenciliği” kodlu işyerlerinde 230.700 adet, “08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı” kodlu işyerlerinde 543.362 adet ve “09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler” kodlu işyerlerinde 71.634 adet olmak üzere toplam 1.210.926 adet sigortalı çalıştığı görülmüştür. Çizelge 3’te de görüldüğü üzere her ne kadar “08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı” kodlu işyeri sayısı diğer çalışma alanlarından en az 4 kat fazla olsa da sigortalı sayısı olarak yaklaşık 2 kat fazla olduğu görülmüştür. Bu durum, bu kodlu işyerlerindeki istihdam sayısının daha az olduğunu göstermektedir.

Tüm alt sektörlerde 2012-2020 yılları arasında sigortalı sayısı açısından yatay bir seyir izlenirken “05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması” kodlu işyerlerinde çalışan sigortalı sayısında yaklaşık %35’lik bir azalma olmuştur. Madencilik sektöründe yıllık ortalama 134.547 adet sigortalının istihdam edildiği görülmüştür. Çalışmadaki tüm hesaplamalarda sadece resmi olarak kayıtlı olan sigortalı çalışanlara ait verilerin kullanıldığını belirtmek yerinde olacaktır. Kaçak olarak işletilen maden işyerleri/ocakları ve buralarda çalıştırılan kaçak/sigortasız çalışanlar hesaplamada yer almamaktadır. Ayrıca SGK’da kaydı bulunmayan ya da bulunsada dahi SGK’ya iş kazası olarak bildirilmeyen olaylar resmi veri olarak kayıt altına alınmadığı için bu çalışmada sınırlılık olarak karşımıza çıkmaktadır.

Aktif çalıştırılan sigortalıları cinsiyet risk faktörleri açısından incelendiğinde, iş kazası geçiren sigortalı erkek çalışan sayısının sigortalı kadın çalışan sayısından daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. “05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması” kodlu işyerlerinde meydana iş kazalarının tüm madencilik sektörü içerisindeki oranı yaklaşık %71,37 olarak bulunmuştur. “05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması” kodlu işyerlerinde 80.086 adet, “07 - Metal Cevheri Madenciliği” kodlu işyerlerinde 11.306 adet, “08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı” kodlu işyerlerinde 16.997 adet ve “09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler” kodlu işyerlerinde 3.825 adet olmak üzere toplam 112.214 adet sigortalı erkek çalışanın iş kazası geçirdiği Çizelge 4’te gösterilmiştir.

Çizelge 1. Madencilik sektörü ekonomik faaliyet sınıflaması

Ekonomik Faaliyet Sınıflaması		
05 - Kömür ve Linyit Çıkarılması	05.1 - Taşkömürü madenciliği	05.1.0 - Taşkömürü madenciliği
	05.2 - Linyit madenciliği	05.2.0 - Linyit madenciliği
		05.2.2 - Diğer kömürlerin işletmeciliği
07 - Metal Cevheri Madenciliği	07.1 - Demir cevheri madenciliği	07.1.0 - Demir cevheri madenciliği
	07.2 - Demir dışı metal cevherlerin madenciliği	07.2.1 - Uranyum ve toryum cevherlerinin madenciliği
		9-Diğer demir dışı metal cevherlerin madenciliği
08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı	08.1 - Kum, kil ve taş ocakçılığı	08.1.1 - Süsleme ve yapı taşlarının, kireç taşı, alçı taşı, tebeşir ve kayağan ocakçılığı
		08.1.2 - Çakıl ve kum ocaklarının faaliyetleri, kil ve kaolin çıkarımı
	08.9 - Başka yerde sınıflandırılmamış diğer madencilik ve taşocakçılığı	08.9.1 - Kimyasal ve gübreleme amaçlı mineral madenciliği
		08.9.2 - Turba çıkarımı ve briketlenmesi
		08.9.3 - Tuz çıkarımı
		08.9.4 - Deniz ve göllerde tuz çıkarımı
		08.9.5 - Kaya tuzu ve diğer tuzların çıkarımı
		08.9.6 - Alüminyum maden arama işleri (Petrol ve tabii gaz arama işleri hariç)
		08.9.7 - Müstakilen yapılan maden ve cüruf temizleme, ayıklama işleri.
		08.9.9 - Başka yerde sınıflandırılmamış diğer madencilik ve taşocakçılığı
09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler	09.1 - Petrol ve doğal gaz çıkarımını destekleyici faaliyetler	09.1.0 - Petrol ve doğal gaz çıkarımını destekleyici faaliyetler
	09.9 - Madencilik ve taş ocakçılığını destekleyici diğer faaliyetler	09.9.0 - Madencilik ve taş ocakçılığını destekleyici diğer faaliyetler

Çizelge 2. Madencilik sektörü işyeri sayısı

Yıl	05 - Kömür ve Linyit Çıkarılması	07 - Metal Cevheri Madenciliği	08 - Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı	09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler	Yıllık Toplam
2012	756	924	4.621	343	6.644
2013	740	951	4.678	407	6.776
2014	717	942	4.555	473	6.687
2015	656	924	4.697	459	6.736
2016	614	881	4.760	522	6.777
2017	436	779	5.004	560	6.779
2018	444	775	4.958	613	6.790
2019	443	783	4.966	605	6.797
2020	448	816	4.972	630	6.866
Toplam	5.254	7.775	43.211	4.612	60.852

Çizelge 3. Madencilik sektörü sigortalı sayısı

Yıl	05 - Kömür ve Linyit Çıkarılması	07 - Metal Cevheri Madenciliği	08 - Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı	09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler	Yıllık Toplam
2012	50.949	22.518	58.961	5.202	137.630
2013	48.706	24.039	60.911	7.125	140.781
2014	41.058	23.422	56.250	8.232	128.962
2015	40.508	22.392	59.893	5.948	128.741
2016	37.582	22.991	61.489	7.595	129.657
2017	37.596	27.746	65.181	7.833	138.356
2018	35.953	28.559	60.474	10.085	135.071
2019	36.436	28.188	58.320	9.083	132.027
2020	36.442	30.845	61.883	10.531	139.701
Toplam	365.230	230.700	543.362	71.634	1.210.926

Çizelge 4. Madencilik sektöründe iş kazası geçiren sigortalı erkek çalışan sayısı

Yıl	05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması	07 - Metal Cevheri Madenciliği	08 - Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı	09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler	Yıllık Toplam
2012	8.828	421	564	99	9.912
2013	11.285	1.044	1.574	244	14.147
2014	10.021	1.024	1.538	268	12.851
2015	7.422	986	1.602	266	10.276
2016	8.270	1.026	1.987	317	11.600
2017	8.465	1.601	2.506	325	12.897
2018	8.388	1.751	2.745	734	13.618
2019	8.968	1.732	2.390	924	14.014
2020	8.439	1.721	2.091	648	12.899
Toplam	80.086	11.306	16.997	3.825	112.214

Sigortalı kadın çalışanların iş kazası durumu incelendiğinde ise "08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı" kodlu işyerlerinde meydana iş kazalarının tüm madencilik sektörü içerisindeki oranı yaklaşık %59,05 olarak bulunmuştur. "05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması" kodlu işyerlerinde 70 adet, "07 - Metal Cevheri Madenciliği" kodlu işyerlerinde 128 adet, "08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı" kodlu işyerlerinde 323 adet ve "09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler" kodlu işyerlerinde 26 adet olmak üzere toplam 547 adet sigortalı kadın çalışanın iş kazası geçirdiği **Çizelge 5**'te gösterilmiştir. Sigortalı erkek çalışanların iş kazası sayısının sigortalı kadın çalışanların iş kazası sayısından yaklaşık 205,14 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Kısacası 1 sigortalı kadın çalışan iş kazasına karşılık 205 adet sigortalı erkek çalışan iş kazası meydana gelmektedir. Aktif çalışan sigortalıların kayıp iş günü risk faktörleri açısından durumunu incelediğinde, iş kazası sonrası sigortalı erkek çalışanların kayıp iş günlerini genellikle ayakta tedavi şeklinde geçirdikleri görülmüştür. Sigortalı erkek çalışanların en fazla "05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması" kodlu işyerlerinde kayıp iş günü yaşadıkları görülmüş olup bu durum Tablo 4 ve Şekil 3 ile de anlamlı bir bütünlük oluşturmaktadır.

"05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması" kodlu işyerlerinde 1.042.404 (ayakta 1.023.002, yatarak 19.399), "07 - Metal Cevheri Madenciliği" kodlu işyerlerinde 125.525 (ayakta 119.281, yatarak 6.244), "08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı" kodlu işyerlerinde 286.362 (ayakta 270.666, yatarak 15.696) ve "09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler" kodlu işyerlerinde 41.980 (ayakta 40.648, yatarak 1.332) olmak üzere toplam 1.496.268 günlük iş kaybı olduğu hesaplanmış ve **Çizelge 6**'da gösterilmiştir. "05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması" kodlu işyerlerinde meydana iş kazalarındaki kayıp iş günü toplamının tüm madencilik sektörü içerisindeki oranı yaklaşık %69,66 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5. Madencilik sektöründe iş kazası geçiren sigortalı kadın çalışan sayısı

Yıl	05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması	07 - Metal Cevheri Madenciliği	08 - Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı	09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler	Yıllık Toplam
2012	0	0	5	2	7
2013	4	11	26	0	41
2014	5	6	18	3	32
2015	7	11	37	5	60
2016	4	11	58	7	80
2017	3	21	31	5	60
2018	11	24	61	0	96
2019	15	24	45	2	86
2020	21	20	42	2	85
Toplam	70	128	323	26	547

İş kazası sonrası sigortalı kadın çalışanların ise kayıp iş günlerini sigortalı erkek çalışanlarda olduğu gibi genellikle ayakta tedavi şeklinde geçirdikleri görülmüştür. Sigortalı kadın çalışanların en fazla "08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı" kodlu işyerlerinde kayıp iş günü yaşadıkları görülmüş olup bu durum Tablo 5 ve Şekil 4 ile de anlamlı bir bütünlük oluşturmaktadır.

"05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması" kodlu işyerlerinde 450 (ayakta 442, yatarak 8), "07 - Metal Cevheri Madenciliği" kodlu işyerlerinde 1.360 (ayakta 1.335, yatarak 25), "08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı" kodlu işyerlerinde 4.029 (ayakta 3.907, yatarak 122) ve "09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler" kodlu işyerlerinde 120 (ayakta 120, yatarak 0) olmak üzere toplam 5.959 günlük iş kaybı olduğu hesaplanmış ve **Çizelge 7**'de gösterilmiştir. "08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı" kodlu işyerlerinde meydana iş kazalarındaki kayıp iş günü toplamının tüm madencilik sektörü içerisindeki oranı yaklaşık %67,61 olarak bulunmuştur.

Sigortalı erkek ve kadın çalışanların cinsiyet ve kayıp iş günü risk faktörlerinin oranlanması ile 1 sigortalı erkek çalışanın kayıp iş gününün kaç sigortalı kadın çalışan kayıp iş gününe eşit olduğunu bulunabilir. **Çizelge 8**'de görüldüğü üzere 2012 yılında oran 1703,64 iken 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun yürürlüğe girdiği 2013 yılında bu oranın 228,94'e düştüğü ve 2013 yılı sonrasında ortalama 268,72 olarak ilerlediği hesaplanmıştır. Bu durum sigortalı erkek çalışanların iş kazası geçirdiklerinde sigortalı kadın çalışanlara oranla ortalama 268,72 günlük iş kaybına uğradıklarını göstermektedir. Tablo 6 ve Tablo 7'deki yatarak geçirilen kayıp iş günü verileri bu durumun açıklayıcısı ve hesaplamalar sonucu elde edilen bulguların destekleyicisidir.

