

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ
Scientific Mining Journal

Cilt / Vol: 56, Sayı / No: 4, Aralık / December, 2017

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

Editörler Kurulu / Editorial Board

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. İlkey Bengü Çelik, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

Dr. Mehtap Gülsün Kılıç, Dicle Üniversitesi / *Dicle University*

Dr. Fırat Atalay, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

Derginin Kapsamı ve Amacı

Bilimsel MADENCİLİK Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın bir yayını olup 1960 yılından bu yana 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. Dergide yeraltı ve açık ocak işletmeciliği, cevher/kömür hazırlama ve zenginleştirme gibi madencilikğin tüm alanlarında yapılan özgün çalışmalar, eleştirel derlemeler, kısa teknik notlar ve dergide yayımlanmış yazılara ilişkin tartışmalar yayımlanır. Derginin yazım dili Türkçe ve İngilizce'dir. Yılda dört kez (Mart, Haziran, Eylül ve Aralık) yayımlanır. Dergiye elektronik ortamda <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir. Derginin amacı maden mühendisliği mesleğinin ulusal ve uluslararası düzeyde gelişimine katkı sağlamaktır.

Scope and Aim of the Journal

The Scientific MINING Journal, a publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey, has been published since 1960. The name of the journal has been changed from "Mining" to "Scientific Mining Journal" since September 2016 because it can be mixed with popular magazines with similar names and the ISSN number has also been updated from 0024-9416 to 2564-7024. The journal is a medium for the publication of original research papers, critical comprehensive reviews, and technical notes in all fields of mining engineering such as underground and surface mining, and mineral/coal processing. The journal also publishes discussion of papers which have been already published in the journal. The publication languages are Turkish and English, and is published quarterly (March, June, September and December). The journal can also be freely accessed at <http://www.mining.org.tr> The objective is to contribute to the development of the profession of mining engineering at national and international levels.

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:

Chemical Abstracts

Compendex

ENCOMPLIT

ENCOMPLIT2

GeoRef

ULAKBİM TR Dizin

Makale Yazım Kuralları, Yayın Danışma Kurulu, Hakem Değerlendirme Süreci ve 2017 Yılı Hakem Listesine <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir.

Author Instructions, Editorial Advisory Board, and the Peer Review Process and 2017 Reviewer List 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.madencilik.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
SCIENTIFIC MINING JOURNAL
DERGİSİ

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

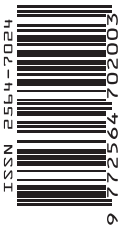
ARALIK
DECEMBER
2017

ÇİLT
VOLUME
56

SAYI
NUMBER
4

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- | | | |
|--|-----|--|
| Haluk Çelik | 137 | Orijinal Araştırma / Original Research Technological Characterization and Comparison of Two Ceramic Clays Used for Manufacturing of Traditional Ceramic Products in Turkey <i>Türkiye’de Geleneksel Seramik Ürünlerin İmalatında Kullanılan İki Seramik Kilinin Teknolojik Tanımlaması ve Karşılaştırılması</i> |
| Bülent Erdem Zekeriya Duran Tuğba Doğan Hüsnü Yüksel | 148 | Orijinal Araştırma / Original Research Açık Maden İşletmelerindeki İş Makinesi Operatörlerinin Gürültü Maruziyetinin İncelenmesi <i>Investigation of Noise Exposure of Heavy Equipment Operators in Surface Mines</i> |
| Güneş Ertunç | 166 | Orijinal Araştırma / Original Research İstatistiksel Öğrenme Teorisi ile Metal İçeriğinin Çoklu Sınır Değerlerinde Sınıflandırma Performansının İncelenmesi <i>Investigation of Statistical Learning Theory Performance on Classification of Multiple Threshold Values of Metal Content</i> |
| Ramazan Çomaklı Ümit Atıcı | 173 | Orijinal Araştırma / Original Research Granitik Kayaçlarda Mineral Şekil Özellikleri ile Spesifik Deformasyon Enerjisi Arasındaki İlişkinin Araştırılması <i>Investigation of the Relationship Between the Mineral Shape Properties and Destruction Specific Energy in Granitic Rocks</i> |
| Mert Mutlu Mehmet Sarı | 181 | Derleme / Review Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Madencilik Sektöründe Kullanımı <i>Multi-Criteria Decision Making Methods and Use of in Mining Industry</i> |
| Fırat Ahlatcı Ersin Y. Yazıcı Oktaç Celep Hacı Deveci | 197 | Derleme / Review Tiyosülfat Liçi: Yüklü Liç Çözeltilerinden Altın Kazanımı ve Endüstriyel Uygulamalar – Bölüm II <i>Thiosulphate Leaching: Recovery of Gold from Pregnant Leach Solutions and Industrial Applications – Part II</i> |
| | 214 | Bilimsel Madencilik Dergisi’ne Makale Gönderilmesi Yazım Kuralları ve Yayına Kabul İlkeleri <i>Guide for Authors and Publication Rules</i> |
| | 220 | Yılı Hakem Listesi <i>List of Reviewers in 2017</i> |



ISSN 2544-7024

9 1725641702003

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 manager: Necmi Ergin*

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: bilgi@madencilik.org.tr / info@mining.org.tr
web: <http://www.madencilik.org.tr> / <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: Yorum Matbacılık*

Baskı Tarihi ve saati / *Printing date: 08.12.2017 at 09:00*

Basım adedi / *Number of printed copy: 1500*



Orijinal Araştırma / Original Research

TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION AND COMPARISON OF TWO CERAMIC CLAYS USED FOR MANUFACTURING OF TRADITIONAL CERAMIC PRODUCTS IN TURKEY

TÜRKİYE'DE GELENEKSEL SERAMİK ÜRÜNLERİN İMALATINDA KULLANILAN İKİ SERAMİK KİLİNİN TEKNOLOJİK TANIMLAMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Haluk Çelik^{a,*}

^a Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, UŞAK

Geliş Tarihi / Received : 8 Haziran / June 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 2 Ekim / October 2017

Keywords:

Clay,
Ceramic,
Ceramic mud,
Drying sensitivity index

ABSTRACT

In the present investigation, two different clay samples from the region of Menemen (İzmir) and the region of Kınık (Bilecik) were characterized by mineralogical, chemical and thermal analyses and different technological tests. The drying sensitivity of the clay bodies was also studied by determining Drying Sensitivity Index. The results revealed that the Menemen Clay (MC) composed of kaolinite and muscovite clay minerals whereas Kınık Clay (KC) consists mostly of clinocllore and muscovite. The MC contains about 50% clay minerals and 35.71% quartz whereas the KC has about 41% clay minerals and 50% quartz. As a result of this composition, the firing shrinkage and total shrinkage values of the MC were higher than that of the KC. On the other hand, the KC presents a higher value of plasticity index (PI) than the MC. On the evaluation of drying sensitivity of two ceramic muds, it was concluded that the KC has the less Drying Sensitivity Index (DSI) (0.75) value than the MC (0.84).

ÖZ

Bu çalışmada, Menemen (İzmir) ve Kınık (Bilecik) bölgelerinden alınan iki farklı kil numunesinin mineralojik, kimyasal, ısıl ve teknolojik özellikleri belirlenerek tanımlaması yapılmıştır. Kil bünyelerinin kuruma hassasiyeti Kuruma Hassasiyeti İndeksi belirlenmek suretiyle çalışılmıştır. Sonuçlara göre Menemen Kili (MC) kaolinit ve muskovit minerallerinden oluşmakta iken, Kınık Kili (KC) çoğunlukla klinoklor ve muskovit içermektedir. MC %50 kil mineralleri ve %35.71 kuvars içerirken, KC %41 kil mineralleri ve %50 kuvars içeriğine sahiptir. Bunun bir sonucu olarak MC'nin pişirme küçülmesi ve toplam küçülme değerleri KC'den daha yüksek çıkmıştır. Diğer taraftan KC'nin plastisite indeksi (PI) MC'den daha yüksektir. İki seramik çamurunun kuruma hassasiyetlerinin değerlendirilmesi neticesinde KC'nin (0.75) MC'den (0.84) daha düşük Kuruma Hassasiyeti İndeksi (DSI) değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler:

Kil,
Seramik,
Seramik çamuru,
Kuruma hassasiyeti indeksi.

* Sorumlu yazar: haluk.celik@usak.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-9964-1566>

INTRODUCTION

Clays and clay minerals used in various process industries are crucial industrial minerals (Harvey and Murray, 2006). Clay minerals are the main constituents for traditional ceramic industries and some advanced ceramic products. Application of clay minerals in these industries depends on their chemical compositions, mineralogy, and physical properties. The small size of the particles and their unique crystal structures give clay materials special properties, including cation exchange capabilities, plastic behaviour when wet, catalytic abilities, swelling behaviour, and low permeability. Clays undergo a lot of physical and chemical changes with various firing temperatures, which, in turn, predominantly determine their ceramic properties and their uses as an industrial ceramic raw material (Baccour et al., 2009; Carretero et al., 2002; Celik, 2010; Ozkan, 2015).

In Menemen (İzmir, Aegean region of Turkey) and in Kınık (Bilecik, Marmara region of Turkey), there are extensive clay deposits, the clay from which are fired in different colours. These clays are currently being used by local ceramic manufacturers for traditional pottery and brick production. Hence, these two regions remain important pottery centres of Turkey.

The aim of this study is to determine the technological characterisation and comparison of Menemen Clay (MC) and Kınık Clay (KC). For this purpose, the clay samples were first characterized by chemical analyses, X-ray diffraction (XRD) analyses and plasticity measurements, etc. Subsequently, the Drying Sensitivity Index of ceramic mud was determined by employing the Bigot's method. It is expected that the present investigation will help to improve the resourcefulness of the knowledge on the Menemen Clay and Kınık Clay. Although limited characterisation studies of red firing MC have been reported in the existing literature on this field of study (Ozkan 2015; Colak and Aksu, 2001), characterisation of the KC and the comparison of these deposits have not been studied comprehensively before.

1. MATERIALS AND METHODS

1.1. Sample Material

The MC deposit is located about 35 km north of İzmir, whereas the KC deposit is located near to the town of Pazaryeri, about 36km south of the Bilecik City. These deposits are widely used as raw materials by ceramic manufacturers in Turkey for

the production of earthenware ceramics, i.e. traditional pottery and brick production. Five bag samples (20 kg each) were supplied from the ceramic manufacturers for the MC and the KC. They were blended, quartered into about 1 kg of specimens for laboratory assessment including characterization study and industrial processing tests.

1.2. Mineralogical and Chemical Analyses

The mineralogical characterization of the samples was carried out by XRD analyses. The XRD patterns were obtained with a Rigaku Rint-2200 diffractometer operating at tube voltage and current 40 kV and 30 mA, respectively using monochromatic Cu-K α 1 radiation ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$). Diffraction patterns were recorded between 5° and $70^\circ(2\theta)$ with a scanning rate of $2^\circ/\text{min}$. Quantification of different phases in the samples was carried out using the computer program MAUD 1.9 (Lutterotti, 2010), which is based upon the Rietveld method combined with a Fourier analyses (Can et al., 2010). Phase changes of fired samples at 1000°C of the MC and the KC were also investigated by XRD method. The chemical compositions of raw materials were determined using X-ray fluorescence spectroscopy (XRF, Rigaku ZSX Primus).