Çizelge 6. Sigortalı erkek çalışanların iş kazası sonrası iş görmezlik süreleri

Yıl	05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması		07 - Metal Cevheri Madenciliği		08 - Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı		09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler		Yıllık Toplam
	Ayakta	Yatarak	Ayakta	Yatarak	Ayakta	Yatarak	Ayakta	Yatarak	
2012	136.803	2.452	10.808	617	18.407	891	2.046	44	172.068
2013	126.487	2.335	12.383	892	25.381	967	2.756	46	171.247
2014	97.380	1.541	8.946	339	20.142	1.001	2.819	80	132.248
2015	104.323	2.072	11.657	579	28.457	1.914	4.660	292	153.954
2016	111.982	2.677	13.309	686	36.543	2.765	4.727	187	172.876
2017	126.455	2.172	18.443	1.188	42.445	2.200	4.406	268	197.577
2018	71.790	1.866	12.343	764	33.228	2.459	3.408	58	125.916
2019	126.125	2.643	15.880	619	36.223	1.951	9.078	206	192.725
2020	121.657	1.641	15.512	560	29.840	1.548	6.748	151	177.657
Toplam	1.023.002	19.399	119.281	6.244	270.666	15.696	40.648	1.332	1.496.268
	1.042.401		125.525		286.362		41.980		

Çizelge 7. Sigortalı kadın çalışanların iş kazası sonrası iş görmezlik süreleri

Yıl	05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması		07 - Metal Cevheri Madenciliği		08 - Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı		09 - Madenciliği Destekleyici Hizmetler		Yıllık Toplam
	Ayakta	Yatarak	Ayakta	Yatarak	Ayakta	Yatarak	Ayakta	Yatarak	
2012	0	0	0	0	85	0	16	0	101
2013	25	0	648	4	71	0	0	0	748
2014	90	7	26	0	117	5	0	0	245
2015	45	0	183	14	513	66	55	0	876
2016	60	0	27	3	461	14	8	0	573
2017	58	1	110	4	602	8	24	0	807
2018	0	0	28	0	422	6	0	0	456
2019	22	0	95	0	636	1	0	0	754
2020	142	0	218	0	1.000	22	17	0	1.399
Toplam	442	8	1.335	25	3.907	122	120	0	5.959
	450		1.360		4.029		120		

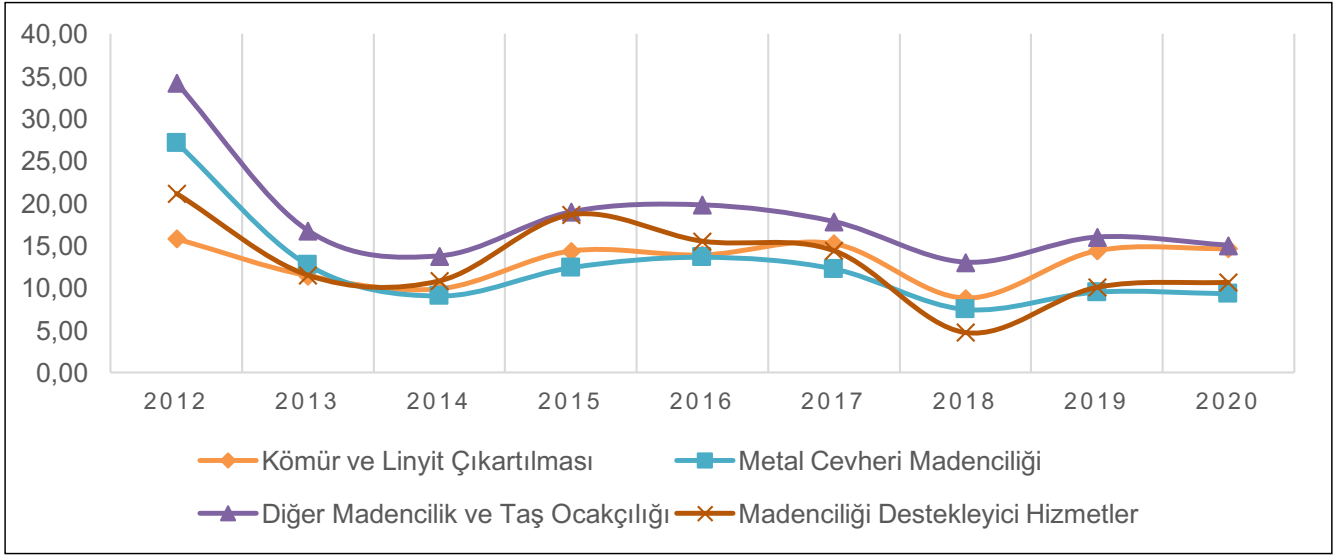
Çizelge 8. İş kazası sonrası yıllık iş görmezlik süreleri

Yıllar	Erkek	Kadın	Oran (Erkek/Kadın)
2012	172.068	101	1.703,64
2013	171.247	748	228,94
2014	132.248	245	539,79
2015	153.954	876	175,75
2016	172.876	573	301,70
2017	197.577	807	244,83
2018	125.916	456	276,13
2019	192.725	754	255,60
2020	177.657	1.399	126,99

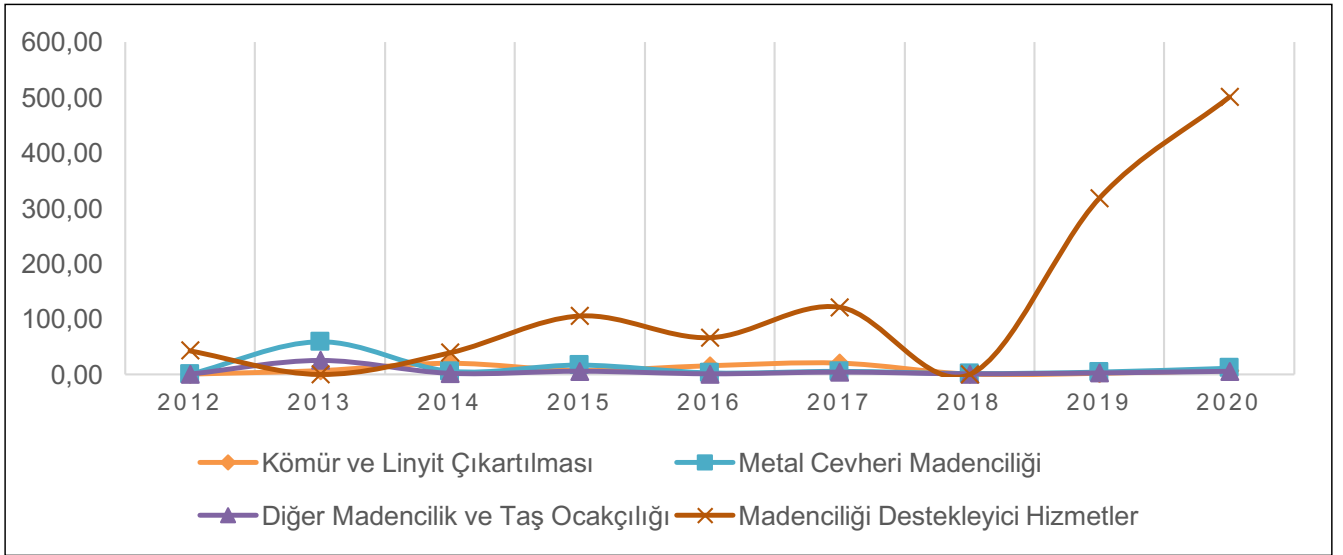
Sigortalı erkek ve kadın çalışanların, 1 sigortalı başına iş görmezlik sürelerinin cinsiyet risk faktörü doğrultusunda incelenmesinde ise Şekil 1'de görüldüğü üzere sigortalı erkek çalışanların tüm alt sektörlerde azalan seyir izleyen iş görmezlik süreleri geçirdikleri görülmektedir. Sigortalı kadın çalışanların ise Şekil 2'de görüldüğü üzere özellikle "09 - Madenciliği Destekleyici Hiz-

metler" kodlu işyerlerinde istihdam edilmelerinin artması sonucunda çalışan sayılarının ve iş kazalarının da artması ile iş görmezlik sürelerinin 500 iş gününe vardığı görülmektedir.

Her alt sektörle ilişkili risk değerlerini değerlendirmek ve riskteki farkı tahmin etmek için, $f(x, \alpha, \beta)$ uyarlanmış eğrilerinin kümülatif formu hesaplanmıştır. Belirli bir değeri aşan bir kaybın olasılığını temsil etme kolaylığı için, $1-f(x, \alpha, \beta)$ formu kullanılmıştır. Her eğri, belirli bir kayıp büyüklüğü için çizilen değeri yani bir vakanın verilen büyüklükten daha fazla kayıp iş gününe sahip olma olasılığını temsil etmektedir. "Normalleştirilmiş veri" olarak adlandırılan özet bir ölçü olarak, $1-f(x, \alpha, \beta)$ fonksiyonunun (0,1) aralığı üzerindeki integrali hesaplanmış ve (0,1) aralığında tanımlanan herhangi bir kümülatif dağılım fonksiyonu için, bu integralin değeri 0 ile 1 arasında olduğu ve bu fonksiyonun altındaki alanın, modellenen durum grubu için ortalama riske benzediği kabul edilmiştir. Her alt sektör için elde edilen normalleştirilmiş riskler, "daha küçük" alanın "daha güvenli" bir sektördeki, koşul ve nüfusa karşılık geldiğini göstermektedir (Eşitlik 1). Normalleştirilmiş riskler için güven aralıkları, ilgili Kolmogorov-Smirnov tablo değeri kullanılarak gözlemlenen ve uyarlanan eğrileri bantlayan "güven eğrileri" entegre edilerek hesaplanmaktadır. Formül, x yılında α (cinsiyet) ve β (kayıp iş günü) risk faktörlerinin hesaplanmasını göstermektedir (Massey, 1951).



Şekil 1. Çalışan erkek sigortalarının iş görmezlik sürelerinin yıllara göre dağılımı



Şekil 2. Çalışan kadın sigortalarının iş görmezlik sürelerinin yıllara göre dağılımı

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{\Sigma(\alpha+\beta)}{\Sigma(\alpha)\Sigma(\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} \quad (1)$$

Çizelge 9'da da görüldüğü üzere "05 - Kömür ve Linyit Çıkarılması" kodlu işyerlerinde her 100 işçiden 23,21'inin iş kazası geçirdiği ve diğer işyerlerinin yaklaşık 4 katı oranında iş kazası meydana geldiği belirlenmiştir. "07 - Metal Cevheri Madenciliği" kodlu işyerinde bu sayı 5,64 işçi, "08 - Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı" kodlu işyerlerinde 3,45 işçi ve "09 - Madencilik Destekleyici Hizmetler" kodlu işyerinde ise 6,17 işçidir. Kaza olasılık oranlarının yıllara göre değişimini incelendiğinde ise tüm işyerlerinde yıllık artışların gözlenmiştir.

Çizelge 9. Normalleştirilmiş veriler ışığında kaza olasılık oranları

Yıllar	05 - Kömür ve Linyit Çıkarılması	07 - Metal Cevheri Madenciliği	08 - Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı	09 - Madencilik Destekleyici Hizmetler
2012	17,33	1,87	0,97	1,94
2013	23,18	4,39	2,63	3,42
2014	24,42	4,40	2,77	3,29
2015	18,34	4,45	2,74	4,56
2016	22,02	4,51	3,33	4,27
2017	22,52	5,85	3,89	4,21
2018	23,36	6,22	4,64	7,28
2019	24,65	6,23	4,18	10,19
2020	23,21	5,64	3,45	6,17

3. Sonuçlar

Türkiye madencilik sektörünü oluşturan "05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması", "07 - Metal Cevheri Madencilik", "08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı" ve "09 - Madencilik Destekleyici Hizmetler" kodlu işletmelerde meydana gelen iş kazalarının kayıp iş günü ve cinsiyet risk faktörleri göz önünde bulundurularak sürveyans analizi yapılmıştır. Yaşanan iş kazalarının azaltılması için sektörü oluşturan alt sektörler için iş kazaları verilerinin ayrı ayrı analiz edilerek, istatistiksel olarak iş kazalarının durum analizinin yapılması ve iş güvenliği performanslarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yapılan analiz çalışmaları sorunların çözümü için kaza olasılıklarının bulunması açısından önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında, Amerika Birleşik Devleti Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI) tarafından madencilik sektöründe kullanılan Z16.1-1967 isimli standart kapsamında yapılan çalışmalar ülkemize uyarlanmış ve madencilik sektöründe yer alan işyerlerinin uluslararası kodları dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışma, madenlerde güvenlik programı performansının etkinliği için daha geniş bir gösterge seti arayışı ile yapılmıştır. 2012-2020 yılları arasında Sosyal Sigortalar Kurumu (SGK)'na bildirilen çok kapsamlı ve ayrıntılı iş kazaları verileri tek tek incelenmiş çalışma saatleri içerisinde meydana gelen iş kazalarının cinsiyet ve iş görmezlik risk faktörleri doğrultusunda incelenmesi ile sektör hakkında geleneksel risk tahminlerinin dışına çıkılarak net veriler ortaya koyulmuştur. Madencilik yaralanmalarından kaynaklanan kayıp iş günü sonuçları, iş güvenliği programlarının çeşitli yönleri için en değerli göstergeleridir. Toplam vaka sayıları ve vaka oranları dahil olmak üzere geleneksel önleyici program performans ölçümlerine hala ihtiyaç duyulurken; kayıp zaman ölçümleri, çeşitli sektörler ve zaman periyotları arasında güvenlik programı performansının önemli yönlerini karşılaştırma imkanı sunmaktadır. Özellikle, kayıp iş günlerinin dağılımının istatistiksel olarak modellenmesi, iş kazalarının önlenmesinde hangi önlemin işe yarayıp neyin yaramadığını daha etkili bir şekilde izlemek için kayıpları ölçmek için kullanılabilir. Madencilik sektöründeki yaralanmalardan kaynaklanan kayıp iş günü sonuçları, iş güvenliği programlarının çeşitli yönlerini ortaya koymak açısından değerli göstergelerdir. Toplam iş kazası sayıları ve iş kazası oranları dahil olmak üzere geleneksel önleyici programların performans ölçümlerine günümüzde halen ihtiyaç duyulmaktadır.

Madencilik sektöründe 2012-2020 yılları arasında SGK'ya kayıtlı toplam 60.852 işyerinde toplam 1.210.926 adet sigortalı işçi çalıştırılmıştır. Yıllık ortalama 134.547 adet sigortalının istihdam edildiği sektörde, kaçak/izinsiz işletilen maden ocaklarının olduğu ve buralarda sigortasız işçiler olduğu da bilinmektedir. Bu türden işyerlerinin sayısının tam olarak bilinmemesi ne kayıtlı olmaları sebebiyle çalışma kapsamında yer almamaktadır. Madencilik sektöründe iş kazası geçiren sigortalıların cinsiyetleri incelendiğinde 11.214'sini erkek, 547'sinin ise kadın olduğu görülmektedir. Kaza geçiren sigortalı erkek çalışanların toplam 1.496.268 gün, sigortalı kadın çalışanların ise 5.959 gün iş görmezlik süresi geçirdiği görülmektedir. Erkek sigortalı çalışanların en fazla "05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması", kadın sigortalı çalışanların ise en fazla "08 - Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı" işyerlerinde iş kazası geçirdiği bulunmuştur. Erkek ve kadın sigortalıların cinsiyet ve kayıp iş günü risk faktörlerinin birbirine oranlanması ile erkek sigortalıların iş kazası geçirdiklerinde kadın sigortalılara oranla ortalama 268,72 günlük iş kaybına uğradıklarını hesaplanmıştır. Kadın ve erkek sigortalıların, 1 sigortalı başına iş görmezlik sürelerinin cinsiyet risk faktörü doğrultusunda incelenmesinde ise sigortalı kadın çalışanların özellikle "09 - Madencilik Destekleyici Hizmetler" kodlu işyerlerinde istihdam edilmelerinin artması sonucunda çalışan sayılarının ve iş kazalarının da artması ile iş görmezlik sürelerinin 500 iş gününe vardığı görülmektedir. Her alt sektöre özgü olarak normalleştirilmiş veriler ışığında kaza olasılıkları oranları incelendiğinde ise her 100 işçiden "05 - Kömür ve Linyit Çıkartılması" koldu işyerlerinde 23,21 işçinin, "07 - Metal Cevheri Madencilik" koldu işyerlerinde 5,64 işçinin, "08 - Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı" koldu işyerlerinde 3,45 işçinin ve "09 - Madencilik

Destekleyici Hizmetler" koldu işyerinde ise 6,17 işçinin iş kazası geçirdiği hesaplanmıştır.

Madencilik sektörüne özgü olarak yapılacak olan bu ve bunun gibi çalışmalar, sektörün iş sağlığı ve güvenliği açısından genel durumunu ortaya koyacaktır. Meydana gelecek olan iş kazalarının sayısının azalmasına da katkı sağlayacaktır. Yıllara göre madencilik sektöründe yaşanan iş kazaları incelendiğinde, meydana gelen iş kazası sayısında azalmalar görülmektedir. Ancak bu azalmaların, umut veren ve istenilen seviyelerde olmadığı da açıktır. Bu nedenle madencilik sektörünü oluşturan tüm paydaşların ortak ve özverili iş güvenliği çalışmaları yürüterek iş kazalarını azaltmayı amaçlaması gerekmektedir. Madencilik sektöründe yaşanan iş sağlığı ve güvenliği sorunlarıyla yüzleşmek için aynı zamanda multidisipliner düzeyde, dış ve iç organizasyon faktörleri, sosyo-ekonomik durum, teknolojik değişimler, güvenlik kültürü, bilgi transferi, ekip/işyeri inovasyonu ile entegre modellerin de geliştirmesi gerekmektedir.

Genel olarak Türkiye madencilik sektörü için mesleki yaralanmalara ve meslek hastalıklarına ilişkin verilerin önemli sınırlamalara sahip olduğu bilinmektedir. Araştırmacılar; düzenleyici, idari ve yasal gereklilikler dahil olmak üzere yaptıkları bilimsel çalışmalarda araştırma kapsamı dışındaki amaçlar için toplanan verilerden sonuçlar çıkarmakla karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum araştırmacıları eksik ve idealden daha az bilgi/veri ile faaliyetleri ve müdahaleleri önceliklendirilmesini gerektiren kararlarla sürekli olarak karşı karşıya bırakmaktadır. Bu kararlar içinde sürveyans verilerinin toplanması da istisna değildir.

Sonuç olarak, cinsiyet ya da yaşanan iş kazası sonrasında ortaya çıkan kayıp iş günü risk faktörleri de göz önünde bulundurulduğunda, iş sağlığı ve güvenliği kültürünün gelişimi ile iş kazalarının tamamının önlenilebileceği ortadadır. İş kazalarının ve yaralanmaların önlenilebilmesi için yapılacak olan iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinde cinsiyet faktörünün de göz önüne alınarak sektör içinde yer alan işyerlerinde izlenecek politikaların şekillenmesi gerekmektedir. İş görmezlik sürelerinin iş kazaları ile orantılı olarak arttığı ve tüm madencilik sektörünü etkileyen büyük bir kayıp olarak karşımıza çıktığı görüldüğü için her şeyden önce çalışanlar iş sağlığı ve güvenliği kültürünün oluşturulması için çalışanların neyi neden yaptığını bilmeli ve alınması gereken önlemlerin işçiyi korumaya yönelik olduğunun bilincinin tüm sektöre kazandırılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- American National Standards Institute [ANSI]. 1967. Method of recording and measuring work injury experience. New York: Author.
- Ames, R.G., Trent, R.B. 1985. Respiratory predictors of disability days: a five year prospective study of U.S. coal miners. *American Journal of Industrial Medicine*, 7(4), 337-342.
- Beyan, A.C, Demiral, Y. 2016. Meslek hastalıkları ve sürveyans, *Türk Tabipler Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, Ekim 2015 - Mart 2016, 89-95.
- Bilim, N., Dursun A.E., Bilim, A. 2015. Maden ekipmanlarına bağlı iş kazalarının genel değerlendirmesi ve çözüm önerileri. *Türkiye 5. Uluslararası Maden Makinaları Sempozyumu ve Sergisi*, 1-12, Eskişehir, Türkiye.
- Ceylan, H., Ergüzen, A. 2011. A software program system to estimate workplaces accidents in production, XIX. World Congress on Safety and Health at Work, Istanbul.
- Chambers, L.W., Ehrlich, A., O'Connor, S.K., Edwards, P., Hockin, J. 2006. Health surveillance: an essential tool to protect and promote the health of the public. *Can J Public Health*, 97(3), 2-8.
- Coleman, P.J., Kerkerling, J.C. 2007. Measuring mining safety with injury statistics: Lost workdays as indicators of risk, *Journal of Safety Research*, 38(2007), 523-533. doi:10.1016/j.jsr.2007.06.005

- Conover, W.J. 1980. Practical Nonparametric Statistics. 2nd Edition, New York: John Wiley & Sons.
- Çalış, Ç., Çalış, S. 2021. Türkiye ve Azerbaycan iş kazası oranlarının tanımlayıcı istatistiksel yöntem ile karşılaştırılması. II. International Hazar Scientific Researches Conference, Baku, Azerbaijan.
- Çalış, S., Çalış, Ç., Koçali, K., Büyükkakıncı, B.Y. 2021. 18-65 yaş arası kişilerin antropometrik verilerinin belirlenmesi üzerine bir alan araştırması: yükseköğretim kurumu uygulaması. *Ergonomi*, 4(3), 147-161. doi: 10.33439/ergonomi.962614
- EUROSTAT. 2022. Non-fatal accidents at work by NACE Rev. 2 activity and sex. https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=hs-sw_n2_01&lang=en [Erişim tarihi: 24 Şubat 2022].
- Garcia-Abreu, A., Halperin, W., Danel, I. 2002. Public Health Surveillance Toolkit: A Guide for Busy Task Managers. World Bank: Washington D.C.
- Grayson, R.L., Althouse, R.C., Winn, G.L., Klishis, M.J., 1998. A new injury-analysis methodology for developing prioritized workplace intervention strategies. *J. Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 13(1), 41-52. doi: 10.1080/1047322X.1998.10389545
- Grayson, R.L., Layne, L.A., Althouse, R.C., Klishis, M.J. 1992. Risk indices for roof bolter injuries using micro-analysis. *Mining Engineering*, 44(2), 164-166
- Hogg, R., Klugman, S. 1983. On the estimation of long-tailed skewed distributions with actuarial applications. *Journal of Econometrics*, 23(1), 91-102.
- Hunting, K. L., Weeks, J. L. 1993. Transport injuries in small coal mines: an exploratory analysis. *Am J Public Health*, 23(3), 391-406. doi: 10.1002/ajim.4700230303
- Kecojevic, V., Komljenovic, D., Groves, W., Radomsky, M. 2007. An analysis of equipment-related fatal accidents in US mining operations: 1995-2005. *Safety Science*, 45(8), 864-874. doi: 10.1016/j.ssci.2006.08.024
- Koçali, K. 2018a. Şırmak kömür madeni kazası ışığında kömür madencilikindeki uygunsuzluklar hakkında öneriler. Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresi "ICCET 2018", 387-399, Zonguldak, Türkiye.
- Koçali, K. 2018b. Açık ocak maden işletmelerinde işçi anketleri ile iş sağlığı ve güvenliği kültürü ve uygulamasının araştırılması. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 57(1), 15-24. doi: 10.30797/madencilik.422843
- Koçali, K. 2019. Türkiye'de 2017 yılında yaşanan kömür madeni faciası sonrası sektörün iş sağlığı ve güvenliği açısından irdelenmesi. *The Journal of Academic Social Sciences*, 2019(95), 486-496. doi: 10.16992/ASOS.15154
- Koçali, K. 2021. Sosyal Güvenlik Kurumu'nun 2012-2020 yılları arası iş kazaları göstergelerinin standardizasyonu. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 12(2), 302-327. doi: 10.54688/ayd.1012081
- Kurt, M., Ceylan, H. 2001. İş güvenliğinde tehlike değerlendirme teknikleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(4), 1117-1130.
- Massey, F.J. 1951. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46, 68-78.
- Mital, A., Pennathur, A., Kansal, A. 1999. Nonfatal occupational injuries in the United States Part I - overall trends and data summaries. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25(1999), 109-129.
- Nieto, A., Gao, Y., Grayson, L., Fu, G. 2014. A comparative study of coal mine safety performance indicators in China and the USA. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 5(4), 299-314. doi: 10.1504/IJMME.2014.066578
- Palmer, S. 2000. Surveillance of diseases. Gail M.H, Benichou, J. (Eds.). *Encyclopedia of Epidemiologic Methods*. Chichester: Wiley, 885-90.
- Puttick, L. 1990. Sickness absence due to skin disorders in the coal mining industry. *Journal of the Society of Occupational Medicine*, 40(1), 23-28. doi: 10.1093/occmed/40.1.23
- Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK). 2021. SGK 2012-2021 İstatistik Yıllıkları. http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari. [Erişim tarihi: 24 Şubat 2022].
- Thacker, S.B. 2000. Historical development. Teutsch, S.M., Churchill, R.E. (Eds.) *Principles and Practice of Public Health Surveillance*. 2nd ed. New York: Oxford University Press. 1-16.
- U.S. Department of Labor Bureau of Labor Statistics [BLS]. 1920. Standardization of Industrial Accident Statistics, Bulletin No. 276. Washington, DC: Government Printing Office.
- U.S. Department of Labor Mine Safety and Health Administration [MSHA]. 1986. Report on 30 CFR Part 50. <https://arlweb.msha.gov/ACCINJ/accinj.htm> [Erişim tarihi: 22 Şubat 2022].
- United States of America Standards Institute [USAS]. 1968. *Method of Recording and Measuring Work Injury Experience*. New York: Author.
- Yıldız, T.D., 2021. Loss of profits occurring due to the halting of mining operations arising from occupational accidents or reasons related to legislation. *Gospodarka Surovcami Mineralnymi: Mineral Resources Management*, 37(4), 153-176. doi: 10.24425/gsm.2021.139739.



Derleme / Review

Türkiye’de maden mühendisliği eğitime istatistiksel bakış

Statistical overview of mining engineering education in Turkey

Burçin Kaymakoglu^{a,*}, Tuğba Deniz Tombal Kara^{b,**}^a Adana Alparslan Türkçe Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE^b Adana Alparslan Türkçe Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE

Geliş-Received: 31 Mart-March 2022 * Kabul-Accepted: 26 Mayıs-May 2022

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye’deki üniversitelerin Maden Mühendisliği eğitimi veren bölümlerinin güncel durumu irdelenmiştir. Bu kapsamda öncelikli olarak üniversitelerin Maden Mühendisliği bölümü ile ilgili genel bilgiler ve Türkiye’de Maden Mühendisliği bölümlerinde son 10 yılda açılan kontenjan ve yerleşen öğrenci sayıları verilmiştir. Maden Mühendisliği bölümlerinde hali hazırda kayıtlı olan lisans, yüksek lisans ve doktora öğrenci sayıları ve unvan bazında akademisyen sayıları verilerek, her bir eğitim programı için akademisyen başına düşen öğrenci sayıları irdelenerek eğitimin ve mesleğin geleceği açısından çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Maden Mühendisliği, Eğitim, Tarihçe, Güncel durum

ABSTRACT

In this study, the current situation of the Mining Engineering departments of the universities in Turkey was examined. In this context, first of all, general information about the Mining Engineering departments of the universities and the quota opened in the Mining Engineering departments in Turkey in the last 10 years and the number of students placed were given. The number of undergraduate, graduate and doctoral students currently registered in Mining Engineering departments and the number of academicians on the basis of title were given; the number of students per academician for each education program was examined, and solution suggestions were presented for the future of education and the profession.

Keywords: Mining Engineering, Education, History, Current status

Giriş

Bilim tarihi 20. yüzyılın başında hüviyet kazanmaya başlamışsa da mühendislik tarihi daha kısa bir geçmişe sahip alandır (Günay, 2001). Bilim ve teknolojiye hızlı gelişmeler, teknolojik uygulamalar ve üretimin dünyanın bütün ülkelerine yayılması sonucunda, hem çalışan mühendislerin sayısı hızla artmış, hem de mühendislik uzmanlık konuları temel mühendislik konularının çok ötesine geçmiştir (Gençoğlu ve Gençoğlu, 2005).

Dünyadaki eğitim kurumlarının tamamında mühendislik programlarına ilişkin bilgiler öğrenciler ve üniversiteler kadar işverenler ve çeşitli mühendislik toplulukları, lisanslama ve akreditasyon kuruluşları için önemli hale gelmiştir (Deniz, 2015).