1.3. Thermal Analyses (DTA-TGA and Dilatometry Tests and Thermal Expansion Coefficients)

Differential thermal analyses-thermo gravimetric analyses (DTA-TGA) of the samples were determined by a differential calorimeter apparatus (Netzsch STA 409) under air atmosphere. The temperature was increased from room temperature to 1200°C at a rate of $10^\circ\text{C}/\text{min}$, and it was kept at this maximum temperature for 10 minutes.

The firing characteristics of the raw clay samples were determined by heating the sample up to 1250°C at a heating rate of $50^\circ\text{C}/\text{min}$ for $<1100^\circ\text{C}$ and $30^\circ\text{C}/\text{min}$ for $1100\text{-}1250^\circ\text{C}$ and maintained at the maximum temperature for 10 minutes. The pressed sample was dried overnight at 105°C and then heated in Misura 3.32 ODHT-HSM 1600/80 dilatometer. Length changes were recorded at every minute during the heating stage.

The thermal expansion coefficients of the selected samples of dimensions $25\text{mm}\times 5\text{mm}\times 5\text{mm}$ were also determined using a computer-controlled Netzsch thermal dilatometer (Model: 402 EP) at a heating rate of $10^\circ\text{C}/\text{min}$ to 650°C .

1.4. Particle Size Analyses

A combination of wet sieving for the fraction $>63\mu\text{m}$ and X-ray sedimentation technique for the fraction $<63\mu\text{m}$ was used. For the sieving, 100 grams of samples dispersed in deionized water were disaggregated using 0.1% sodium hexametaphosphate (SHMP) ($\text{Na}_6\text{O}_{18}\text{P}_6$). For the X-ray sedimentation analyses, the $<63\mu\text{m}$ fraction (about 3 grams) was disaggregated using 0.5% SHMP, agitated mechanically and disaggregated ultrasonically. The size analyses were performed with the Mikromeritics SediGraph 5120 particle size analyzer, at a size range between 0.1–300 μm .

1.5. Industrial Tests

Rectangular samples in dimensions of 84mm \times 20mm \times 7mm for bending strength measurements and cylinders samples in dimensions of 50mm \times 6mm for determination of shrinkage and water absorption rate were uniaxially pressed by a standard laboratory hydraulic press (Gabbrielli Titan, Italy mark) at 250kg/cm². First of all, the specimens were kept in a room prevented from the air flow until the weight became constant for determination of drying shrinkage (DS) and mass loss. Then, the representative tiles were fired in a laboratory electric furnace at a peak temperature of 1000°C (soaking time 8 minutes). In order to obtain gresification diagram of the fired samples of the MC and the KC, the specimens were sintered in a laboratory electric furnace at the temperature between 900-1200°C.

The technological properties of the representative samples fired at 1000°C like water absorption and bending strength were measured in accordance with the Turkish standards procedures (TS EN ISO 10545-3, 1995; TS EN ISO 10545-4, 1995). On average, ten specimens were used for each measurement. The bending strength (BS) values were determined by a three-point bending test using a Universal Testing Machine (Nannetti Faenza, Italy), and calculated by $3FL/2bh^2$ in which F=breaking load (kg), L=distance between supports (mm), b=sample width (mm) and h=sample thickness (mm). The support span of 80 mm and the crosshead speed of 5 mm/min were chosen for all measurements. The water absorption values ($W_a\%$) were determined by the routine procedure involving measuring mass differences between the as-fired (D) and water saturated samples (M) (immersed in boiling water for 2h, cooling for 3h and sweeping of their surface with

a wet towel) using $100(M-D)/D$ equation. The dimensions of the pressed specimens were measured before and after firing to determine the firing shrinkage (FS%) by $100(L_d-L_f)/L_d$, where L_d =the length of the dried specimen and L_f =the length of the fired specimen. The total shrinkage (TS%) was calculated by $100(L_i-L_f)/L_i$, where L_i =the initial diameter of the cylindrical specimen (50mm).

1.6. Evaluation of Plasticity

The evaluation of plasticity was performed by Atterberg limits method: liquid limit (LL), plastic limit (PL) and plasticity index (PI). The plasticity index was calculated based on the arithmetic difference of the LL and PL of the studied clays. LL and PL tests were carried out with a Casagrande apparatus using the method described by Casagrande (1947).

1.7. Drying Sensitivity Measurement

Drying of ceramics is understood as a process of removing water from an unfired ceramic object or raw material in the green or as formed state. It is a complex process involving simultaneous heat and mass transfer between the body and a surrounding atmosphere (Aungatichart and Wada, 2009). Drying sensitivity is one of the good indicators to evaluate the easiness of drying. There are many papers related to the drying sensitivity of clay materials (Aungatichart and Wada, 2009; Atanasov, 2005; Ratzenberger, 1986a; Ratzenberger, 1986b; Ratzenberger, 1990; Reinholz, 1987; Schneider and Hanke, 1996). Bigot's curve method was used to determine Drying Sensitivity Index (DSI) as described in the literature (Aungatichart and Wada, 2009). Specimen preparation and measurement methods for the DSI are as follows:

- (I) The plastic dough was formed into a rectangular bar of 120 \times 20 \times 5 mm in size.
- (II) The specimen was put on a glass plate with a thin paper lining. The paper would shrink with the specimen during drying.
- (III) On the top surface of the specimen, 100 mm distance was marked.
- (IV) The specimen was kept in a room prevented from the air flow for 48 h.
- (V) The weight of the specimen together with the glass and the paper was taken, and the length of the mark on the specimen was also measured at 0, 1, 2, 3,... until 48 h.

(VI) The specimen was dried at 110°C until the weight became constant (24 h) and the length of the dried specimen was measured in order to calculate the drying shrinkage (DS).

(VII) The graph of the relationship between shrinkage and water content was plotted.

(VIII) The DSI was calculated using the equation $DSI = ((M_i - M_c)/100) \times DS$. Where;

-DSI: Drying Sensitivity Index

- M_i : the initial moisture of the dough (%)

- M_c : the critical moisture at which the drying shrinkage finishes (%)

-DS: drying shrinkage of specimens dried at 110°C for 24h (%)

2. RESULTS AND DISCUSSION

2.1. Mineralogical and Chemical Analyses

Fig. 1 shows the XRD patterns of the clay samples. The following mineralogical phases were identified for the MC; kaolinite ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) (JCPDS Card No:029-1488), albite ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) (JCPDS Card No:009-0466), calcite ($CaCO_3$) (JCPDS Card No:047-1743), muscovite ($KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$) a member of mica group clay minerals (JCPDS Card No:007-0042) and quartz (SiO_2) (JCPDS Card No:046-1045), whereas the KC consists mostly of clinocllore ($Mg_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$) (JCPDS Card No:024-0506), which is a member of chlorite group clay minerals (Bergaya and Lagaly, 2006), albite (JCPDS Card No:009-0466), muscovite (JCPDS Card No:007-0042) and quartz (JCPDS Card No:046-1045).

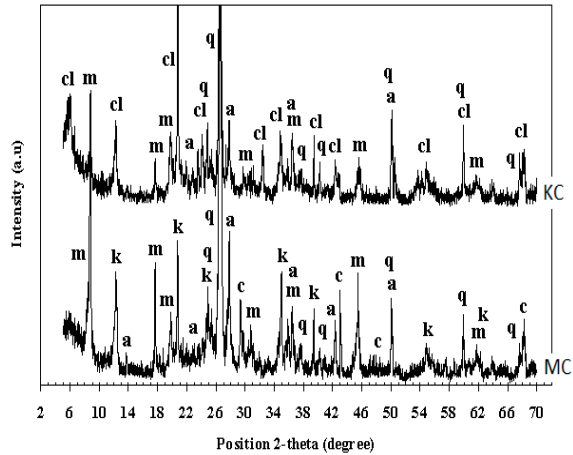


Figure 1. X-ray diffraction patterns of the raw samples MC, and KC (cl:clinocllore, a:albite, m:muscovite, k:kaolinite, c:calcite, q:quartz)

The crystalline phases identified are in agreement with the results observed by XRF (Table 1). The two clays consist mainly of SiO_2 and Al_2O_3 which correspond to about 70% for the MC and 72% for the KC as shown in Table 1, because of the presence of clay minerals and quartz and accompanied by albite for the MC and the KC.

It is considered that the KC has relatively more quartz and less clay mineral than the MC, in consequence of higher SiO_2/Al_2O_3 ratio for the KC (3.32) than for the MC (2.98). Coherent with the XRF results, the MC contains about 50% clay minerals and 35.71% quartz whereas the KC has about 41% clay minerals and 50% quartz as shown in Table 2.

The amount of alkaline oxides (K_2O and Na_2O) that act as flux materials of the MC (4.39%) is

Table 1. Chemical compositions (mass%) of the clay materials

| | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | TiO_2 | CaO | MgO | Na_2O | K_2O | MnO | P_2O_5 | Cr_2O_3 | LOI* |
|----|---------|-----------|-----------|---------|------|------|---------|--------|------|----------|-----------|-------|
| MC | 52.66 | 17.67 | 6.70 | 0.91 | 4.77 | 2.17 | 0.98 | 3.41 | 0.09 | 0.11 | 0.08 | 10.44 |
| KC | 55.62 | 16.73 | 7.64 | 1.14 | 1.36 | 3.74 | 1.00 | 2.38 | 0.15 | 0.12 | 0.09 | 10.03 |

*LOI=loss on ignition (10°C/min up to 1000°C, and maintained at this maximum temperature for 1 h)

Table 2. Mineral content of the raw clay samples estimated by the computer program MAUD 1.9

| | Kaolinite | Muscovite | Albite | Quartz | Calcite | Clinocllore |
|----|------------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| MC | 13.04±0.62 | 36.91±0.85 | 9.85±0.86 | 35.71±0.54 | 4.49±0.24 | --- |
| KC | --- | 19.76±0.92 | 8.89±0.24 | 49.91±0.68 | --- | 21.42±0.36 |

higher than the KC (3.38%) probably due to a relatively large amount of muscovite content. In clay based bodies, flux materials enable to lower the temperature which liquid or glass forms during sintering. The amounts of earth-alkaline (CaO and MgO) oxides are 6.94% and 5.1% for the MC, and the KC respectively coherent with the XRD results. The MC contains a carbonate mineral (calcite). The Fe_2O_3 content of the MC is on the lower side when compared with the KC. Fe_2O_3 is not the only factor responsible for the coloration of ceramic wares, as also other constituents such as CaO, MgO, MnO and TiO_2 can appreciably modify the color of fired clay (Kreimeyer, 1987). Moreover, the temperature of firing, the amount of Al_2O_3 relative to a range of other constituents, and the furnace atmosphere all play an important role in the development of color in the fired clay products (Fisher, 1984).

Typical XRD patterns of fired raw clay samples at 1000°C are given in Fig. 2. An overall examination shows that kaolinite and muscovite clay minerals and calcite existing in the MC disappeared firing at 1000°C, while andradite ($Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$) (JCPDS Card No:010-0288) appeared as new crystalline phases probably due to the reaction between disappeared minerals. Even if the minimum melting point of muscovite is 1130°C, it was lowered to 1000 °C because of the effect of other components such as calcite (Diels and Jaeckel, 2013). The clinocllore and albite minerals existing in the KC disappeared while the anorthite ($CaAl_2Si_2O_8$) (JCPDS Card No: 018-1202) and sekaninaite ($Fe_2Al_4Si_5O_{18}$) (JCPDS Card No: 031-0616) appeared as new crystalline phases.

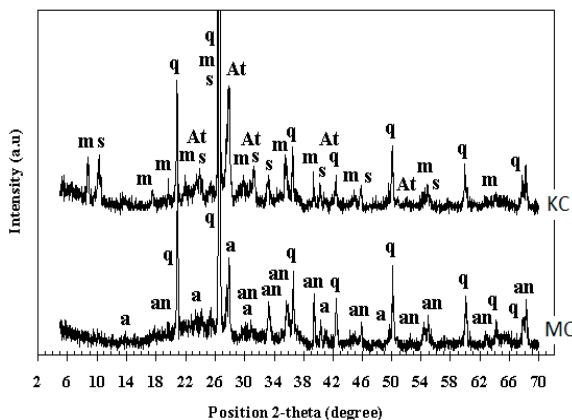


Figure 2. X-ray diffraction patterns of fired (at 1000°C) MC, and KC (s:sekaninaite, a:albite, m:muscovite, At:anorthite, q:quartz, an:andradite)

2.2. Thermal Analyses (DTA-TGA and Dilatometry Tests and Thermal Expansion Coefficients)

The interpretation of the DTA-TGA curves of the MC (Fig. 3) and the KC (Fig. 4) leads to the following results:

A significant endothermic peak at 109°C for the MC and 125°C for the KC can be attributed to the removal of adsorbed and interlayer water of clay minerals. The mass loss associated with this peak is about 1% for the MC and the KC. In addition, a large exothermic event until the peak point of 350°C and 300°C for the MC and the KC, respectively due to organic matter decomposition was observed for both studied clays.

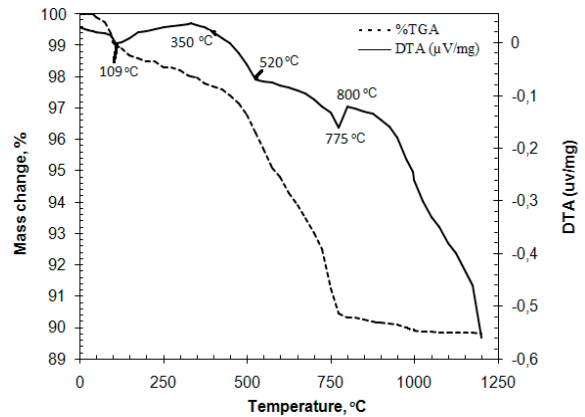


Figure 3. DTA and TGA curves of the MC

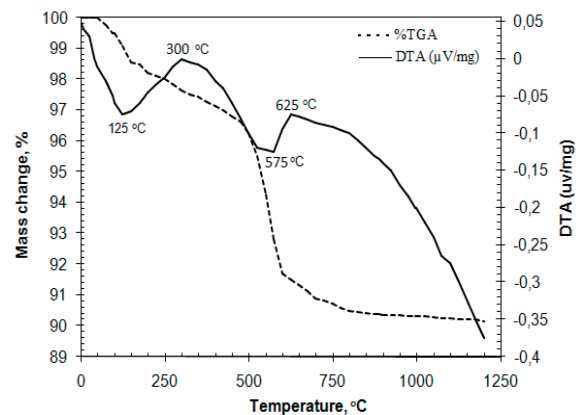


Figure 4. DTA and TGA curves of the KC

A broad endothermic band centered at 520°C for the MC and 575°C for the KC is due to both clay minerals dehydroxylation (for kaolinite dehydroxylation leading to the formation of metakaolinite) and $\alpha \rightarrow \beta$ -quartz transformation. The MC (about

3%) undergoes the mass loss associated to this endothermic peak (about 4% for the KC). The dehydroxylation stage has important consequences for the stability of fired bodies because water molecules evaporate during the dehydroxylation stage and subsequently the structure of clay minerals collapses. The small endothermic peak at 775°C for the MC can be attributed to the calcite decomposition coherent with the XRD result. An exothermic peak was obtained at 800°C and 625°C for the MC and the KC, respectively. The appearance of these exothermic peaks is due to the formation of new crystalline phases. The total loss in weight after running DTA/TGA to 1200°C was about 10% for both samples, consistent with the loss on ignition value at Table 1. It is noted that the thermal behaviors of the clay samples are coherent with their chemical and mineralogical compositions.

The dimensional changes observed after firing of the raw clays are given in Fig. 5.

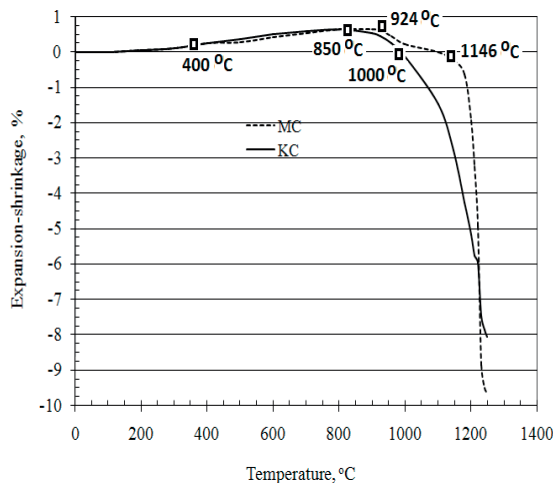


Figure 5. Dilatometric curves of the MC and the KC

It can be observed from the MC curve that there is a small expansion (0.25%) up to 400°C followed by more expansion between 400-924°C due to polymorphic $\alpha \rightarrow \beta$ -quartz transformation, β -quartz $\rightarrow \beta 2$ -tridymite transformation and due to metakaolinite formation with concomitant loss of water as suggested previously by Souza et al. (2002). Singer and Singer (1963) point out that α -quartz transforms β -quartz at 573°C with a volume increase of 2% and on further slow heating β -quartz changes to $\beta 2$ -tridymite at 870°C with a volume increase of 12%. The total expansion up to 924°C is 0.6%. After a slight shrinkage starting

at around 924°C, a sharp shrinkage starting at 1000°C is attributed to particles sintering and the formation of vitreous phases. The greatest shrinkage speed between 924-1146°C is obtained at 1000°C. When the temperature reaches the maximum point (1250°C), the shrinkage rate is about 10%. The total shrinkage after the temperature reduced to room temperature is 8.74%.

As it can be noticed, the dilatometric curve of the KC starts with the slight expansion up to 400°C similar to the MC, which can be attributed to the diminution of the adsorbed water. The second expansion between 400-850°C may be due to quartz transformation as described above. The total expansion up to 850°C is 0.6%. The slight shrinkage between 850-1000°C can be attributed to particles sintering and the formation of vitreous phases. The second shrinkage seen above 1000°C seems to be due to the recrystallization of new ceramic phases and vitrification. The maximum shrinkage speed above 1000°C is obtained at 1070°C. The total shrinkage after the temperature reduced to room temperature is assigned as 7.73%.

The obtained dilatometric results demonstrate that the MC, which possesses a larger quantity of clay minerals as stated from the result of particle size analyses and the quantitative XRD analyses, show more firing shrinkage compared with the KC. At the same time, it can be said that the relatively low rate of shrinkage of the KC indicates more content of quartz mineral than MC coherent with the XRD and the XRF results.

The results of linear thermal expansion coefficient's values of the clay bodies for a specific temperature range are also reported in Table 3. It is clear from Table 3 that the thermal expansion of the MC body is slightly lower than that of the KC. This is expected since there appears to be a higher amount of glassy phase in the MC body which dissolves more free quartz into the melt (Celik, 2015; Kurama et al., 2007).

2.3. Particle Size Analyses

The particle size distribution of clay is a factor in determining its suitability for various applications, and particular attention should be given to the finer fraction (lower than $<2\mu\text{m}$) for ceramic products (Mahmoudi et al., 2008). Fig. 6 shows the cumulative results of particle size analyses of the clay samples. The KC presents a wider particle size distribution range, with an average particle size of about 50 μm with 80% mass while

the average particle size of the MC is about 15 μm . It can be observed that the percentage of clay minerals (particles with sizes $<2\mu\text{m}$) is about 46% for the MC, whereas it is 40% for the KC. The silt fractions (particles with sizes between 2 and $20\mu\text{m}$) are about 38% for the MC and 30.18% for the KC. The sand fraction (particles with sizes $>20\mu\text{m}$) is about 16% for the MC and 29.42% for the KC (see Table 4). Particle size analyses results are coherent with the qualitative analyses of the samples. As calculated from Table 2, clay minerals content of the MC is about 50% whereas it is 41% for the KC.

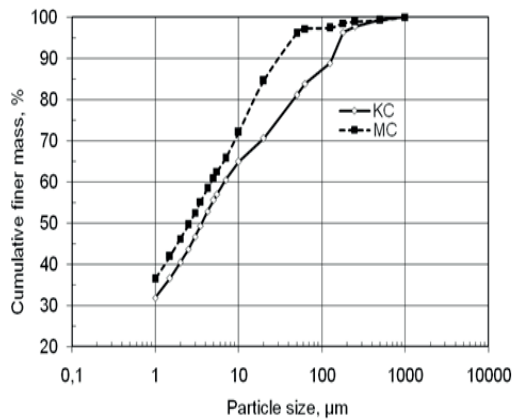


Figure 6. Particle size distribution of the MC and the KC

2.4. Industrial Tests

The results of the physical parameters obtained from industrial tests of the MC and the KC are shown in Table 3. The drying shrinkage value of the MC was 7.6% whereas the KC was 5.4%. In the drying step, it is adequate to obtain a value of drying shrinkage between 0-0.5% in order to avoid microcracks around sand grains (Baccour et al., 2008). The both samples had almost the same properties in drying bending strength. The water absorption increases slightly from 5.77% for the MC to 7.31% for the KC as shown in Table 3. Coherent with the $W_a\%$ values, the firing bending strength increases 162 N/mm^2 for the KC to 179 N/mm^2 for the MC. The firing shrinkage and total shrinkage values of the MC were higher than the KC as shown in Table 3. This may be due to the presence of more quartz in the KC and more clay and more alkaline oxide content (K_2O and Na_2O) in the MC coherent with the chemical analyses. It is recognized that reducing the content of clay in the KC causes a decrease in bending strength.