Geçmiş yıllarda mühendisliğin sadece teknik bilgi ve becerilerin öne çıktığı bir meslek olduğu düşünülüyor olsa da günümüzde iyi bir mühendis olabilmek için sadece bu kriterlerin yeterli olmadığı fikri ön plana çıkmıştır. İyi bir mühendis olabilmek için kişinin kendini sürekli yeniliyor olması, teknolojiyi takip ederek değişen ve gelişen şartlara uyum sağlayabiliyor olması, takım çalışmasına yatkın olması, çözüm odaklı olması beklenmektedir (Akgül vd., 2013). Mühendislik eğitiminin temel amacı, öğrencilere toplumun karşılaşacağı teknik sorunları çözme deneyimi ve becerisi kazandırmaktır. Bu vesileyle çalıştıkları fabrika ve atölyelerde kullandıkları her türlü üretim araç ve gereçlerini geliştirmek, toplumun yeni teknolojilerden olabildiğince yararlanmasına katkı sağlamaları amaçlanmaktadır (Bilgin vd., 2013).

* Sorumlu yazar / Corresponding author: ttombal@atu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-5658-6854>** bkaymakoglu@atu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-4885-6399>

Ülkemizde mühendislik eğitimi 1800'lü yıllarda başlamış olsa da, 1940'lı yıllara kadar açılan okul ve yetiştirilen mühendis açısından sınırlı kalmıştır. 1960'lı yıllarda yeni okullar açılmaya başlanmış, 1970'lerde kontrolden çıkmaya başlasa da belirli bir düzene oturtulmuştur. Hali hazırda ülkemizde oldukça iyi eğitim veren ve uluslararası kalitede mühendis yetiştiren köklü fakülte ve bölümler olmasına rağmen, yetersiz altyapı ile eğitim-öğretime devam eden fakülteler de vardır (Özsoy, 2013).

Mühendislik mesleğinin en önemli dallarından birisi olan Maden Mühendisliği inşaat, mekanik ve elektrik mühendisliğinin yanı sıra cevher hazırlama, jeoloji, kimya ve fizik unsurlarını, mineral gelişiminin sosyal ve çevresel etkilerini de içeren multidisipliner bir mühendislik alanıdır. Öğrenciler, dünyadaki maden kaynaklarının geliştirilmesi, değerlendirilmesi ve geri kazanılması için bilimsel teori ve modern teknoloji uygulamalarının yanında yolların, tünellerin, yeraltı atık bertaraf odaları vb. inşaat alanlarının da uygulamalarını öğrenmektedir (Deniz, 2015). Ülkemizde Maden Mühendisliği disiplininin çalışma alanları, 80'li yıllara kadar cevher üretimi, endüstriyel hammadde üretimi ve değerlendirme süreçleri, petrol sondajları ve üretimi, metal üretimi ve baraj-tünel-liman yatırımlarının projelendirilmesi konularında gelişmiştir. Söz konusu çalışma alanlarına, günümüzde endüstriyel geri kazanım, yeraltı ve yerüstü mühendislik yapıları, açık deniz kıyı mühendisliği, kömür/cevher-hammadde pazarlama ve satışı gibi alanlar da eklenmiştir. Bu suretle, giderek dinamik bir yapıya sahip olan maden mühendisliği mesleğinin önemi daha da artmıştır (Avşaroğlu, 2007).

Maden Mühendisliği eğitiminde geçmişte amaç temel bilim ve mühendislik bilgilerinin yanında uzmanlık dalının gerektirdiği bilgi ve deneyimi kazanmış, bilim ve teknolojiyi madencilik gelişimi ve kalkınmasına dönüştürebilen mühendisler yetiştirmek iken; küresel mineral endüstrisi geçmişe göre yapısal, teknolojik, çevresel duyarlılık, işçi ve sendika bilinci ve küresel rekabet yönünden farklılıklar gösterdiğinden maden mühendisliği eğitimi de bundan etkilenmektedir. Madencilik sektörü hem mühendis, hem de yönetici özelliklerine sahip, toplum ve medya ile iletişim kurabilen, çevre ve emniyet konularına duyarlı eleman istihdam etmek istemektedir (Özbayoğlu, 2011). Dünyadaki maden mühendisliği eğitimi son yarım yüzyıldır değişim içerisinde. Tanınmış birçok bölüm kapatılmıştır. Türkiye'de maden mühendisliği, diğer mühendislik alanları içinde değeri en az bilinen bölümlerin başında gelmektedir. Bu durumun nedenleri arasında işsizlik, maden endüstrisindeki istikrarsızlık, yatırımların azlığı, çalışma koşullarının zorluğu, kazaların korkutucu sonuçları ve etkileri, çevrecilerin genel olarak madencilere karşı olan olumsuz bakış açıları sayılabilir (Özbayoğlu, 2011).

Bu çalışmada Türkiye'deki üniversitelerin Maden Mühendisliği eğitimi veren bölümlerinin güncel durumu irdelenmiştir. Bu kapsamda üniversitelerin Maden Mühendisliği bölümü ile ilgili genel bilgiler ve Türkiye'de Maden Mühendisliği bölümlerinde son 10 yılda açılan kontenjan ve yerleşen öğrenci sayıları verilmiş; Maden Mühendisliği bölümlerinde hali hazırda kayıtlı olan lisans, yüksek lisans ve doktora öğrenci sayıları ve unvan bazında akademisyen sayıları verilerek, her bir eğitim programı için akademisyen başına düşen öğrenci sayıları irdelenerek eğitimin ve mesleğin geleceği açısından çözüm önerileri sunulmuştur.

1. Dünya'da ve Türkiye'de Maden Mühendisliği Eğitiminin Tarihçesi

Dünyada ilk maden teknik okulu 1736'da Avusturya'da kurulmuştur (Kaya, 1998). İlk madencilik akademileri ise, 18. yüzyılın sonlarında bazı Orta Avrupa Devletlerinin hükümetleri tarafından politik-ekonomik nedenlerle kurulmuş ve genellikle daha önceki madencilik okullarının özel teknik öğretim geleneğini devam ettirmişlerdir (Vaccari, 2009). Madencilik eğitim ve öğretimi; çıraklık, deneycilik ve bilim-teknik arasındaki güçlü bağların zayıflığı nedeniyle, belirlenen geleneksel bir sistem içinde kademeli bir şekilde gelişim göstermiştir (Brianta, 2000). Dünya'da kurulan ilk maden okulları Çizelge 1'de verilmiştir (Avşaroğlu, 2001).

Çizelge 1. Dünya'da kurulan ilk maden okulları

Kuruluş Yılı	Yeri	Açıklama
1736*	Chemnitz, Avusturya İmparatorluğu	Macaristan'daki Miskolc'a taşındı.
1756	Potosi, Sömürge İspanya'sı	Şimdi Bolivya'da
1765	Freiberg, Saksonya	Almanya
1770	Berlin	Almanya
1773	Saint Petersburg, Leningrad	Rusya
1782	Vergana	İspanya
1783	Paris	Fransa, Ecole Superiour des Mines
1792	Meksika City	Meksika
1820	Falun, İsveç	Stockholm'a taşındı. Kraliyet Teknoloji Enstitüsü
1848	Leoben, Avusturya İmparatorluğu	

* İlk olarak teknik okul olarak kuruldu, 1762'de Akademiye yükseltildi.

Egemenliği altındaki geniş alanlarda çeşitli madenlere sahip olan Osmanlı Devleti, 19. yüzyılın ikinci yarısında bu madenlerden maksimum verim elde etmek ve bu madenlerin genel hazineye katkısını artırmak için bir dizi faaliyete başlamıştır. Bu faaliyetlerden biri de kalifiye eleman eksikliğini gidermek için bir okul kurulmasıdır (Kış, 2015). Bu nedenle, Türkiye'nin ilk madencilik okulu olan "Orman ve Maadin Mektebi", Osmanlı İmparatorluğu'nun ilk maden mühendisi İbrahim Ethem Paşa tarafından 1872'de kurulmuştur. 7 dönem eğitim-öğretim faaliyetlerinin devam ettiren okul, 49 Orman ve Maden Mühendisi mezun ettikten sonra kapanmıştır. 1924'e kadar madencilik eğitimi veren herhangi bir okul açılmamış, öğrenciler yüksek ihtisaslarını Avrupa'da bulunan üniversitelere gönderilerek tamamlamışlardır (Keskin, 2007; Özbayoğlu, 2011). Eğitim amacıyla yurt dışına gönderilen öğrenciler de yetersiz kalınca, Cumhuriyet İdaresi Zonguldak'ta Maden Mühendisliği eğitimi veren bir yükseköğretim kurumunu açmayı planlamış ve bu yönde ilk kurum "Yüksek Maadin Mühendisi Mekteb-Ali'si" ismiyle 1924 yılında açılmıştır (Özer ve Karabalık, 2017). Bu kurum ilk mezunlarını 1928'de vermiş, dört dönem boyunca 69 mezun vererek 1931 yılında kapanmıştır. 1930'da Yüksek Maadin ve Sanayi Mühendisi Mektebi'nde mühendislik öğretiminin yanında madenlere başçavuş yetiştirmeye yönelik olarak orta derecede ve iki yıllık bir "Maden Meslek Şubesi" açılmıştır. 1935'de Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün kurulmasında kısa bir süre sonra, 1937'de "Zonguldak Maden Tatbikat Mektebi" açılmıştır. 1940 yılında ise Zonguldak Maden Teknisyen Mektebi kurulmuştur. 1941 yılında Maden Tatbikat Mektebi, bu yeni okula bağlı olarak, üç yıllık Zonguldak Maden Başçavuş Mektebi'ne dönüştürülmüştür (Dölen, 2021). 1950'de Zonguldak Maden Teknik Okulu adını alan okul Maden Mühendisi diploması vermeye başlamıştır. 1953 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği bölümü eğitim-öğretime başlamıştır. Zonguldak Maden Teknik Okulu 1961'de kapatılmış ve öğrencileri İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesine katılmışlardır (Özbayoğlu, 2011).

2. Türkiye'de Maden Mühendisliği Eğitiminin Güncel Durumu

Türkiye'deki üniversitelerin Maden Mühendisliği bölümleriyle ilgili genel bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Türkiye üniversitelerinin Maden Mühendisliği bölümleriyle ilgili genel bilgiler

Üniversite	Bulunduğu Şehir	Kuruluş Tarihi	Eğitim Dili	Staj süresi (iş günü)	Staj adedi	Akreditasyon
İTÜ	İstanbul	1953	%30 İngilizce	45	2	ABET
ODTÜ	Ankara	1960	İngilizce	40	2	ABET
HÜ	Ankara	1969	İngilizce	40	2	MÜDEK
ESOGÜ	Eskişehir	1975	Türkçe	40	3	-
BEÜN	Zonguldak	1975	Türkçe	30	3	MÜDEK
DEÜ	İzmir	1982	Türkçe	60	3	MÜDEK
SCÜ	Sivas	1987	-	-	-	-
ÇÜ	Adana	1990	Türkçe	40	2	MÜDEK
İÜC	İstanbul	1991	Türkçe	40	2	MÜDEK
KTÜ	Trabzon	1991	Türkçe	60	3	MÜDEK
DÜ	Diyarbakır	1992	Türkçe	40	2	-
İNÜ	Malatya	1992	Türkçe	30	2	-
KTÜN	Konya	1992	Türkçe	60	3	-
SDÜ	Isparta	1992	Türkçe	45	2	-
DPÜ	Kütahya	1993	Türkçe	60	3	-
AKÜ	Afyonkarahisar	2002	Türkçe	60	3	-
YYÜ	Van	2003	Türkçe	-	-	-
ASÜ	Aksaray	2006	Türkçe	40	2	-
ÖHÜ	Niğde	2008	Türkçe	40	2	-
ŞÜ	Şırnak	2008	Türkçe	30	2	-
ATAÜNİ	Erzurum	2009	-	-	-	-
GŞÜ	Gümüşhane	2009	Türkçe	40	2	-
MSKÜ	Muğla	2010	İngilizce	40	2	MÜDEK
ATÜ	Adana	2012	İngilizce	40	2	-
ÇOMÜ	Çanakkale	2012	Türkçe	40	2	-
UÜ	Uşak	2012	Türkçe	40	2	-

ABET: Accreditation Board for Engineering and Technology, MÜDEK: Mühendislik Eğitim Programları Değerlendirme ve Akreditasyon Derneği

Türkiye’de Maden Mühendisliği eğitiminin güncel durumunun irdelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın evreni, 21 şehirde bulunan ve Türkiye’de aktif olarak akademik hayatına devam ederek Maden Mühendisliği eğitimi veren 24 bölümdür. Atatürk Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü 2020 yılında, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü 2021’de kapanmıştır. 4 üniversitenin eğitim dili İngilizce, 1 üniversitenin %30 İngilizce, 19 üniversitenin de Türkçe’dir. 2 üniversite ABET akreditasyonuna, 7 üniversite de MÜDEK akreditasyonuna sahiptir. Akreditasyon programlarının amacı, mühendislik eğitiminin kalitesini yükseltmek amacıyla programlara sertifika vermektir. Akreditasyon işlemi, Mühendislik Fakülteleri’ndeki eğitim ve öğretimin tarafsız bu konuda yetkin bir kurum tarafından belirlenen temel esaslara göre düzenli aralıklarla kontrolü ve değerlendirilmesidir. Bu denetleme sonunda bir öz değerlendirme yapılarak o fakülteye ait programlara bir onay verilmekte ve bölüm akredite edilmektedir (Bilgin vd., 2013; Özççek ve Karaca, 2019). Çizelge 3’de Maden Mühendisliği bölümlerinde son 10 yılda açılan kontenjan ve yerleşen öğrenci sayıları verilmiştir.