The sintering behavior of the clay samples was evaluated by using gresification diagrams (Figs. 7 and 8), which present the variation in properties of a ceramic as a function of firing temperature. As seen from Figs. 7 and 8, above 950°C , the values of water absorption decrease distinctly, as it

Table 3. Drying and firing characteristics and drying sensitivity characteristics of MC and KC samples

| | | MC* | KC* |
|---|---|-------|-------|
| Drying characteristics | Bending strength, BS, N/mm^2 | 11.1 | 10.8 |
| | Shrinkage, DS, % | 7.6 | 5.4 |
| Firing characteristics (1000°C) | Water absorption, $W_a\%$ | 5.77 | 7.31 |
| | Bending strength, BS, N/mm^2 | 179 | 162 |
| | Shrinkage, FS, % | 10.82 | 9.51 |
| | Total shrinkage, TS, % | 17.60 | 14.40 |
| Drying sensitivity characteristics (Bigot's method) | The initial moisture of the dough, M_i (%) | 23.45 | 21.59 |
| | The critical moisture at which the drying shrinkage finishes, M_c (%) | 11.41 | 6.53 |
| | Drying shrinkage of specimens dried at 110°C , DS (%) | 7.00 | 5.00 |
| | DSI: Drying Sensitivity Index | 0.84 | 0.75 |
| Thermal expansion coefficients | $10^{-7}/^\circ\text{C}$ (20–400°C) | 64.2 | 66.5 |

*average of ten specimens

is associated to a more significant liquid phase formation. This phase penetrates the pores, closing them and isolating neighboring pores.

The liquid surface tension and capillarity help to bring pores closer together and reduce porosity; this explains the intense decrease of the water absorption in this temperature range (Baccour et al., 2009). The firing shrinkage up to 950°C is around 9% for the MC and 7.25% for the KC. Above 950°C, the firing shrinkage increases progressively to 13% for the MC while to 14% for the KC at 1200°C. The firing temperature has an important effect on the mechanical strength of ceramic tile. The bending strength of the MC increased progressively from 134 to 152, 179, 186, 192, 195 and 208 N/mm² fired at temperature displayed at Fig. 7, respectively. The mentioned values for the KC were 125, 144, 162, 181, 199, 206 and 211 N/mm². The effect of the temperature was to increase the bending strength by means of densification. As mentioned before, liquid phase formation above 950°C reduces porosity, which hinders crack formation and improves the mechanical strength.

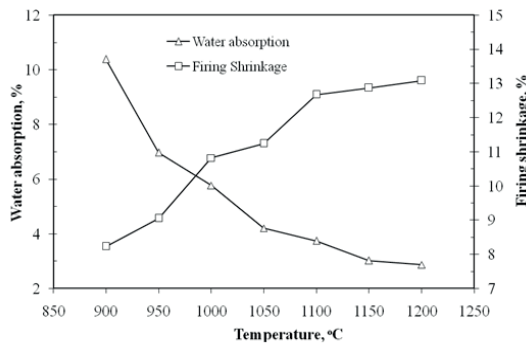


Figure 7. Gresification diagram of fired samples of the MC

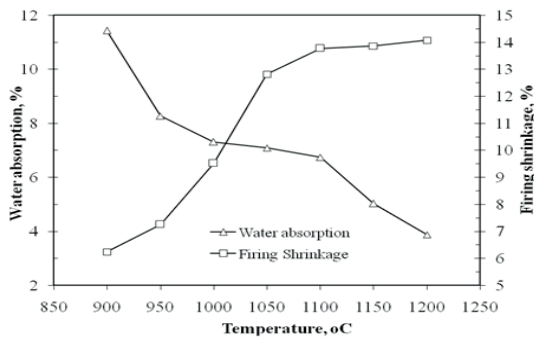


Figure 8. Gresification diagram of fired samples of the KC

2.5. Evaluation of Plasticity

The mineralogical composition of distinct argillaceous materials can influence their plasticity. The clay mineral fraction, clay minerals types, the quantity and type of natural accessory materials can alter plasticity (Modesto and Bernardin, 2008). Among the main impurities that possess non-plastic properties are iron minerals (mainly Fe₂O₃), aluminum oxide, sodic and potassium feldspars, soluble salts (K₂SO₄, NaCl, Na₂CO₃, etc.), calcium minerals (mainly calcite) and silica (Ancy, 2007; Peters, 1991). Table 4 depicts the results of the plasticity tests, given by the Atterberg limits. One may observe that the KC presents a higher value of plasticity index (PI) than the MC. In fact, the elevated values of PI characterize them as highly plastic, which is also demonstrated by Casagrande diagram (Casagrande, 1947) (Fig. 9) based on given data in Table 4.

Table 4. Fractional particle size distribution and Atterberg parameters of the clay materials

| | MC | KC |
|-----------------------------|--------|--------|
| Liquid limit, LL, mass% | 58.1 | 62.3 |
| Plastic limit, PL, mass% | 23.8 | 21.7 |
| Plasticity index, PI, mass% | 34.3 | 40.6 |
| >2000 µm | - | - |
| 200-2000 µm | 2.00 | 3.00 |
| 20-200 µm | 13.41 | 26.42 |
| 2-20 µm | 38.45 | 30.18 |
| <2 µm | 46.14 | 40.40 |
| Total | 100.00 | 100.00 |

Because the MC has more amount of clay fraction (<2µm) as indicating from particle size analyses, the MC has more plastic limit (PL) than the KC. The plasticity parameters of the MC are quite similar to results of the study (Ozkan, 2015). Both the MC and the KC samples also show high values for the PL, which has an important technological application, since it indicates the minimum percentage of moisture necessary to reach a plastic condition. With a high plastic limit, there will be more difficulty in drying the samples. On the other hand, the use of high plastic clays contributes to a reduction in the wearing down of the equipment for comminution and conformation (extruder). Moreover, high plasticity is associated with bodies with greater mechanical strength (Monterio and Vieira, 2004). Fig. 10 shows the position of these clays on the Holtz and Kovacs Diagram (Holtz

and Kovacs, 1981). The position of the MC and the KC on the diagram shows that the samples are presented between illitic and montmorillonitic domains. However, the MC is quite near the illite field, possibly due to kaolinite contents coherent with the XRD results. On the other hand, the KC is quite near the montmorillonite field.

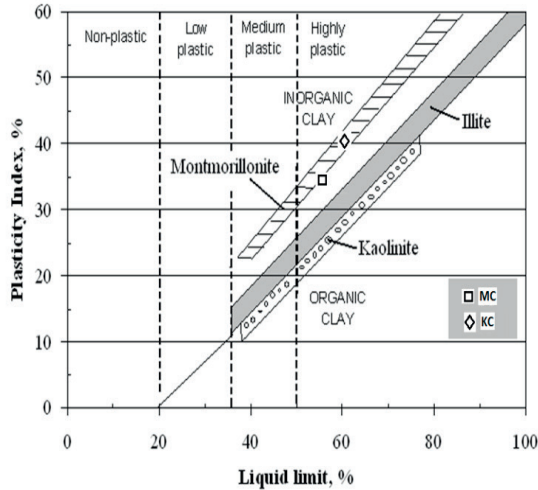


Figure 9. Location of the MC and the KC samples on the Casagrande chart

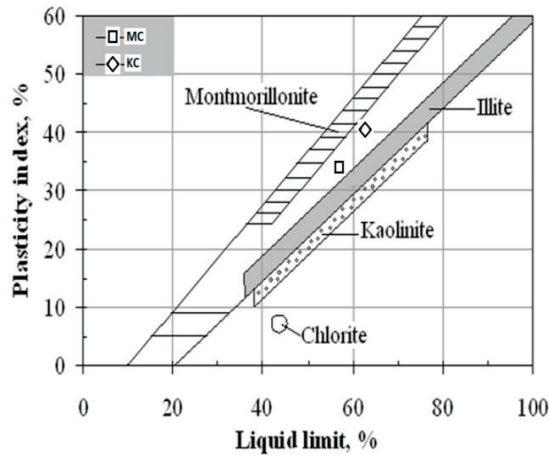


Figure 10. Position of the MC and the KC on the Holtz and Kovacs diagram

2.6. Drying Sensitivity Measurement

The plot of drying shrinkage vs. loss of moisture content (Bigot’s curve) of the clay bodies is shown in Fig.11. The initial moisture (M_i), the critical moisture at which the linear drying shrinkage finishes (M_c), drying shrinkage (DS) and Drying Sensitivity Index (DSI) of all clay mixtures are

shown in Table 3. The theory and modeling for drying of ceramic bodies have been the subject of many studies (Aungatichart and Wada, 2009; Ford, 1986; Konig, 1998; Scherer, 1990). The relevant literature on drying divide a drying process into (I) “constant rate period” with initial weight loss and major shrinkage, and (II) “declining rate period” with successive weight loss and minor shrinkage. The shrinkage process can lead to the occurrence of the drying crack of the ceramic bodies. Drying crack is also related to the term “drying sensitivity” (Aungatichart and Wada, 2009). As seen from Fig. 11, at the end of the constant rate period the MC lost 12.04% moisture whereas the KC lost 15.06%. It is concluded from Table 3 that the KC has the less DSI (0.75) value than the MC (0.84). The high DSI value reflects the high stress in the ceramic body that is dried quickly or unevenly and as a result, this body is prone to break during the drying process (Aungatichart and Wada, 2009). According to obtained these results, it can be said that the MC is more sensitive to drying process than the KC. Similarly, it was observed at the end of the drying process that the MC had more drying cracks than that of the KC had.

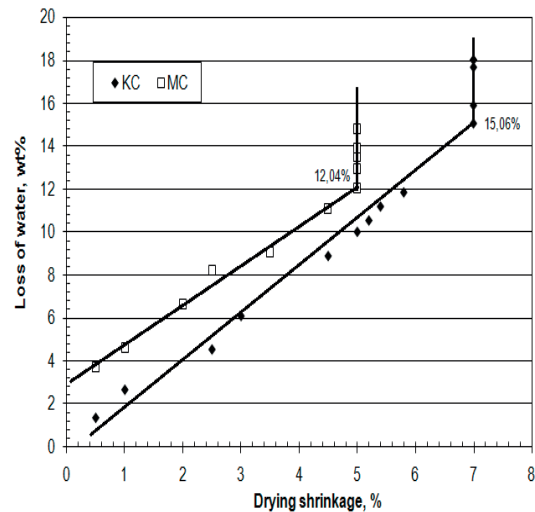


Figure 11. Relationship between drying shrinkage and loss of moisture content of the clay samples

3. CONCLUSIONS

The clays from Menemen and Kinik region, Turkey were characterized by chemical, mineralogical and thermal analyses. As concluding remarks, the following aspects related to the characterization and industrial application of two clays can be summarized:

1. It appears that from the mineralogical point of view, the main phase present in Menemen Clay (MC) was muscovite and kaolinite at an amount of about 51% and containing a substantial amount of SiO₂ and albite and calcite as main impurities. The ceramic materials from Kınık region (KC) consisted mostly of clinocllore and muscovite clay minerals at an amount of 41% with a high SiO₂ content (about 50%) as well as a low amount of alkaline oxides. The results from the chemical analyses of the raw clays show that the most important are Al₂O₃ and SiO₂ since they have a decisive influence on the refractoriness and strength of the final ceramic product.

2. The samples basically consist of a finely grained material. The MC consists of <2µm material around 46% whereas the KC 40%. As a consequence of this, the MC has a higher plastic limit than the KC. Higher proportions of finer particles and higher content of alkaline oxide especially for the MC favored vitrification due to good compaction of samples during firing. This has a positive effect on the firing strength of the MC clay samples. The firing strength value of the MC was 1.1 times greater than that of the KC, whereas water absorption value of the MC was 1.3 times less than the KC.

3. Concerning the technological parameters of fired bodies, the MC had higher firing and total shrinkage values than the KC due to the presence of more quartz in the KC and more clay minerals in the MC.

4. The relationship between water absorption, firing shrinkage and strength as a function of the firing temperature was examined for both clay samples, and above 950°C, water absorption was decreased and firing strength was increased distinctly with rising temperature of firing. The higher percentage of alkaline flux for the MC contributes achieving a low-level of water absorption above 950°C.

5. It was concluded from the drying sensitivity test that the KC has less DSI value of 0.75 than the MC (0.84). Since the MC is more sensitive to the drying process, the MC led to the occurrence of more drying cracks than the KC.

6. Characterization of Kınık Clay and comparison of Menemen and Kınık clay deposits have not been studied widely before. It is expected that the present investigation will help to improve the knowledge of both deposits. Investigations are still continuing on this important clay deposits for its exploitation for sustainable development.

REFERENCES

- Ancey, C., 2007. Plasticity and Geophysical Flows: A Review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 142 (1-3), 4-35.
- Atanasov, A., 2005. Drying Properties of a Ceramic Mass Resistible to Aggressive Environment. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40 (4), 311–314.
- Aungatichart, P., Wada, S. 2009. Correlation Between Bigot and Ratzenberger Drying Sensitivity Indices of Red Clay from Ratchaburi Province (Thailand). *Applied Clay Science*, 43, 182–185.
- Baccour, H., Medhioub, M., Jamoussi, F., Mhiri, T., Daoud, A., 2008. Mineralogical Evaluation and Industrial Applications of the Triassic Clay Deposits, Southern Tunisia. *Materials Characterization*, 59, 1613-1622.
- Baccour, H., Medhioub, M., Jamoussi, F., Mhiri, T., 2009. Influence of Firing Temperature on the Ceramic Properties of Triassic Clays from Tunisia. *J. Materials Processing Technology*, 209 (6), 2812-2817.
- Bergaya, F., Lagaly, G., 2006. General Introduction: Clays, Clay Minerals and Clay Science, in *Handbook of Clay Science* edited by F. Bergaya, B.K.G. Theng, G. Lagaly, Published by Elsevier, p.5-6.
- Can, M.M., Ozcan, S., Ceylan, A., Firat, T., 2010. Effect of Milling Time on the Synthesis of Magnetite Nanoparticles by Wet Milling. *Materials Science and Engineering B*. 172, 72-75.
- Carretero, M.I., Dondi, M., Fabbri, B., Raimondo, M., 2002. The Influence of Shaping and Firing Technology on Ceramic Properties of Calcareous and Non-Calcareous Illitic–Chloritic Clays. *Applied Clay Science*, 20, 301– 306.
- Casagrande, A., 1947. Plasticity Chart for the Classification of Cohesive Soils. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.* 783-811.
- Celik, H., 2010. Technological Characterization and Industrial Application of Two Turkish Clays for the Ceramic Industry. *Applied Clay Science*, 50, 245-254.
- Celik, H., 2015. Recycling of Boron Waste to Develop Ceramic Wall Tile in Turkey. *Transactions of The Indian Ceramic Society*, 74 (2), 108-116.
- Colak, M., Aksu, G., 2001. Ceramic Raw Materials of Menemen (İzmir) Their Mineralogical and Chemical Properties. *Proceedings Book of 10th National Clay Symposium, Konya*, 228-234 (in Turkish).
- Diels, K., Jaeckel, R., 2013. *Leybold Vacuum Handbook*. Published by Pergamon Press Ltd., p.185.

- Fisher, P., 1984. Some Comments on the Color of Fired Clays. *Ziegelindustrie International*, 37, 475-483.
- Ford, R.W., 1986. *Ceramics Drying*. First ed. Pergamon, Oxford.
- Harvey, C.C., Murray, H.H. 2006. *Clays: An Overview*, in *Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses 7th ed.*, edited by J. E. Kogel, et al., Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. pp.335-336.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D., 1981. Kansas Geotechnical Survey, Current Research in Earth Science. *Bulletin* 244, part 3, The Relationship Between Geology and Landslide Hazards of Atchison, Kansas and Vicinity.
- Konig, R., 1998. *Ceramic Drying*. First ed. Novokeram, Krumbach.
- Kreimeyer, R., 1987. Some Notes on the Firing Color of Clay Bricks. *Applied Clay Science*, 2, 175-183.
- Kurama, S., Kara, A., Kurama, H., 2007. Investigation of Borax Waste Behaviour in Tile Production. *Journal of the European Ceramic Society*, 27 (2-3), 1715–1720.
- Lutterotti L., 2010. MAUD WEB, version 1.9. <http://www.ing.unitn.it/~luttero/maud>.
- Mahmoudi, S., Srasra, E., Zargouni, F., 2008. The Use of Tunisian Barremian Clay in the Traditional Ceramic Industry: Optimization of Ceramic Properties. *Applied Clay Science*, 42, 125-129.
- Modesto, de C.O., Bernardin, A.M., 2008. Determination of Clay Plasticity: Indentation Method versus Pfefferkorn Method. *Applied Clay Science*, 40, 15-19.
- Monterio, S.N., Vieira, C.M.F., 2004. Influence of Firing Temperature on the Ceramic Properties of Clays from Campos Dos Goytacazes, Brazil. *Applied Clay Science*, 27, 229-234.
- Ozkan, I., 2015. Densification Behavior of Red Firing Menemen Clay. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 51, 36–39.
- Peters, J.F., 1991. Determination of Undrained Shear Strength of Low Plasticity Clays. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts*, 28 (1), 13.
- Ratzenberger, H., 1986a. Causes and Methods of Determining the Drying Sensitivity of Raw Materials for Structural Ceramics and Heavy Clay Products. *Ziegelindustrie International* 10, 535–540.
- Ratzenberger, H., 1986b. Possibilities for Reducing the Drying Sensitivity of Ceramic Raw Materials. *Ziegelindustrie International*, 11, 594–599.
- Ratzenberger, H., 1990. An Accelerated Method for the Determination of Drying Sensitivity. *Ziegelindustrie International*, 6, 348–354.
- Reinholz, S.Ch., 1987. Natural Drying Sensitivity of Clay Ceramic Raw Materials and Bodies Causes and Restriction through Additives. *Interbrick*. 3 (6), 23–27.
- Schneider, H.E., Hanke, W., 1996. Determination of the Drying Crack Sensitivity of Structural Ceramics and Heavy Clay Raw Materials. *Ziegelindustrie International*, 7–8, 468–480.
- Scherer, G.W., 1990. Theory of Drying. *Journal of the American Ceramic Society* 73, 3–14.
- Singer, F., Singer, S.S., 1963. *Industrial Ceramics*. Chapman and Hall Ltd, London. 99-100.
- Souza, G.P., Sanchez, R., de Holanda, J.N.F., 2002. Characteristics and Physical-Mechanical Properties of Fired Kaolinitic Materials. *Ceramica*. 48 (306), 102-107.
- TS EN ISO 10545-3, 1995. *Ceramic Tiles—Part 3: Determination Of Water Absorption, Apparent Porosity, Apparent Relative Density and Bulk Density*. Turkish Standards Institution.
- TS EN ISO 10545-4, 1995. *Ceramic Tiles—Part 4: Determination Of Modulus Of Rapture and Breaking Strength*. Turkish Standards Institution.



Orijinal Araştırma / Original Research

AÇIK MADEN İŞLETMELERİNDEKİ İŞ MAKİNESİ OPERATÖRLERİNİN GÜRÜLTÜ MARUZİYETİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF NOISE EXPOSURE OF HEAVY EQUIPMENT OPERATORS IN SURFACE MINES

Bülent Erdem^{a,*}, Zekeriya Duran^{b,**}, Tuğba Doğan^{a,***}, Hüsnü Yüksel^c

^a Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, SİVAS

^b Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Meslek Yüksek Okulu, SİVAS

^c Yüksek lisans öğrencisi, Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, SİVAS

Geliş Tarihi / Received : 11 Temmuz / July 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 16 Ekim / October 2017

Anahtar Sözcükler:

Gürültü analizi,
Gürültü ölçümü,
Eşdeğer gürültü düzeyi.

ÖZ

İşitme kaybı gürültüye bağlı ortaya çıkan bir meslek hastalığı gibi görünse de insan bedeni üzerindeki etkileri düşünüldüğünde iş kazalarının nedenleri içerisinde önemli yer oluşturmaktadır. Bu çalışmada maden işletmelerinde kullanılan farklı tip ve modelde 67 adet iş makinesinden gürültü ölçümleri alınmıştır. İş makineleri arasında hafriyat kamyonu, terskepçe hidrolik ekskavatör, paletli dozer, greyder, lastik tekerlekli yükleyici, lastik tekerlekli titreşimli silindir, hidrolik kırıcı, delici, döner kepçeli ekskavatör, bant aktarma aracı, dökücü, kömür yükleyici, kömür dökücü ve terskepçe yükleyici bulunmaktadır. Gürültü ölçümleri Sivas ve komşu illerde yer alan yol inşaat çalışması, kum ocağı, açık kireçtaşı işletmesi, açık demir işletmesi, açık altın işletmesi ve açık kömür işletmesi olmak üzere toplam altı işyerinden alınmıştır. Paletli dozer en yüksek gürültü maruziyetine neden olurken döner kepçeli tipteki kömür yükleyici ile sericileri en düşük gürültü maruziyetine yol açmaktadır. İş makinesi evreleri bazında da en düşük gürültü maruziyeti çoğunlukla bekleme evresinde, en yüksek gürültü maruziyeti ise genellikle araçların temel işlevlerini yaparken oluşmaktadır.

ABSTRACT

Though hearing loss may appear to emerge as an occupational disease related to noise, when its effects on human body is considered it can be realized that it constitutes an important place in the causes of occupational accidents. In this study noise measurements were taken from 67 units of mining machinery of different types and models used in the mining operations. Among them dumpers, hydraulic backhoes, crawled dozers, graders, wheeled front-end loaders, wheeled vibrating rollers, hydraulic breakers, drills, bucket wheel excavators, their integrated tripper cars, spreaders, bucket wheel type coal loaders, coal spreaders and backhoe loaders can be mentioned. Noise measurements were taken from a total of six mining workplaces, including a road construction work, a sand quarry, an open limestone quarry, an open iron mine, an open gold mine and an open coal mine. Crawled dozer ranks the highest in noise exposure while coal loader/spreader ranks the lowest. On the basis of mining equipment, the lowest noise exposure was recorded mostly in the waiting phase while the highest occurred when the machines performed their basic functions.