Önceleri 8 üniversitede aynı zamanda ikinci öğretim programı olsa da, 4 tanesi 2013 yılı itibarıyla, 4 tanesi de 2014 yılı itibarıyla öğrenci alımına son vermiştir. Gümüşhane Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü henüz öğrenci alımı yapmamış olan tek bölümdür. 2000 yılından sonra açılan bölümler incelendiğinde, YYÜ ve ATAÜNİ 1 eğitim-öğretim yılı, ASÜ ve UÜ 2 eğitim-öğretim yılı, ÖHÜ ve ATÜ 3 eğitim-öğretim yılı, ŞÜ 4 eğitim-öğretim yılı ve ÇOMÜ 6 eğitim-öğretim yılında kontenjan açmış ve öğrenci alımı yapmıştır. MSKÜ ve AKÜ çalışmada söz konusu olan tüm eğitim-öğretim yıllarında öğrenci alımı yapmıştır. İTÜ, HÜ ve ODTÜ halen kontenjanını dolduran üniversitelerdir. İÜC 2018 yılına kadar; DEÜ, ESOGÜ ve KTÜ de 2017 yılına kadar kontenjanının tamamını doldurabilmiş olan üniversitelerdir. ASÜ, ÖHÜ, UÜ ve YYÜ 2015 yılından itibaren, DÜ 2018 yılından itibaren, ÇOMÜ, KTÜN ve DPÜ 2019 yılından itibaren kontenjan açmamış ve öğrenci alımı yapmamıştır. ATÜ 2021 yılında öğrenci alımı yapmamıştır. Yıllara göre üniversitelere açılan toplam kontenjan ve toplam yerleşen öğrenci sayılarına ait grafik Şekil 1’de verilmiştir.

Çizelge 3. Türkiye üniversiteleri Maden Mühendisliği bölümlerinde son 10 yılda açılan kontenjan ve yerleşen öğrenci sayıları (ÖSYM, 2022)

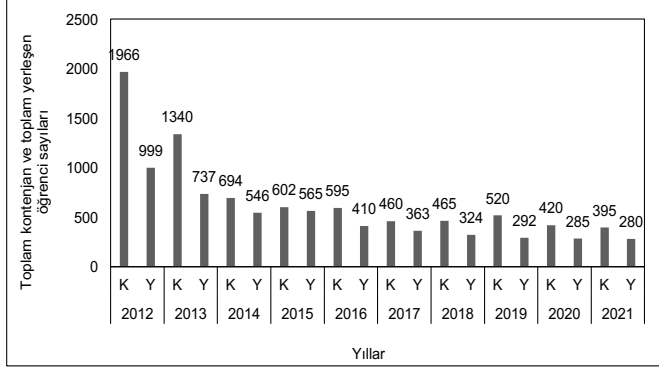
	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	K	Y	K	Y	K	Y	K	Y	K	Y	K	Y	K	Y	K	Y	K	Y	K	Y
ATÜ	-	-	-	-	21	4	-	-	-	-	-	-	-	-	15	2	15	2	-	-
AKÜ	72	18	41	9	11	7	11	11	10	5	10	3	10	2	10	3	10	4	10	1
ASÜ	-	-	41	0	11	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ATAÜNi	57	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ÇOMÜ	-	-	41	13	21	21	21	21	15	2	10	3	10	1	-	-	-	-	-	-
ÇÜ	82	41	52	22	31	13	31	17	20	8	10	5	10	3	-	-	20	3	20	5
ÇÜ (İÖ)	82	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DÜ	62	36	52	19	31	15	26	11	25	7	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-
DEÜ	82	82	82	82	82	82	82	82	80	75	80	54	80	36	60	27	50	34	40	33
DEÜ(İÖ)	82	82	82	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESOGÜ	82	82	72	72	52	52	52	52	40	32	30	19	30	16	30	14	30	10	20	20
ESOGÜ(İÖ)	82	54	72	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GŞÜ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HÜ	72	72	72	72	62	62	62	62	60	62	60	62	60	62	60	62	60	61	60	62
İNÜ	62	14	41	15	21	9	21	17	15	0	-	-	-	-	-	-	-	-	30	0
İNÜ(İÖ)	62	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İTÜ(%30)	41	41	41	41	36	36	41	41	60	62	60	61	60	61	60	61	60	62	60	62
İTÜ(%100)	41	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İÜC ¹	67	67	62	62	62	62	62	62	60	62	60	62	60	59	70	30	40	33	40	21
KTÜ	62	62	52	52	41	41	41	41	40	13	20	9	20	11	20	4	20	5	20	10
KTÜ(İÖ)	62	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KTÜN ²	72	70	62	27	31	16	26	26	30	4	10	4	10	1	-	-	-	-	-	-
KTÜN(İÖ) ²	72	2	62	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DPÜ	82	29	52	15	21	12	21	21	15	4	10	4	10	2	-	-	-	-	-	-
DPÜ(İÖ)	82	8	41	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSKÜ	54	44	41	20	31	26	31	31	30	6	10	11	20	9	20	5	20	7	20	6
ODTÜ	62	62	62	62	52	52	52	52	60	62	60	61	60	60	60	61	60	60	60	60
ÖHÜ	62	6	21	0	11	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SCÜ	82	14	52	6	11	6	-	-	10	2	10	0	-	-	20	0	-	-	-	-
SDÜ	82	22	41	9	11	11	11	11	15	3	-	-	-	-	20	4	20	2	-	-
SDÜ(İÖ)	82	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ŞÜ	-	-	41	4	11	1	-	-	-	-	-	-	15	0	15	1	-	-	-	-
UÜ	-	-	21	6	11	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
YYÜ	-	-	-	-	11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BEÜN	82	21	41	10	11	9	11	7	10	1	10	3	10	1	60	18	15	2	15	0
Toplam	1966	999	1340	737	694	546	602	565	595	410	460	363	465	324	520	292	420	285	395	280

K: Kontenjan, Y: Yerleşen, İÖ: İkinci öğretim

1: 2018 yılına kadar İstanbul Üniversitesi bünyesindedir.

2: 2018 yılına kadar Selçuk Üniversitesi bünyesindedir.

*Tablodaki verilere ek yerleştirmeler dahil edilmemiştir.



Şekil 1. Yıllara göre üniversitelere açılan toplam kontenjan ve toplam yerleşen öğrenci sayıları

Şekil 1’de de görüldüğü üzere, 2012 yılından itibaren hem kontenjanlarda hem de yerleşen öğrenci sayısında önemli ölçüde azalma mevcuttur. Ancak, 2012’de yerleşen öğrenci %50,8 oranındayken, 2021 yılına geldiğimizde bu oran %70,9’a çıkmıştır. Bektas vd. (2011), mühendislik eğitiminin yeterli sayıda öğretim üyesi, yeterli laboratuvar ve altyapı olanakları, çağa uygun bir

Çizelge 4. Türkiye üniversitelerindeki Maden Mühendisliği bölümleri toplam lisans, yüksek lisans ve doktora programları öğrenci sayıları (YBYS, 2022)

	Lisans		Yüksek Lisans		Doktora		Toplam	
	f	%	f	%	f	%	f	%
ATÜ	3	0.09	0	0.00	0	0.00	3	0.07
AKÜ	89	2.52	27	4.35	7	3.17	123	2.82
ASÜ	4	0.11	0	0.00	0	0.00	4	0.09
ATAÜNİ	1	0.03	0	0.00	0	0.00	1	0.02
ÇOMÜ	44	1.25	6	0.97	0	0.00	50	1.15
ÇÜ	119	3.37	14	2.26	23	10.41	156	3.57
DÜ	24	0.68	43	6.94	4	1.81	71	1.63
DEÜ	510	14.46	25	4.03	15	6.79	550	12.59
ESOGÜ	249	7.06	57	9.19	12	5.43	318	7.28
GŞÜ	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
HÜ	370	10.49	54	8.71	24	10.86	448	10.26
İNÜ	62	1.76	24	3.87	3	1.36	89	2.04
İTÜ	397	11.26	48	7.74	25	11.31	470	10.76
İÜC	350	9.93	29	4.68	19	8.60	398	9.11
KTÜ	118	3.35	20	3.23	19	8.60	157	3.60
KTÜN	75	2.13	39	6.29	10	4.52	124	2.84
DPÜ	151	4.28	54	8.71	11	4.98	216	4.95
MSKÜ	80	2.27	22	3.55	2	0.90	104	2.38
ODTÜ	432	12.25	47	7.58	17	7.69	496	11.36
ÖHÜ	25	0.71	21	3.39	1	0.45	47	1.08
SCÜ	64	1.82	25	4.03	8	3.62	97	2.22
SDÜ	138	3.91	20	3.23	8	3.62	166	3.80
ŞÜ	3	0.09	11	1.77	0	0.00	14	0.32
UÜ	53	1.50	3	0.48	0	0.00	56	1.28
YYÜ	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
BEÜN	165	4.68	31	5.00	13	5.88	209	4.78
Toplam	3526	100.00	620	100.00	221	100.00	4367	100.00

f: frekans, %:yüzde

eğitim programı ile gerçekleşmesi gerekliliğinin biliniyor olmasına rağmen, gerek açılan okullar gerekse arttırılan kontenjanlar açısından planlama anlayışının olmamasının, özellikle belirli bölümlerden mezun mühendislerin istihdam sorununu arttırdığı gibi, bu kitlenin mesleki kimliklerinde sorunlar yarattığını belirtmişlerdir. Türkiye’nin Maden Mühendisi ihtiyacı da göz önünde bulundurulurken kontenjanlarda yapılmış ve yapılacak olan düzenlemelerle birlikte hem gerçekten Maden Mühendisliğini meslek edinecek öğrencilerin gelebilmesinin, hem de ihtiyaç doğrultusunda mezun verip işsizliğin en aza indirgenemesinin de önü açılmış olacaktır.

Hali hazırda öğrenim gören 3526 lisans, 620 yüksek lisans ve 221 doktora öğrencisi vardır. Üniversitelere göre lisans, yüksek lisans ve doktora öğrenci sayıları Çizelge 4’de verilmiştir. Sayıca en fazla lisans öğrencisi 510 öğrenci ile DEÜ’de, en fazla yüksek lisans öğrencisi 57 öğrenci ile ESOGÜ’de, en fazla doktora öğrencisi ise 25 öğrenci ile İTÜ’dedir. Coşar (2016) yapmış olduğu çalışmada öğrencilerin üniversite tercihinde üniversitenin tanınırlığının öne çıkan faktörlerden biri olduğunu belirtmiştir. Çatı vd. (2015) yapmış olduğu çalışmada öğrencilerin üniversite tercihinde kampüs özelliklerini dikkate aldığı sonucuna ulaşmıştır. Maden Mühendisliği eğitimi verilen üniversitelere bakıldığında, tanınırlığı yüksek, yerleşik ve düzenli kampüsü olan üniversitelerde öğrencilerin yoğunlaştığı görülmektedir.

Türkiye'deki üniversitelerin Maden Mühendisliği bölümlerinde istihdam edilmiş akademisyenlerin unvanlarına göre sayısal ve oransal değerleri Çizelge 5'de verilmiştir.

26 üniversitede toplam 132 profesör, 59 doçent, 62 doktor öğretim üyesi, 7 öğretim görevlisi ve 98 araştırma görevlisi istihdam edilmiştir. 14 profesör ile ESOGÜ bünyesinde sayıca en fazla pro-

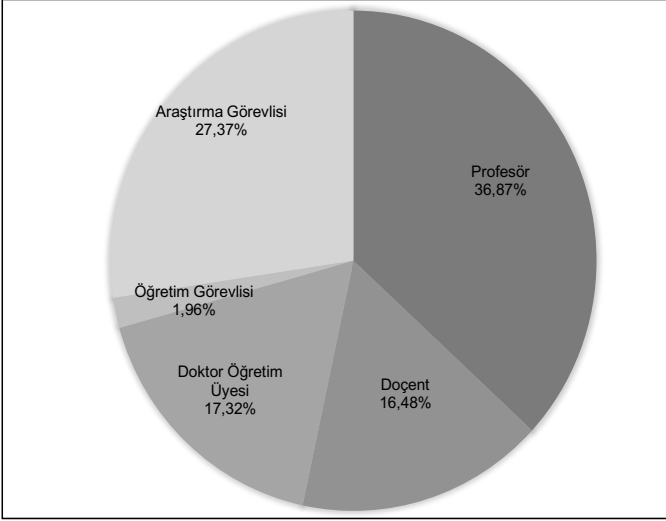
fesörü barındıran; 11 doçent ile DEÜ bünyesinde en fazla doçenti barındıran; 5'er doktor öğretim üyesiyle ESOGÜ, HÜ, DPÜ ve YYÜ bünyesinde en fazla doktor öğretim üyesini barındıran; 14 araştırma görevlisiyle ODTÜ bünyesinde en fazla araştırma görevlisini barındıran üniversitelerdir. Toplam akademisyen sayısı en fazla olan üniversite 40 akademisyen ile DEÜ'dür.