Keywords:

Noise analysis,
Noise measurement,
Equivalent noise level.

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

** zduran@cumhuriyet.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-9327-8567>

*** tcamuzcu@cumhuriyet.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-2628-4238>

GİRİŞ

Gürültü; istenmeyen, hoş gitmeyen ses olarak tanımlanmaktadır. Gürültü de tüm sesler gibi normal hava basıncının altında ve üstünde basınç değişiklikleri oluşturan bir titreşim aracılığıyla oluşmaktadır. Hava basıncında oluşan değişiklikler, işitme organlarına dalgalar halinde ulaşmakta ve bunun sonucu ses olarak duyulmaktadır (Çınar, 2005).

Gürültünün şiddeti, ses dalgasının oluşturduğu basıncın boyutuna veya dalganın genliğine bağlıdır. Bu genlik basınç dalgalanması olarak ölçülmekte olup sağlıklı bir insan kulağının duyabileceği en düşük ses 20 mPa (0 dB) olarak verilmiştir. İnsan kulağı bundan on milyon kat daha yüksek olan 200 Pa (140 dB) ses basıncına dayanabilmektedir (Sezek, 2009).

Gürültü, insanlar üzerinde geçici ve kalıcı işitme kayıplarına neden olmaktadır. İşitme kaybı ilk bakışta gürültüye bağlı ortaya çıkan bir meslek hastalığı gibi görünmesine rağmen insan bedeni üzerindeki etkileri düşünüldüğünde iş kazalarının nedenleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Gürültünün neden olduğu işitme kaybı probleminin AB’de en yaygın görülen 10 meslek hastalığından birisi olduğu ve Ülkemizde SGK’nın meslek hastalıkları istatistiği listelerinde yer aldığı ifade edilmiştir. Ayrıca yine ülkemizde endüstriden, İSGÜM tarafından yapılan ölçüm analiz taleplerinin %97’sini gürültü ölçümlerinin oluşturduğu ve gerçekleştirilen ölçümlerin yaklaşık %80’inin sonucunun ciddi oranda gürültü maruziyetinin varlığını ortaya koyduğu da eklenmiştir (Özmen, 2014).

Gürültüye bağlı işitme kaybı dünyada ve ülkemizde sık görülen ancak önemli meslek hastalıklarından biridir. İsveç’te toplam çalışanların %9’luk bölümünün zararlı düzeyde gürültüye sürekli olarak maruz kaldığı belirtilmekte olup bu rahatsızlık, Kanada ve ABD’nde en sık görülen on meslek hastalığı arasında yer almaktadır (Çakır, 2010). Gürültüye bağlı işitme kaybı ABD’nde yetişkinler arasında en yaygın görülen üç fiziksel rahatsızlıktan birisidir ve çalışan nüfusun %11’inde işitme güçlüğü (bunun yaklaşık %24’ü meslek hastalığı kaynaklı), yaklaşık %8’inde kulak çınlaması ve %4’ünde ise kulak çınlaması ve işitme güçlüğü yaşanmaktadır (WEB1, 2017). ABD’nde uluslararası tanınırlığa sahip Mine Safety and Health Administration (MSHA) tarafından 1999 yılında belirlenen gürültü maruziyeti limitleri aşağıda sıralanmıştır (Garvey, 2000; Frank vd., 2003).

- İzin verilebilir sınır değer: 90 dBA,
- Çalışma düzeyi: (85 – 90) dBA ve odyometrik testler yapılmalı,
- Koruma önlemleriyle çalışılabilecek düzey: 105 dBA ve üzeri olması durumlarında kesinlikle kulak tıkaçları ve manşonlar kullanılmalı,
- İzin verilemeyecek düzey: 115 dBA ve üzeri. Kesinlikle çalışma yapılamaz.

Diğer yandan ABD’nde uluslararası tanınırlığa sahip diğer bir otorite olan The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 8 saatlik sürekli çalışma için 85 dBA sınır değer olmak üzere, farklı gürültü düzeyleri için çizelge 1’deki en yüksek maruziyet sürelerini önermektedir (WEB2, 2017).

Çizelge 1. Farklı gürültü düzeyleri için en yüksek maruziyet süreleri

| Gürültü düzeyi (dBA) | Maruziyet süresi (saat/gün) | Gürültü düzeyi (dBA) | Maruziyet süresi (saat/gün) |
|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 85 | 8 | 94 | 1 |
| 88 | 4 | 97 | 0,50 |
| 91 | 2 | 100 | 0,25 |

SGB tarafından 28.07.2013 tarih ve 28721 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Çalışanların Gürültü ile ilgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik”te çalışanların gürültüye maruz kalmaları sonucu oluşabilecek sağlık ve güvenlik risklerinden, özellikle işitme ile ilgili risklerden korunmaları için asgari gereklilikler belirtilmektedir. Bunlar:

- En düşük maruziyet eylem değerleri: ($L_{EX, 8saat}$) = 80 dB(A) veya (P_{tepe}) = 112 Pa [135 dB(C) re. 20 µPa] (20 µPa referans alındığında 135 dB (C) olarak hesaplanan değer).
- En yüksek maruziyet eylem değerleri: ($L_{EX, 8saat}$) = 85 dB(A) veya (P_{tepe}) = 140 Pa [137 dB(C) re. 20 µPa].
- Maruziyet sınır değerleri: ($L_{EX, 8saat}$) = 87 dB(A) veya (P_{tepe}) = 200 Pa [140 dB(C) re. 20 µPa] olarak Yönetmelikte tespit edilmiştir (ÇSGB, 2013).

Gürültü, içerdiği öğelerle kişiyi bedensel veya psikolojik olarak etkileyebilen ses düzeyi olarak da tanımlanmaktadır. İnsanların işitme fonksiyonlarını olumsuz etkilemenin yanında diğer vücut işlevlerinin de olumsuz etkilenmesine neden olmakta, sözel iletişimi ve tehlike uyarılarının algılanmasını engellemektedir (Fişne, 2008).

Gürültüden etkilenmenin boyutunun; maruziyet süresi, gürültünün frekansı, şiddeti, kesikli ya da sürekli olması ve kişisel özelliklere bağlı olduğu ifade edilmiştir. Başlangıçtaki etkilenme işitme yorgunluğu olarak tanımlanmaktadır. Sesin şiddeti ve yoğunluğu arttıkça işitme yorgunluğu da artmakta, 140 dB şiddetindeki bir darbe gürültüsü akustik travma olarak tanımlanan ani ve geri dönüşü olmayan işitme kaybına yol açabilmektedir. Gürültü düzeyi arttıkça oluşan işitme kaybı artmakta ve buna bağlı olarak iyileşme süresi de uzamaktadır. İşitme kaybının iyileşebilmesi için etkilenme süresinin en az 10 katı kadar bir iyileşme süresinin gerektiği belirtilmektedir (Sabuncu, 2000; Ediz vd., 2002).

Erarşlan (1995), TKİ ELİ Eynez yeraltı ocağında ayak içerisinde gürültü seviyesinin yalnızca zincirli konveyör çalışırken 74 dBA – 96 dBA, tüm makineler ve işçiler çalışırken 77 dBA – 97 dBA arasında değiştiğini tespit etmiştir. Ayrıca gürültü seviyesinin hidrolik pompa istasyonunda 87 dBA, tumba girişinde 104 dBA, bantlı konveyör yanında 89 dBA, trolleyde 105 dBA, hava kompresörü istasyonunda 97 dBA ve vantilatör yanında 115 dBA olduğunu belirlemiştir.

Şahin (1998), bir linyit işletmesine ait yeraltı ve yerüstü ocaklarında toplam 32 noktada gürültü ölçümleri yapmış ve gürültü seviyesi, ölçüm yapılan tüm noktalarda 85 dBA'nın üzerinde çıkmıştır. Mesafenin gürültü düzeyi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gürültü kaynağından 1 m aralıkla 12 m mesafeye kadar ölçümler yapmış ve gürültü düzeyinin mesafe ile azaldığını görmüştür.

Şensöğüt ve Eralp (1998), yeraltı maden işletmelerindeki değişik operasyonlardaki gürültü seviyelerini ölçmüşlerdir. Buna göre; uzun ayakta üretim, delik delme ve zincirli konveyör ile taşıma işlerinde 87 dBA – 95 dBA, cevher nakliyat kuyusunda 90 dBA – 98 dBA ve diğer ölçüm noktalarında (kompresör, jeneratör istasyonları, ayırma elekleri, kör kuyular, cevher transfer noktası, kafes vagon giriş-çıkışı, skipler, pnömatik donanımla galeri ilerlemesi, emici ana radyal vantilatör vb.) 90 dBA – 120 dBA değerlerini bulmuşlardır.

Sharma vd., (1998), Hindistan'daki bir kömür madeninde açık ve yeraltı ocakları ile kömür hazırlama tesisindeki çeşitli makineler üzerinde gürültü ölçümleri yapmışlardır. Kömür madeninde gürültü seviyelerinin sınır değerlerinden yüksek olduğunu ve çalışanların sürekli maruz kalmaları durumunda işitme kayıpları yaşayacaklarını ifade etmişlerdir.

Çetin (2000), 1998 ve 1999 yıllarında TKİ-OAL'de 468 yeraltı işçisi üzerinde odyometrik testlerle saptanmış işitme kaybı sonuçlarına göre; orta-hafif derecede (40 dBA - 70 dBA işitme kaybı) işitme kaybı saptanan 19 kişide hem saf ses ortalaması, hem de gürültüye bağlı işitme kayıplarının oluştuğunu ve işçilerin, 4000 Hz'de farklı derecelerde işitme kaybına uğradıklarını tespit etmiştir.

Ediz vd., (2002), ETİ Gümüş Maden İşletmesi, TKİ-SLİ ve GLİ Tunçbilek İşletmesinde gürültü ölçümleri yapmışlar ve gürültü düzeylerinin risk oluşturabileceğini, dolayısıyla gürültünün önlenmesi için tedbir alınmasının gerekli olduğunu ifade etmişlerdir.

Ergün vd., (2004), üç konkasörün çalıştığı bir taş ocağının gürültü haritasını çizmişlerdir. Konkasörlerin bulunduğu noktalarda gürültü seviyesinin 95 dBA'a ulaştığı tespit edilmiştir.

McBride (2004), bir yeraltı kömür ocağında çeşitli makinelerin gürültü seviyelerini ölçmüştür. Basıncılı hava ile çalışan araçların önemli bir gürültü kaynağı olduğunu, madencilik endüstrisinde gürültüye maruziyet ve buna bağlı işitme kaybının yaygın olduğunu, risklerin çoğunun yeraltındaki makinelerin kullanım gereksinimleri sonucu ortaya çıktığını, dikkatli tasarım ve yeni teknolojik ekipman ile risklerin azaltılabileceğini ifade etmiştir.

Çınar (2005), TKİ-GLİ Tunçbilek açık kömür ocaklarında çeşitli iş makinelerinin gürültü seviyelerini ölçmüştür. İşletmede aşırı gürültüye neden olan makineleri elektrikli ekskavatörler, maden kamyonları ve delik delme makinesi olarak üç ana grupta değerlendirmiştir.