Çizelge 5. Türkiye üniversitelerindeki Maden Mühendisliği bölümleri unvana göre toplam akademisyen sayıları (YBYS, 2022)

	Profesör		Doçent		Doktor Öğretim Üyesi		Öğretim Görevlisi		Araştırma Görevlisi		Toplam	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
ATÜ	3	2,27	0	0,00	1	1,61	0	0,00	3	3,06	7	1,96
AKÜ	3	2,27	5	8,47	2	3,23	2	28,57	1	1,02	13	3,63
ASÜ	1	0,76	1	1,69	0	0,00	0	0,00	1	1,02	3	0,84
ATAÜNI	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
ÇOMÜ	1	0,76	1	1,69	2	3,23	0	0,00	0	0,00	4	1,12
ÇÜ	6	4,55	1	1,69	3	4,84	0	0,00	2	2,04	12	3,35
DÜ	7	5,30	0	0,00	1	1,61	1	14,29	2	2,04	11	3,07
DEÜ	13	9,85	11	18,64	3	4,84	1	14,29	12	12,24	40	11,17
ESOGÜ	14	10,61	4	6,78	5	8,06	0	0,00	6	6,12	29	8,10
GŞÜ	0	0,00	1	1,69	2	3,23	0	0,00	4	4,08	7	1,96
HÜ	10	7,58	7	11,86	5	8,06	1	14,29	8	8,16	31	8,66
İNÜ	4	3,03	2	3,39	1	1,61	0	0,00	0	0,00	7	1,96
İTÜ	6	4,55	5	8,47	1	1,61	0	0,00	8	8,16	20	5,59
İÜC	8	6,06	1	1,69	4	6,45	1	14,29	8	8,16	22	6,15
KTÜ	9	6,82	5	8,47	1	1,61	0	0,00	7	7,14	22	6,15
KTÜN	8	6,06	2	3,39	3	4,84	0	0,00	7	7,14	20	5,59
DPÜ	11	8,33	0	0,00	5	8,06	0	0,00	4	4,08	20	5,59
MSKÜ	3	2,27	2	3,39	2	3,23	1	14,29	1	1,02	9	2,51
ÖHÜ	2	1,52	3	5,08	3	4,84	0	0,00	0	0,00	8	2,23
ODTÜ	4	3,03	1	1,69	2	3,23	0	0,00	14	14,29	21	5,87
SCÜ	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
SDÜ	8	6,06	2	3,39	3	4,84	0	0,00	3	3,06	16	4,47
ŞÜ	2	1,52	1	1,69	4	6,45	0	0,00	0	0,00	7	1,96
UÜ	2	1,52	0	0,00	2	3,23	0	0,00	0	0,00	4	1,12
YYÜ	1	0,76	1	1,69	5	8,06	0	0,00	4	4,08	11	3,07
BEÜN	6	4,55	3	5,08	2	3,23	0	0,00	3	3,06	14	3,91
Toplam	132	100.00	59	100.00	62	100.00	7	100.00	98	100.00	358	100.00

f: frekans, %:yüzde

Şekil 2'de akademisyenlerin unvan bazlı dağılımları verilmiştir.



Şekil 2. Akademisyenlerin unvan bazlı dağılımları

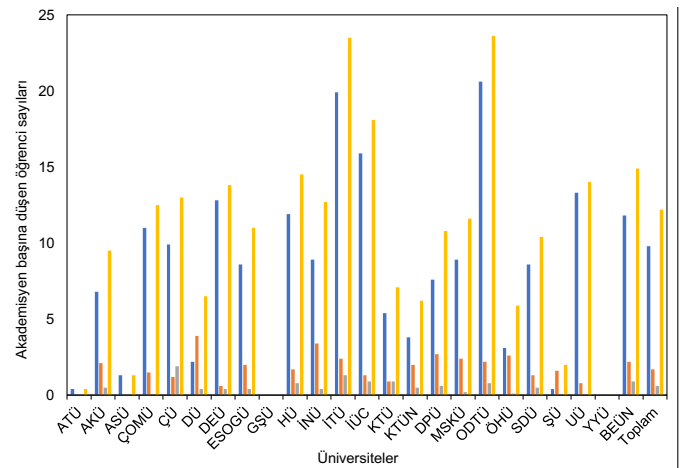
Türkiye'deki tüm üniversitelerdeki mevcut akademisyen sayılarına bakıldığında, istihdam edilmiş akademisyenlerin %17,42'sini profesörler, %10,88'ini doçentler, %22,47'sini doktor öğretim üyeleri, %20,77'sini öğretim görevlileri ve %28,45'ini de araştırma görevlileri oluşturmaktadır (YBYS, 2022). Bu oranlar kıyaslandığında, Maden Mühendisliği eğitimi için akademisyen oranlarının kendi içinde yeterli düzeyde olduğu söylenebilir.

Çizelge 6'daki veriler kullanılarak Şekil 3'de oluşturulmuş olan grafikte Türkiye'deki Maden Mühendisliği bölümlerinde akademisyen başına düşen lisans, yüksek lisans, doktora ve toplam öğrenci sayıları verilmiştir.

Maden Mühendisliği bölümleri için incelendiğinde, akademisyen başına düşen lisans öğrencisi sayısının en fazla olduğu üniversiteler sırasıyla 20,6 ile ODTÜ, 19,9 ile İTÜ ve 15,9 ile İÜC'dir. Yüksek lisans öğrenci sayısı incelendiğinde, 3,9 ile DÜ ve 3,4 ile İNÜ öne çıkmakta; doktora öğrenci sayısına bakıldığında da 1,9 ile ÇÜ ve 1,3 ile İTÜ öne çıkmaktadır. Toplam öğrenci sayısı için akademisyen başına düşen öğrenci sayısının en fazla olduğu üniversiteler 23,6 ile ODTÜ, 23,5 ile İTÜ ve 18,1 ile İÜC'dir. Bursalıoğlu ve Selim (2015), yapmış oldukları çalışmada akademisyen başına düşen öğrenci sayısının Yükseköğretimde etkinliği belirleyen faktörlerden biri olduğunu ve bu sayı arttıkça etkinlik skorlarının negatif yönde etkilendiğini belirtmişlerdir. Akademisyen başına düşen öğrenci sayısında genel ortalamaya baktığımızda, devlet üniversitelerinde akademisyen başına 41 öğrenci düşmektedir (Çoban ve Bayat, 2019). Buna göre, maden mühendisliği bölümlerinde akademisyen başına düşen öğrenci sayısının tolere edilebilir seviyelerde olduğu söylenebilir.

Çizelge 6. Türkiye üniversiteleri Maden Mühendisliği bölümlerinde akademisyen başına düşen lisans, yüksek lisans, doktora ve toplam öğrenci sayıları

	Lisans	Yüksek Lisans	Doktora	Toplam
ATÜ	0,4	0,0	0,0	0,4
AKÜ	6,8	2,1	0,5	9,5
ASÜ	1,3	0,0	0,0	1,3
ÇOMÜ	11,0	1,5	0,0	12,5
ÇÜ	9,9	1,2	1,9	13,0
DÜ	2,2	3,9	0,4	6,5
DEÜ	12,8	0,6	0,4	13,8
ESOGÜ	8,6	2,0	0,4	11,0
GŞÜ	0,0	0,0	0,0	0,0
HÜ	11,9	1,7	0,8	14,5
İNÜ	8,9	3,4	0,4	12,7
İTÜ	19,9	2,4	1,3	23,5
İÜC	15,9	1,3	0,9	18,1
KTÜ	5,4	0,9	0,9	7,1
KTÜN	3,8	2,0	0,5	6,2
DPÜ	7,6	2,7	0,6	10,8
MSKÜ	8,9	2,4	0,2	11,6
ODTÜ	20,6	2,2	0,8	23,6
ÖHÜ	3,1	2,6	0,1	5,9
SDÜ	8,6	1,3	0,5	10,4
ŞÜ	0,4	1,6	0,0	2,0
UÜ	13,3	0,8	0,0	14,0
YYÜ	0,0	0,0	0,0	0,0
BEÜN	11,8	2,2	0,9	14,9
Toplam	9,8	1,7	0,6	12,2



Şekil 3. Türkiye üniversiteleri Maden Mühendisliği bölümlerinde akademisyen başına düşen lisans, yüksek lisans, doktora ve toplam öğrenci sayıları

Sonuçlar

Mühendislik mesleği geçmişten günümüze en saygın meslekler arasında yer almakta ve üniversiteye giriş aşamasında öğrencilerin tercih ettiği meslekler arasında bulunmaktadır. Üretimin başlangıç aşamasında bulunan Maden Mühendisliği mesleği halen daha hak ettiği değeri görmemektedir. Hem nitelikli mühendisler yetiştirip mesleğin hak ettiği değeri görmesi, hem de ülkedeki ihtiyaç doğrultusunda mezun vererek işsizlik oranının en aza indirilmesi için çeşitli düzenlemeler yapılması elzemdir (MMO, 2017). Türkiye’de Maden Mühendisliği eğitiminin irdelenmiş olduğu bu çalışma sonucunda;

1. Eğitim-öğretim için asgari altyapıyı sağlamıyor olan üniversitelerin tespit edilip revize edilmesi önemlidir. Laboratuvar olanakları, akademisyen sayıları, fiziki koşullar gibi eksiklik olduğu düşünülen konuların eğitim-öğretim için yeterli hale getirilmesi,

2. Hali hazırda eğitim-öğretime devam eden bölümlerin, ülkenin maden mühendisi ihtiyacını fazlasıyla karşılıyor olduğu düşünüldüğünden, yeni bölümlerin açılmaması,

3. Bölümlerin akredite edilmeleri, bölümlerin aktif olarak kendilerini yenilemesi ve eksiklerin tespit edilip giderilmesi açısından önemlidir. Eğitim-öğretim içeriklerinin nicelik ve nitelik açısından akreditasyon kurumu tarafından değerlendirilip, tüm üniversiteler için standart bir müfredat belirlenmesi; dolayısı ile bölümlerin bir akreditasyon programına dahil olmaları,

4. Ders içeriklerinin teknik gezilerle desteklenerek güçlendirilmesi, maden mühendisliği uygulama alanı ile ilgili tanıtıcı etkinlikler düzenlenmesi ve bu konularla ilgili üniversite-sanayi işbirliğinin sağlanması,

5. Staj süreleri ve adetlerinin tüm üniversitelerde standart bir hale getirilmesi; öğrencilerin yer altı işletmesi, açık işletme ve cevher hazırlama/zenginleştirme tesisini deneyimleyecek şekilde mezun olması,

6. Ülkenin maden mühendisi ihtiyacının tespit edilip, kontenjanların buna göre revize edilmesi ve üniversiteler arasında bölüm olanakları da göz önünde bulundurularak dağıtılması,

7. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, sanayi ve üniversiteler arası işbirliğinin daha da güçlendirilerek, odanın periyodik olarak öğrencilere ve üniversite eğitimine yönelik yaptığı çalışmalar irdelenerek bir yol haritası çizilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

- Akgül, A., Uçar, M.K., Öztürk, M.M., Ekşi, Z. 2013. Mühendislik eğitiminin iyileştirilmesine yönelik öneriler, geleceğin mühendisleri ve işgücü analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 17(1), Özel Sayı, 14-18.
- Avşaroğlu, N. 2001. Türkiye’de maden mühendisliği eğitimi tarihçesi. https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/5ba7c3bbe8402a4_ek.pdf [Erişim tarihi: 01.03.2022].
- Avşaroğlu, N. 2007. Türkiye’de mühendislik eğitimi ve maden mühendisliği eğitimine genel bir bakış. https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/459257ddab7b85b_ek.pdf?tipi=23&turu=X&sube=0 [Erişim tarihi: 01.03.2022].
- Bektaş, S., Fidan, Ş., Keçeci, S.B. 2011. yükseköğretimde sorunlar ve öneriler. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Bilgin, A., Şuçin, H., Polat, S. 2013. Türkiyede nasıl bir üniversite eğitimi uygulanmalı?. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 17(1), Özel Sayı, 8-13.

- Brianta, D. 2000. Education and training in the mining industry, 1750-1860: European Models and the Italian Case. *Annals of Science*. 57(3), 267-300. DOI: 10.1080/00033790050074165
- Bursalıoğlu, S.A., Selim, S. 2015. Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye’de yükseköğretimde etkinliği belirleyen faktörler. *Bilim*. 74, 45-70.
- Coşar, M. 2016. Üniversite tercihinde öğrencileri etkileyen faktörler. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*. 5, Özel Sayı, 1-5.
- Çatı, K., İstar, E., Özcan, H. 2016. Üniversite tercihlerine etki eden faktörlerin incelenmesi: Türkiye genelinde bir alan araştırması. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*. 6(2), 163-177.
- Çoban, A., Bayat, S. 2019. Türkiye’de bölgelerarası yükseköğretim alanındaki farklılıklar, 257-270, 6. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, Gaziantep/Türkiye.
- Deniz, V. 2015. Problems of mining education at Turkish universities: past, present and future. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 174, 441 - 447.
- Dölen, E. 2021. Zonguldak maden teknisyen mektebi (1940-1949). *Osmanlı Bilimi Araştırmaları*. 22(1), 1-66.
- Gençoğlu, M. T., Gençoğlu, E. 2005. Mühendislik lisans eğitimi ve başarı ölçütleri. *TMMOB Mühendislik Eğitimi Sempozyumu*.
- Günay D. 2001. Mühendislik, teknoloji ve tarih. *Mimar ve Mühendis Dergisi*. 30, 6-14.
- Kaya, M. 1998. Dünya’da ve Türkiye’de madencilik eğitimine genel bakış. *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 11(1), 17-24.
- Keskin, Ö. 2007. Osmanlı Devleti’nde yabancı maden mühendislerinin istihdamı ve Osmanlı madenciliğine hizmetleri. *Yakın Dönem Türkiye Araştırmaları*. 11, 79-92.
- Kış, S. 2015. First mining school in the Ottoman empire and mining engineer training. *History Studies*. 7(3), 111-121.
- Özbayoğlu, G. 2011. Maden mühendisliği eğitiminde eğilimler ve sorunlar. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*. 1(3), 156-160.
- Özçiçek, Y., Karaca, A. 2019. Yükseköğretim kurumlarında kalite ve akreditasyon: mühendislik eğitim programlarının değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi İİBF Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. 3(1), 114-149.
- Özer, H., Karabalık, K. 2017. Yükseköğretim tarihi içerisinde Zonguldak maden tatbikat (başçavuş) mektebi (1937-1940). *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*. 7(2), 185-191.
- Özsoy, A. 2013. Mühendislik eğitimine çalışan mühendislerin bakışı ve işyeri eğitimi modeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 17(1), Özel Sayı, 77-85.
- T.C. Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi Başkanlığı (ÖSYM). 2022. <https://www.osym.gov.tr/> [Erişim tarihi: 10.03.2022].
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası (MMO), 2017. IX. Maden mühendisliği eğitimi çalıştay sonuç bildirgesi. https://www.maden.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=10655&tipi=75&sube=0 [Erişim tarihi: 25.05.2022].
- Vaccari, E. 2009. Mining academies as centers of geological research and education in Europe between the 18th and 19th centuries. *De Re Metallica*. 13, 35-41.
- Yükseköğretim Bilgi Yönetim Sistemi (YBYS). 2022. <https://istatistik.yok.gov.tr/> [Erişim tarihi: 13.03.2022].

Bilimsel Madencilik Dergisi'ne Makale Gönderilmesi, Yazım Kuralları ve Yayına Kabul İlkeleri

1. DERGİ KAPSAMINDAKİ MAKALE TÜRLERİ

Dergi, Maden Mühendisliği alanında özgün bir araştırmayı bulgu ve sonuçları ile yansıtan kuramsal, deneysel ve uygulamalı araştırma makalelerine; yeterli sayıda bilimsel makaleyi tarayıp konuyu bugünkü bilgi ve teknoloji düzeyinde özetleyen, değerlendirme yapan ve bu bulguları karşılaştırarak yorumlayan tarama makalelerine; özgün bir yöntem veya tekniği tarif eden kısa makale olarak tanımlanabilecek teknik notlara ve gerçek ya da kuramsal bir mesleki uygulamayı temel alan, sistematik veri toplama ve veri analizi içeren vaka çalışmalarına yer vermektedir.

2. MAKALE GÖNDERİMİ

Bilimsel Madencilik Dergisi'ne makale gönderilmesi ve/veya gönderilen makalelerin takibi sadece elektronik ortamda, <http://www.mining.org.tr> adresinden erişebileceğiniz internet sitesindeki "Makale Gönder" sekmesi üzerinden yapılmaktadır. Aşağıda tanımlanan yazım kurallarına uygun olarak hazırladığınız makalenizi "doc" ya da "docx" uzantılı Microsoft Word dokümanı olarak göndermelisiniz.

Bilimsel Madencilik Dergisi'nde yayımlanması istemiyle gönderilecek olan makalelerin; başka bir yerde daha önce yayımlanmamış ve eş zamanlı olarak başka bir yerde sunulmak veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olması gerekmektedir.

Dergiye gönderilecek çalışmalarda, araştırma ve yayın etiğine uyulması tartışmasız bir ön koşul olarak kabul edilmektedir.

Daha önce herhangi bir kongre/sempozyum/konferans bildiriler kitabında tam metin olarak yayımlanan bir bildirinin Bilimsel Madencilik Dergisi Editörler Kurulu tarafından hakem değerlendirilmesine gönderilebilmesi için; bildirinin ilgili platformlardaki tartışmalarda aldığı geri bildirimler sonrasında yeniden kaleme alınarak yeni veri ve materyallerle geliştirilmesi/iyileştirilmesi, başlık ve özetin değişmiş olması, yeni bildirinin yayımlanmış bildiriye atıfta bulunması ve yazarın dergi editörlerini tüm süreç konusunda bilgilendirmesi gerekir. Yeniden düzenlenen bildirinin yayımlanmış bildiriyle benzeme oranı, herhangi bir intihal yazılımında %60 oranını geçmemelidir.

3. MAKALE YAZIM KURALLARI

3.1. Şablon

Makalenizi düzenlemek için örnek şablonu buradan indirebilirsiniz.

3.2. Makale Uzunluğu

Makalenin toplam uzunluğu 14 sayfayı geçmemelidir.

3.3. Sayfa Düzeni

A4 kâğıdı boyutlarına (21,0 x 29,7 cm) ayarlanmış Microsoft Word sayfası üzerindeki yazı alanı; üstten 2,5 cm, alttan 2,5 cm, soldan 2,5 cm ve sağdan 2,5 cm boşluk bırakılarak düzenlenmelidir.

3.4. Font

Yazılar Microsoft Word ile Arial 10 yazı tipi ile yazılmalıdır. Arial 12 yazı tipi sadece makale başlığında kullanılmalıdır. Başlıklar dışında kalın yazı kullanılmamalıdır. Belgenin tamamı tek aralıklı olmalı ve paragraflardan sonra 6 pt boşluk bırakılmalıdır.

3.5. Ön Sayfa

Ön sayfada yazının başlığı, yazar isimleri, kurumları, e-posta adresleri, ORCID numaraları, anahtar kelimeler ve bir özet ile abstract (İngilizce öz) bulunmalıdır. Yazının başlığı küçük harf olmalı, kısa ve konuyu en iyi yansıtacak şekilde seçilmelidir.

3.6. Yazarlar ve Kurumları

Yazar isimleri aynı satırda listelenmeli ve virgülle ayrılmalıdır. Kurum ve adres bilgileri yazar adlarının hemen altına yazılmalı ve a, b, c gibi üst simgelerle verilmelidir. Adresleri sadece kurum/kuruluş ismi, şehir ve ülke olarak verilmeli, cadde/sokak ismi ya da numarası gibi bilgiler yer almamalıdır. Sorumlu yazar mutlaka belirtilmelidir. Sorumlu yazar ve diğer yazarların e-posta adresleri ve ORCID numaraları, üst simge asterikslerle verilmek suretiyle ön sayfanın altına yazılmalıdır.

Örnek: Birinci Yazara*, İkinci Yazara**, Üçüncü Yazarb,***

a Kurum/Kuruluş/Üniversite Adı, Bölüm Adı, Şehir, Ülke

b Kurum/Kuruluş/Üniversite Adı, Bölüm Adı, Şehir, Ülke

Ön sayfanın en altına (lütfen bu bölümde Arial 9 font kullanın):

* Sorumlu yazar: birinci.yazar@e-posta.adresi.com • <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

** ikinci.yazar@e-posta.adresi.com • <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

*** ucuncu.yazar@e-posta.adresi.com • <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Eşit katkı:

Eşit derecede katkıda bulunan yazarlar, makalenin yazar listesinde (†) sembolü ile işaretlenmelidir.

Örnek: Birinci Yazara,*†, İkinci Yazara,**†, Üçüncü Yazarb,***,†

† Bu yazarlar makaleye eşit katkıda bulunmuş ve birinci yazarlığı paylaşmışlardır.

3.7. Öz

Türkçe öz, uzunluğu 175 kelimeyi geçmeyecek şekilde yazının amacını, içeriğini ve sonuçlarını kısa ve özlü olarak aktarmalıdır. Özetle kısaltma kullanımından kaçınılmalı, kaynak bilgisi verilmemeli, şekil veya tablolardan alıntı yapılmamalıdır. İngilizce öz, Türkçe öz ile uyumlu olmalıdır.

3.8. Anahtar Kelimeler

Anahtar kelime sayısı en fazla 5 olmalıdır.

3.9. Ana Metin

Yazının ana metni tek sütun olarak yazılmalıdır. Metin tamamen iki yana yaslanmalıdır. Ön sayfa dâhil tüm sayfalar numaralandırılmalıdır.

3.10. Bölümler

Araştırma makalelerinin aşağıdaki bölümlerde ya da eşdeğer bir bölümlenme ile düzenlenmesi önerilir:

GİRİŞ (alt başlık olmaksızın)

MALZEME VE YÖNTEM

SONUÇLAR

TARTIŞMA

3.10.1. Başlıklar

Tüm üst başlıklar, yazım alanının en solundan başlayarak kalın ve küçük harflerle yazılmalıdır. Bölüm başlıkları (Giriş, Teşekkür ve Kaynaklar hariç) sayısal sisteme göre numaralandırılmalıdır. Örneğin; 1., 2. gibi.

3.10.2. Alt başlıklar

Alt başlıklar, yazı alanının en solundan başlayarak küçük harflerle yazılmalıdır. Alt başlıklar sayısal sisteme göre numaralandırılmalıdır. Örneğin; 1.1., 1.2., 3.1.1., 3.1.2. gibi. Makalede, en fazla 4 alt başlık seviyesi olmalıdır.

3.11. Teşekkür

Yazarların çabalarına yardımcı olan kişi ya da kurumların katkıları için kısa bir teşekkür metni makalede yer alabilir.

3.12. Çizelge, Şekil ve Görseller

Çizelge, şekil ve görsellere makalede verilmeden hemen önce metin içinde atıfta bulunulmalıdır.

Çizelgeler resim formatında olmamalıdır. Çizelgelerde sadece yatay çizgiler kullanılmalıdır. Tek tek çizelgeler veya şekiller bir sayfadan uzun olmamalıdır. Çizelge ve şekil içindeki tüm yazı ve rakamlar Arial 10 yazı tipinde olmalıdır.

3.12.1. Altyazılar

Çizelge başlıkları çizelgenin üst kısmında yer almalı, başlığın sadece baş harfi büyük olmalı ve çizelge numarası verilmelidir. Şekil başlıkları da aynı şekilde ilk harfi büyük olarak yazılmalı, şeklin altında yer almalı ve numaralandırılmalıdır. Çizelge ve şekil yazıları Arial Narrow 10 yazı tipi ile ve italik yazılmalı, sonuna noktalama işareti konulmamalıdır. Şekil panelleri, parantez içinde kalın, büyük harflerle belirtilmelidir ((A), (B), (C), (D) gibi).

Başka bir kaynaktan olduğu gibi alınan çizelge, şekil ya da görsel varsa, alındığı kaynak ilgili çizelge, şekil ya da görselin üst ya da alt yazısının sonunda parantez içinde belirtilmelidir.

3.12.2. Görüntü Boyutu ve Çözünürlük

Şekil ve görseller renkli olarak konulabilir, ancak çözünürlükleri en az 300 dpi olacak şekilde ayarlanmalıdır. Şekillerdeki metinler okunaklı ve kaliteli olmalıdır. Gerçek boyutta görüntülendiğinde en küçük metin boyutu en az 8 punto olmalıdır. Kenar çizgileri kesintiye uğramamalıdır. Şekildeki herhangi bir çizginin kalınlığı en az 2 punto olmalıdır.

3.12.3 Çizelgeler, Şekiller ve Görseller İçin Lisanslar

Makalelerde yer alan çizelge, şekil ve görsellerin lisanslarının alınması yazarların sorumluluğundadır.

3.13. Eşitlikler

Eşitlikler, Microsoft Word yazılımındaki denklem editörü kullanılarak düzenlenmelidir. Eşitlikler paragraf başından başlamalıdır. Eşitliklerde kullanılan semboller birimleriyle birlikte açıklanmalıdır. Her eşitlik sırasıyla numaralandırılmalı, verilen numara yazı alanının en sağ kenarında gösterilmeli ve metin içinde bu numaraya atıfta bulunulmalıdır.

$h = x + y - z/10$

(1)

Eşitliklerdeki semboller “sembol: açıklama, birim” şeklinde gösterilmelidir. Örnek:

h: yükseklik, m

3.14. Kısaltmalar

Metin içindeki kısaltma kullanımı en az düzeyde tutulmalıdır. Standart olmayan kısaltmalardan, yazı içinde en az dört defa geçmedikçe ve ilk kullanımda tanımlanmadıkça kaçınılmalıdır.

Kısaltmalar metinde ilk görüldükleri yerde parantez içinde büyük harflerle yazılmalı ve karakterler arasında boşluk bırakılmamalıdır (örneğin; Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB)).

3.15. Ondalık Sayılar

Ondalık sayılar "," ile ve binlik basamaklar "." ile ayrılmalıdır.

3.16. Birimler

Makalelerde Standart Uluslararası Birimler kullanılmalıdır.

3.17. Arama Motoru Optimizasyonu (SEO)

Makalenizin görünürlüğünü arttırmak için aşağıdaki adımları uygulamanızı öneririz:

- anahtar kelimelerden birkaçını makale başlığına ekleyin,
- makale konusuyla ilgili hem genel hem spesifik terimlere anahtar kelimeler arasında yer verin,
- özetin ilk iki cümlesinde mümkün olduğu kadar çok anahtar kelime kullanın,
- bazı anahtar kelimeleri makalenin birinci düzey başlıklarında kullanmaya çalışın.

4. KAYNAKLAR

Makalede atıfta bulunulan tüm kaynaklar metnin sonunda "KAYNAKLAR" başlığı altında listelenmelidir. Bu bölümde Arial 9 yazı tipi kullanılmalıdır. Kaynaklar yazar soyadlarına göre alfabetik sırayla yazılmalıdır. Eğer mevcutsa mutlaka DOI numarası eklenmelidir.

4.1. Metin İçi Alıntılar

Yazı içinde, şekil veya çizelgelerde yer alan tüm alıntılar kaynaklar listesinde yer almalıdır. Aynı şekilde, kaynaklar listesinde yer alanların tümü yazı içinde alıntı şeklinde gösterilmiş olmalıdır.

Metin içinde herhangi bir atıf; yazar soyadı ve yıl formatında yapılmalıdır:

- tek yazarlı eserler için soyadını ve ardından yılı ekleyin,
- iki yazarlı eserler için, her iki soyadını ve ardından yılı ekleyin,
- ikiden fazla yazarlı eserler için, yalnızca ilk yazarın soyadını, ardından vd. ifadesini ve yılı ekleyin.

Metindeki atıflara örnekler:

(Garner, 1980)

(Gaudin ve Fuerstenau, 1955)

(Watson vd., 1997)

(Watson vd., 1998; Madrigal, 1998)

"Smith vd. (2006) çalışmasında göstermiştir ki..."

Herhangi bir metnin kaynağından alınarak olduğu gibi makaleye eklenmesi durumunda, tırnak işaretleri arasına alınmalı ve orijinal kaynağa atıfta bulunulmalıdır.

4.2. Kaynak Listesi

Basılı dergideki makale:

Smith, R., John, S. 2021. Principles of copper processing. Scientific Mining Journal. 59(2), 163-172.

Çevrimiçi dergideki makale:

Smith, R., John, Y., Sam, D.D. 2021. Principles of copper processing. Scientific Mining Journal. doi: 10.1000/fendo.2021.00001.

Kitaptaki makale veya bölümler:

Smith, R., John, J.C. 2021. Copper processing. Robertson, S. L. (Ed.). Principles of Copper Processing, Academic Press. London, 375-405.

Kitap:

Smith, R., John, T.M., Sam, S.L. 2021. Principles of Copper Processing. New York: Oxford University Press.

Web sitesi:

World Bank, 2021. Total natural resources rents. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.TOTL.RT.ZS> [Erişim tarihi: 20 Nisan 2021].

Tezler:

Smith, R. 2021. Principles of copper processing. [Doktora/master tezi]. [Ankara]: University of Ankara.

Ön baskı:

Smith, R. 2021. Principles of copper processing. Ön baskı. <https://persistent-url> (Erişim tarihi: 10 Nisan 2021).

SCIENTIFIC MINING JOURNAL

GUIDE FOR AUTHORS AND PUBLICATION RULES

1. ARTICLE TYPES

The journal covers theoretical, experimental, and applied research articles, which reflects the findings and results of an original research in the field of Mining Engineering; review articles, which assess, evaluates, and interprets the findings of a comprehensive review of sufficient number of scientific articles and summarize them at present information and technology level; technical notes, which may be defined as a short article that describes a novel methodology or technique; case studies, which are based on real professional practices and involves systematic data collection and analysis.

2. SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Submission of manuscripts to Scientific Mining Journal can only be from the journal's internet site at <http://www.mining.org.tr>. You have to submit your manuscripts prepared in accordance with the following instructions as a "Microsoft Word Document" with ".doc" or ".docx" extension.

Manuscripts submitted for publication must not have been published elsewhere, either in whole or in part or under a different title or different authorship, and it must not concurrently be under review for publication elsewhere. Complying with the research and publication ethics is considered an indisputable precondition to be published.

3. MANUSCRIPT FORMAT GUIDELINES

3.1. Template

You can download the template from here to edit your manuscript.

3.2. Manuscript Length

The total length of the manuscript should not exceed 14 pages.

3.3. Page Layout

Text area on Microsoft Word page should be set to A4 paper size (21.0 x 29.7 cm); top margin 2.5 cm, bottom margin 2.5 cm, left margin 2.5 cm, right margin 2.5 cm.

3.4. Font

Manuscripts should be written in Microsoft Word with Arial 10 font. Arial 12 fonts should be used only in the title of manuscript. Bold texts should not be used except headings. The entire document should be single-spaced and 6 pt spacing will be left after paragraphs.

3.5. Front Page

In the front page, the title of the manuscript, author names, affiliations, e-mail addresses and ORCID numbers, an abstract with keywords should be written. The title of the manuscript must be in lowercase and should be chosen to be short and to best reflect the subject.

3.6. Authors and Affiliations

All author names are listed together and separated by commas. Affiliations should be keyed to the author's name with superscript words (a, b, c, etc.) just below the names. E-mail addresses and ORCID numbers should be keyed to the corresponding and other author's name with superscript asteriks at the bottom of the front page.

Example: First Authora,^{*} Second Authora,^{**}, Third Authorb,^{***}

a Author Affiliation, City, Country

b Author Affiliation, City, Country

At the bottom of the front page (please use Arial 9 font in this section):

^{*} Corresponding author: first.author@e-mail.address.com • <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

^{**} second.author@e-mail.address.com • <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

^{***} third.author@e-mail.address.com • <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Equal contributions:

The authors who have contributed equally should be marked with a symbol (†) in the author list of the manuscript uploaded at submission.

Example: First Authora,^{*,†}, Second Authora,^{**†}, Third Authorb,^{***†}

† These authors have contributed equally to this work and share first authorship.

3.7. Abstract

The abstract should briefly and concisely convey the purpose, content and the results of the study, not exceeding 175 words in length. In the abstract, minimize the use of abbreviations and do not cite references, figures or tables.

3.8. Keywords

All article types require a maximum of 5 keywords.

3.9. Main Text

The main text of the manuscript should be written as one column. The text should be fully justified. All pages, including the front page, must be numbered.

3.10. Sections

For Original Research articles, it is recommended to organize your manuscript in the following sections or their equivalents:

INTRODUCTION (with no subheadings)

MATERIALS AND METHODS

RESULTS

DISCUSSION

3.10.1. Headings

All headings should be written in bold and lowercase, with the characters beginning with the leftmost of the text area. Headings of each section (except Introduction, Acknowledgements and References sections) should be numbered according to the numerical system, such as 1., 2., etc.

3.10.2. Subheadings

Subheadings should be written in lowercase, beginning from the left most of the text area. They also should be numbered according to numerical system such as 1.1., 1.2., 3.1.1., 3.1.2., etc. You may insert up to 4 subheading levels into your manuscript.

3.11. Acknowledgments

This is a short text to acknowledge the contributions of specific colleagues, institutions, or agencies that aided the efforts of the authors.

3.12. Table, Figure and Image Guidelines

Tables, figures and images should be referred in the text just before they placed.

Tables should not be added as images. Only horizontal lines should be used on the tables. Individual tables or figures should not be longer than one page.

All text and numbers in tables and figures must be in Arial 10 font.

3.12.1. Captions

Table captions should be in sentence case and numbered at the top of the table. Figure captions should be in sentence case, and also numbered just below of them. Captions should be of Arial Narrow 10 font and italic. Figure panels are referred to by bold capital letters in brackets: (A), (B), (C), (D), etc.

If a table or figure is quoted as it is from any reference, the cited reference should be indicated in parentheses at the end of the relevant captions.

3.12.2. Image Size and Resolution Requirements

Figures and images can be inserted in color, but resolution should be set to at least 300 dpi. The text in the figures should be legible and of high quality. The smallest visible text should be no less than 8 points in height when viewed at actual size. Solid lines should not be broken up. Any lines in the graphic should be no smaller than 2 points wide.

3.12.3 Licenses for the Figures, Tables, and Images

It is the responsibility of the authors to acquire the licenses for all figures, tables, and images in the manuscripts.

3.13. Equations

Equations should be inserted in editable format from the equation editor. The equations should start from the paragraph beginning line. Symbols used in equations should be explained together with their units. Each equation should be numbered and displayed on the rightmost edge of the writing area, and this number should be referred in the text.

$$h = x + y - z/10 \quad (1)$$

The symbols in the equations should be shown in the form of "symbol: description, unit". Sample:

h: height, m

3.14. Abbreviations

The use of abbreviations should be kept to a minimum. Non-standard abbreviations should be avoided unless they appear at least four times, and defined upon first use in the main text.

Abbreviations should be written as uppercase characters in parentheses within their first appearance in the text and no space between the characters (e.g., Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects (UCTEA)).

3.15. Decimal Numbers

The decimal numbers should be separated by "." while "," should be used for the thousand digits.

3.16. Units

We encourage the use of Standard International Units in all manuscripts.

3.17. Search Engine Optimization (SEO)

There are a few simple ways to maximize your article's discoverability. We recommend the following steps below to improve search results of your article:

- include a few of your article's keywords in the title of the article,
- pick keywords using a mix of generic and more specific terms on the article subject(s),
- use the maximum amount of keywords in the first 2 sentences of the abstract,
- use some of the keywords in level 1 headings.

4. REFERENCES

All references cited in the manuscript should be listed under the title "REFERENCES" at the end of the text. Arial 9 fonts should be used. References should be written in alphabetical order by author surnames. The DOI should be provided if available.

4.1. In-text Citations

All citations in the text, figures or tables must be in the reference list and vice-versa.

Citation to any reference within the text should be made in author surname and year format.

For works by a single author, include the surname, followed by the year,

For works by two authors, include both surnames, followed by the year,

For works by more than two authors, include only the surname of the first author followed by et al., followed by the year.

Examples of citation to references in the text:

(Garner, 1980)

(Gaudin and Fuerstenau, 1955)

(Watson et al., 1997)

(Watson et al., 1998; Madrigal, 1998)

"Smith et al. (2006) showed that in their study that..."

Any inclusion of verbatim text must be contained in quotation marks and clearly reference the original source.

4.2. Reference List

Article in a print journal:

Smith, R., John, S. 2021. Principles of copper processing. *Scientific Mining Journal*. 59(2), 163-172.

Article in an online journal:

Smith, R., John, Y., Sam, D.D. 2021. Principles of copper processing. *Scientific Mining Journal*. 58(1). doi: 10.1000/fendo.2021.00001.

Article or chapter in a book:

Smith, R., John, J.C. 2021. Copper processing. Robertson, S. L. (Ed.). *Principles of Copper Processing*, Academic Press. London, 375-405.

Book:

Smith, R., John, T.M., Sam, S.L. 2021. *Principles of Copper Processing*. New York: Oxford University Press.

Website:

World Bank, 2021. Total natural resources rents. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.TOTL.RT.ZS> [Accessed April 20, 2021].

Theses and dissertations:

Smith, R. 2021. Principles of copper processing. [dissertation/master's thesis]. [Ankara]: University of Ankara.

Preprint:

Smith, R. 2021. Principles of copper processing. Preprint repository name [Preprint]. Available at: <https://persistent-url> (Accessed April 10, 2021).

2022 YILI HAKEM LİSTESİ
List of Reviewers in 2022

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Dr. A. Ekrem YÜCE | Dr. Kerim AYDINER |
| Dr. Abdullah FİŞNE | Dr. Levent ERGÜN |
| Dr. Abdullah OBUT | Dr. Mahmut ALTINER |
| Dr. Adem TAŞDEMİR | Dr. Mehmet MESUTOĞLU |
| Dr. Ahmet Deniz BAŞ | Dr. Mehmet Suphi ÜNAL |
| Dr. Ali UÇAR | Dr. Melih GENİŞ |
| Dr. Alper GÖNEN | Dr. Meriç Can ÖZYURT |
| Dr. Ayhan KESİMAL | Dr. Mete KUN |
| Dr. Bayram KAHRAMAN | Dr. Muharrem ÖZFIRAT |
| Dr. Bülent ERDEM | Dr. Murat KADEMLİ |
| Dr. Celal KARPUZ | Dr. Mustafa BİRİNCİ |
| Dr. Çelik TATAR | Dr. Mustafa BOYRAZLI |
| Dr. Çetin HOŞTEN | Dr. Mustafa ERKAYAOĞLU |
| Dr. Deniz ALTUN | Dr. Mustafa ÖNDER |
| Dr. Ece Kılınc AKSAY | Dr. Mustafa ÖZER |
| Dr. Ece KUNDAK | Dr. Nadir AVŞAROĞLU |
| Dr. Emre YILMAZKAYA | Dr. Namık AYDOĞAN |
| Dr. Eren KÖMÜRLÜ | Dr. Neşet ACARKAN |
| Dr. Ergin GÜLCAN | Dr. Okay ALTUN |
| Dr. Erhan TERCAN | Dr. Oktay BAYAT |
| Dr. Erol YILMAZ | Dr. Oktay CELEP |
| Dr. Faiz Nursultan SAPARULU | Dr. Oktay ŞAHBAZ |
| Dr. Ferdi CİHANGİR | Dr. Ömürden GENÇ |
| Dr. Fırat BURAT | Dr. Osman Zeki HEKİMOĞLU |
| Dr. Gökhan AYDIN | Dr. Özgür ÖZCAN |
| Dr. Gülsev AKSOY | Dr. Semih OLUKLULU |
| Dr. Guoqiang SUN | Dr. Serkan ÇAYIRLI |
| Dr. Hakan BENZER | Dr. Serkan TÜYLÜ |
| Dr. Hakan DÜNDAR | Dr. Tuğcan TUZCU |
| Dr. Hakan TUNÇDEMİR | Dr. Turgay ONARGAN |
| Dr. Hasan ÇİFTÇİ | Dr. Türker HÜDAVERDİ |
| Dr. İbrahim ALP | Dr. Ümit ÖZER |
| Dr. İbrahim Ferid ÖGE | Dr. Volkan BOZKURT |
| Dr. İlgin KURŞUN ÜNVER | Dr. Yaşar KASAP |
| Dr. İsmail Girgin | Dr. Yusuf AYDIN |
| Dr. Igor Borisovich MOVCHAN | |

ISSN 2564-7024



9 772564 702003