Şensöğüt ve Çınar (2007), TKİ-GLİ Tunçbilek açık kömür ocağında çeşitli iş makinelerinin gürültü seviyelerini ölçmüşlerdir. Araştırmacılar gürültü düzeyini kestirmeye yönelik eşitlikler türetmişler ve açık ocağın gürültü haritasını modellemişlerdir.

Engel and Kosala (2007), andezit, kireçtaşı ve dolomit madenlerindeki çeşitli operasyonlarda oluşan gürültü düzeylerini ölçmüşler ve madencilikte gürültü kaynaklarının genel olarak kırma-eleme ünitelerinde, bantlı konveyörlerde, kamyonla taşıma operasyonlarında ve ocak çalışmaları sırasında oluştuğu sonucuna varmışlardır. Özellikle kırıcılarda gürültü düzeylerinin diğer gürültü kaynaklarına göre daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Şensöğüt (2007), TKİ-GLİ Tunçbilek yeraltı ocağı, açık ocak, kömür hazırlama tesisi ve atölyelerde gürültü ölçümleri yapmıştır.

Fişne (2008), TTK'ya bağlı müesseselerdeki yeraltı ve yerüstü işyerlerinde çalışan işçiler arasında gürültüye bağlı işitme kaybı görülme sıklığını tahmin etmek, işçilerin yaşı ve etkisi altında kaldıkları gürültü düzeyinin işitme kaybı üzerine etkisini araştırmak üzere 411 maden işçisinin işitme kayıplarını işçilerin mesleklerine ve yaş gruplarına göre değerlendirmiştir. Yeraltı ve açık işletmede, kömür hazırlama tesisinde, üretim/bakım ve kereste atölyelerinde belirlenen % 95 güven aralığı alt limit değerleri 87 dBA'dan daha yüksek olan bölgelerde çalışan işçilerin zorunlu olarak kulak koruyucusu kullanmalarını önermiştir.

Mutlu (2010), Bilecik ilinde bulunan bir taş ocağı ve kırma-eleme tesisinde çalışan işçilerin çalışma alanlarındaki gürültü seviyelerine bağlı işitme kayıplarını incelemiştir. Gürültü ölçümleri ocak sahasında, kırma-eleme tesisinde ve sosyal tesislerde yapılmıştır. En yüksek gürültü seviyelerine ocak sahasında çalışan wagondrill ve hidrolik ekskavatör operatörlerinin maruz kaldığını tespit etmiş, kırma-eleme tesis çalışanlarının da maruz kaldıkları gürültü seviyelerinin Gürültü Yönetmeliği'ne göre yüksek olduğunu belirtmiştir.

Pleban vd., (2013), Polonya'da 2011 yılında madencilik sektöründe çalışan yaklaşık 148.000 işçiden 26.000 işçinin gürültüye maruz kaldığını ve gürültünün madenciler arasında ciddi bir problem olduğunu, resmi kayıtlara göre Polonya'da 2006 - 2010 yılları arasında 354 madencinin, 2010 yılında 74 madencinin kalıcı işitme kaybına maruz kaldığını belirtmişlerdir. Açık maden ocaklarında gürültü düzeylerinin 105 dB'e ulaştığını ifade etmişlerdir. Bir kireçtaşı ocağının kırma-eleme tesisinde (kırıcı, elekler vb.) yaptıkları gürültü ölçümlerinde; kırıcı ünitesinin ortalama gürültü düzeyinin 101,3 dBA, kırıcı ve yükleyici ünitesinin ortalama gürültü düzeyinin 104,3 dBA olduğunu tespit etmişlerdir.

Çınar ve Şensöğüt (2013), üç farklı maden işletmesinde çeşitli makinelerin gürültü seviyelerini ölçmüşlerdir. Gürültünün şiddetine bağlı olarak çalışanların rahatsızlık düzeyini önem derecesine göre 0 – 5 arasında puanlandırmışlar ve kulak koruyucu kullanılıp kullanılmayacağını değerlendirmişlerdir.

Çınar ve Şensöğüt (2015), Konya il sınırları içerisinde bulunan 2 adet mermer işleme tesisinde gürültü ölçümleri yapmışlardır. Ölçümler sonucunda en yüksek gürültü kaynağı ebatlama makinası (96,74 dBA), en düşük gürültü kaynağı ise katrak makinası (87,51 dBA) olarak belirlenmiştir.

Çalışanların gürültüden etkilenme dereceleri için makinelerin gürültü seviyelerini ölçmenin yeterli olmadığı ve gürültü altında çalışanların maruz kaldıkları günlük dozun tespit edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. En yüksek gürültüye silim makina işçisi (% 108,6), en düşük gürültüye ise muhasebe çalışanı (% 0,42) maruz kalmaktadır.

Erol ve Su (2015), mekanize bir yeraltı maden ocağında kullanılan kazı makineleri, taşıma araçları vb. iş makinelerinin gürültü seviyelerini ölçmüşlerdir. Kazı makinalarının gürültü düzeylerinin taşıma araçlarından daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Parnell (2015), İngiltere, İskoçya ve Galler'deki açık kömür ocaklarında kullanılan farklı tipteki iş makinelerinin ve donanımın gürültü analizini yapmıştır.

Kosala ve Bartłomiej (2016), bir andezit ocağında kırma-eleme tesisinde çeşitli makinelerde gürültü ölçümleri yapmışlar ve makinelerin gürültü düzeylerini (100 – 130) dBA arasında bulmuşlardır.

1. SAHA ÇALIŞMASI

1.1. Çalışma Uzayı

Bu çalışmada yapılan gürültü maruziyeti ölçümleri, TS EN ISO 9612-2009 "Akustik-Mesleki Gürültü Maruziyetinin Belirlenmesi-Mühendislik Metodu" ile TS 2607 ISO 1999 "Akustik – İş Yerinde Maruz Kalınan Gürültünün Tayini ve Bu Gürültünün Sebep Olduğu İşitme Kaybının Tahmini" standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her iki standartta da gürültüye maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi için sekiz saatlik bir çalışma gününe göre (L_{EX-8h}) normalize edilen günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak, frekans ağırlıklı ses basıncı değerlerinin karelerinin toplamının karekökü (RMS) tanımlanmış olsa da bu çalışmada gürültü maruziyeti değerlendirmesine yönelik diğer parametreler de hesaplanmıştır.

Çalışmada gürültü ölçümü yapılan iş makineleri arasında hafriyat kamyonu, terskepçe hidrolik ekskavatör, paletli dozer, greyder, lastik tekerlekli yükleyici, lastik tekerlekli titreşimli silindir, hidrolik kırıcı, delici, döner kepçeli ekskavatör (DKE), bant aktarma aracı, dökücü, kömür yükleyici, kömür dökücü ve terskepçe yükleyici bulunmaktadır.

Gürültü ölçümleri Sivas ve komşu illerde yer alan yol inşaat çalışması, kum ocağı, kireçtaşı işletmesi, demir işletmesi, altın işletmesi ve kömür işletmesi olmak üzere toplam altı işyerinden alınmıştır. Çalışmada ölçüm alınan iş makinelerinin işletmelere dağılımı Çizelge 2'de verilmiştir.

1.2. Metot

Ölçümler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği"nde yer alan tüm gürültü ölçümleri için uygun olan yüksek hassasiyete sahip Tip-1 gürültü seviyesi ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm aralığı 15 dBA RMS ile 140 dBA Peak arasında değişen gürültü ölçüm cihazı IEC 61672-1: 2002 Standardında öngörülen gereklilikleri karşılamakta olup frekans analizi için dâhili 1/3 oktav bant filtresi bulunmaktadır. Gürültü ölçümleri üç ayrı profil tanımlanarak A, C ve Z (doğrusal) frekans ağırlıklandırması ile saniyede 8 örnekleme alınabilen hızlı mod kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm sonuçları, 20 Hz ile 20 kHz arasındaki tam ses aralığını kapsadığı ve düşük frekans düzeylerinde insan kulağının tepkisini en iyi yansıttığı için genel amaçlı gürültü ölçümlerinde yaygın biçimde kullanılan A ağırlıklı filtre üzerinden verilmiştir. C ağırlıklandırma filtresi, insan kulağının çok gürültülü seslere verdiği tepki ile daha uyumlu olduğundan genellikle yüksek şiddetdeki seslerin ve tepe ses basınçlarının ölçümünde kullanılmaktadır. Z filtresinde frekans ağırlıklandırılması yapılmamaktadır (Sıfır filtresi).

Çalışmada yararlanılan gürültü analiz paketinin bütünleşik çevre izleme modülü (SvanteK, 2017)

kullanılarak gürültü ölçümü kayıtları, iş makinesinin çevrimini oluşturan evrelere ayrılmış ve her evre için SPL, L_{eq} , SEL, L_n (L_1-L_{99}) vb. parametreler hesaplanmıştır. Hafriyat kamyonları için çevrim evrelerinin işaretlendiği tipik bir gürültü-zaman kütüğü Şekil 1'de gösterilmiştir. Operatörlerin işlerini bir tam vardiya boyunca sürdürdükleri kabul edildiğinde 8 saatlik eşdeğer gürültü düzeyi $L_{EX,8h}$, Eşitlik 1.1 ile hesaplanmaktadır.

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq} + 10 \log \left(\frac{T_e}{T_0} \right) \quad (1.1)$$

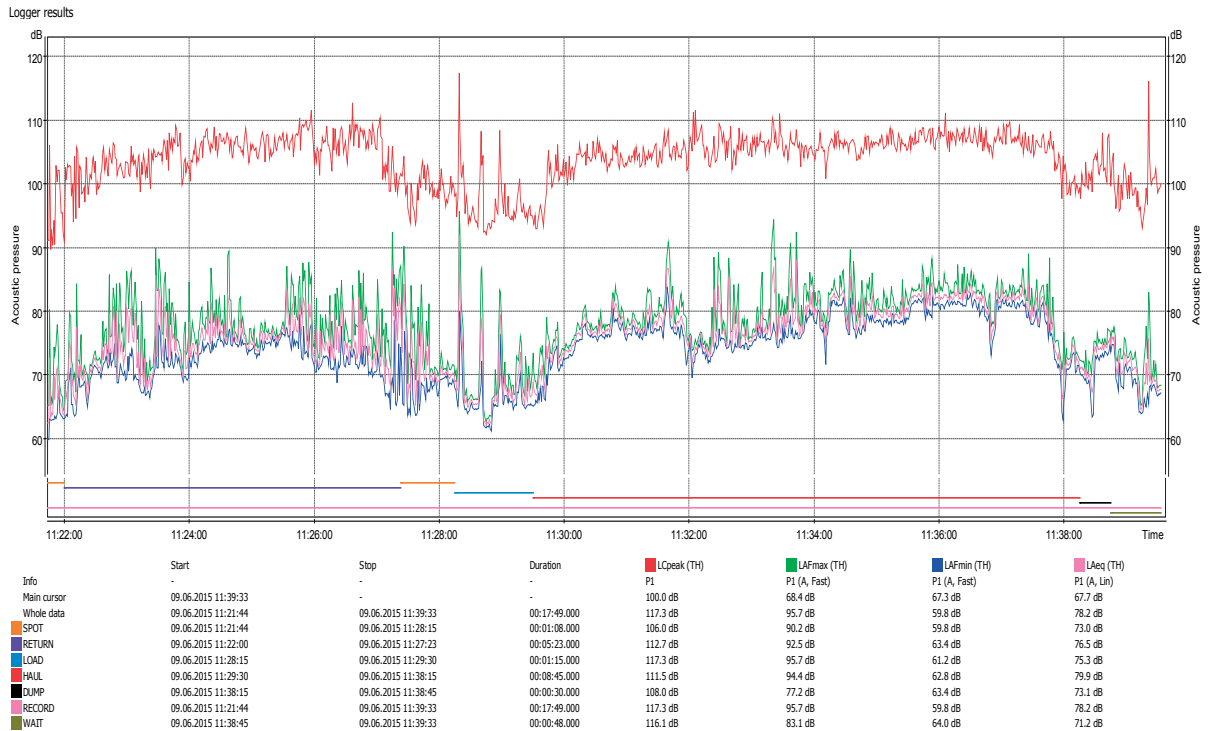
Burada:

L_{Aeq} : belirtilen bir zaman dilimi içinde ölçülen A-ağırlıklı dalgali sesin sahip olduğu akustik enerji ile aynı süre için aynı miktarda enerji içeren kavramsal sabit ses düzeyi (dB)

$L_{EX,8h}$: 8 saatlik eşdeğer sürekli A ağırlıklı ses basıncı seviyesi (dB)

T_e : çalışma günü için toplam maruziyet süresi (7,5 saat)

T_0 : referans maruziyet süresi, 8 saat



Şekil 1. Hafriyat kamyonlarının tipik bir gürültü-zaman kütüğü (No_14) (Yüksel, 2017)

Çizelge 2. Çalışmada ölçüm alınan iş makinelerinin işletmelere göre dağılımı

| İşletmeler İş makinesi | Yol inşaat çalışması | Kum ocağı | Kireçtaşı işletmesi | Demir işletmesi | Altın işletmesi | Kömür işletmesi | TOPLAM |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|
| Hafriyat kamyonu | | 1 | 4 | 8 | 7 | | 20 |
| Terskepçe ekskavatör | | | 1 | 2 | 8 | | 11 |
| Paletli dozer | 1 | | | | 3 | 2 | 6 |
| Lastik tekerlekli yükleyici | | 1 | | | 3 | | 4 |
| Greyder | 1 | | | | 3 | | 4 |
| Lastik tekerlekli titreşimli silindir | 1 | | | | 2 | | 3 |
| Delici | | | | 1 | 2 | | 3 |
| Hidrolik kırıcı | | | 1 | | 2 | | 3 |
| DKE | | | | | | 3 | 3 |
| Bant aktarma aracı | | | | | | 3 | 3 |
| Dökücü | | | | | | 3 | 3 |
| Kömür yükleyici | | | | | | 2 | 2 |
| Kömür dökücü | | | | | | 1 | 1 |
| Terskepçe yükleyici | | 1 | | | | | 1 |
| TOPLAM | 3 | 3 | 6 | 11 | 30 | 14 | 67 |

1.3. Hafriyat Kamyonları

Çalışma kapsamında 20 adet hafriyat kamyonundan, ölçüm süresi kamyonun bir tam döngüsünü kapsayacak biçimde, gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Kamyon iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD; Kamyonların tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve ölçüm yapılan toplam süredeki gürültü maruziyetini göstermektedir), Yanaşma manevrası (SPOT), Bekleme (WAIT), Yüklenme (LOAD), Taşıma (HAUL), Boşaltma (DUMP), Dönüş (RETURN).

Kamyonlara ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 3'de verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen gürültü düzeyinin (L_{eq}) 71,0 dBA ile 81,8 dBA arasında sıralandığı, ortalamasının ise 76,0 dBA olduğu görülmektedir. Diğer yandan günlük gürültü maruziyeti (L_{EX-8h})

70,7 dBA ile 81,5 dBA arasında değişmekte ve ortalaması 75,6 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ve sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Hafriyat kamyonlarına ait gürültü maruziyeti sonuçları işletmeler bazında incelendiğinde açık demir ve altın işletmelerindeki araçları kullanan sürücülerin daha yüksek (76,9 dBA ve 76,6 dBA), kum ocağı ve kireçtaşı işletmesindeki hafriyat kamyonlarını kullanan sürücülerin daha düşük (73,0 dBA ve 73,6 dBA) gürültüye maruz kaldığı tespit edilmiştir. Tüm araçların yaklaşık 25 tonluk taşıma kapasitesinin tamamen kullanıldığı dikkate alındığında işletmeler arasında gürültü düzeyindeki değişimin taşıma yolu eğiminden kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır. Kamyon çevriminde yanaşma, yüklenme ve boşaltma evreleri kısa ancak taşıma ve dönüş evreleri büyük yer kap-

Çizelge 3. Çalışmada örneklenen hafriyat kamyonlarının eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Hafriyat kamyonu | Süre dd:nn | KAYIT | YANAŞMA | YÜKLENME | TAŞIMA | BOŞALTMA | DÖNÜŞ | BEKLEME |
|-----------------------|------------|-------|---------|----------|--------|----------|-------|---------|
| En düşük | 07:54 | 71.0 | 67.5 | 68.7 | 69.3 | 67.3 | 70.5 | 67.5 |
| En yüksek | 52:26 | 81.8 | 85.3 | 77.2 | 83.1 | 84.9 | 83.5 | 82.8 |
| Genel ortalama | 23:52 | 76,0 | 74,4 | 72,6 | 77,0 | 74,5 | 75,6 | 72,8 |
| ① Kum ocağı | 07:54 | 73,0 | 68,5 | 74,2 | 74,0 | 71,7 | - | 68,0 |
| ② Demir işletmesi | 19:08 | 76,9 | 76,7 | 72,7 | 79,1 | 72,9 | 76,0 | 74,3 |
| ③ Kireçtaşı işletmesi | 39:30 | 73,6 | 71,6 | 71,4 | 72,1 | 78,9 | 74,3 | 70,5 |
| ④ Altın işletmesi | 22:37 | 76,6 | 74,2 | 72,5 | 78,0 | 74,2 | 75,6 | 73,3 |

ladığından ortalama gürültü düzeyini bu iki evre belirlemektedir. Her iki işletmede taşıma yolları yüksek eğimli olduğundan motor devinimi, dolayısıyla kabine iletilen gürültü de artmıştır.

Çalışmada örneklenen tüm hafriyat kamyonları evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 77,0 dBA ile TAŞIMA evresinde oluşmaktadır. Bunu 75,6 dBA ile DÖNÜŞ, 74,5 dBA ile BOŞALTMA, 74,4 dBA ile YANAŞMA ve 72,8 dBA ile BEKLEME izlemektedir. En düşük gürültü maruziyeti 72,6 dBA ile YÜKLENME evresinde meydana gelmektedir.

Gürültü maruziyeti işletmelere göre değerlendirildiğinde ise açık demir ve altın işletmelerinde en yüksek gürültü düzeyinin TAŞIMA evresinde olduğu görülmektedir. Ancak en yüksek gürültü maruziyeti kum ocağında YÜKLENME, kireçtaşı işletmesinde ise BOŞALTMA evresinde yaşanmıştır. Diğer yandan en düşük gürültü maruziyeti açık demir ve altın işletmelerinde YÜKLENME evresinde, kum ocağı ve kireçtaşı işletmesinde ise BEKLEME evresinde meydana gelmiştir.

1.4. Hidrolik Terskepçe Ekskavatörler

Çalışma kapsamında 11 adet hidrolik terskepçe ekskavatör ile 1 adet terskepçe yükleyiciden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Ekskavatör iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden olduğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), Aynada hazırlık (BENCH PREPARE), Bekleme (WAIT), İleri yürüme (FORWARD), Doldurma&dönüş (LOAD&SWING), Boşaltma&dönüş (DUMP&RETURN).

Hidrolik terskepçe ekskavatörlere ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 4'de verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 74,8 dBA ile 83,9 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 78,1 dBA olduğu görülmektedir. Diğer yandan L_{EX-8h} 74,5 dBA ile 83,6 dBA arasında değişmekte

ve ortalama gürültü düzeyi 77,8 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ve sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Hidrolik terskepçe ekskavatörlere ait gürültü maruziyeti sonuçları işletmeler bazında incelendiğinde kum ocağı ile açık demir ve altın işletmelerindeki terskepçe ekskavatör operatörlerinin daha yüksek (80,1 dBA, 79,9 dBA ve 77,8 dBA) ancak kireçtaşı işletmesindeki terskepçe ekskavatör operatörlerinin daha düşük (74,8 dBA) gürültüye maruz kaldığı tespit edilmiştir. Terskepçe yükleyici hariç tutulduğunda çalışmada örneklenen ekskavatörlerin kepçe kapasiteleri 1200 L ile 4500 L, çalışma kütleleri ise 36 t ile 85 t arasında değişmektedir. Gürültü düzeyini belirleyen baskın faktör makine büyüklüğünden çok kepçe doldurma güçlüğüdür. Araçlar, yığın oluşturdukları hazırlık evresinde zeminle etkileşim nedeniyle yüksek miktarda güce gereksinim duyduklarından bu durum motor devinimini, dolayısıyla kabine iletilen gürültüyü de artırmıştır. Aynı nedenden ötürü kepçe doldurma ve dönüş evresindeki gürültü düzeyi de yüksek çıkmaktadır.

Çalışmada örneklenen tüm hidrolik terskepçe ekskavatörler evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 79,2 dBA ile HAZIRLIK evresinde oluşmaktadır. Bunu 78,2 dBA ile BEKLEME, 78,1 dBA ile DOLDURMA&DÖNÜŞ, 76,9 dBA ile BOŞALTMA&DÖNÜŞ izlemektedir. En düşük gürültü maruziyeti 75,5 dBA ile YÜRÜME evresinde meydana gelmektedir.

Gürültü maruziyeti işletmelere göre değerlendirildiğinde ise kum ocağı ve kireçtaşı işletmesinde en yüksek gürültü düzeyinin DOLDURMA&DÖNÜŞ evresinde olduğu görülmektedir. Ancak en yüksek gürültü maruziyeti açık demir işletmesinde BEKLEME ve altın işletmesinde ise HAZIRLIK evresinde yaşanmıştır. Diğer yandan en düşük gürültü maruziyeti kum ocağında BOŞALTMA&

Çizelge 4. Çalışmada örneklenen hidrolik terskepçe ekskavatörlerin eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Terskepçe ekskavatör | Süre dd:nn | KAYIT | DOLDURMA & DÖNÜŞ | BOŞALTMA & DÖNÜŞ | BEKLEME | YÜRÜME | HAZIRLIK |
|-----------------------|------------|-------|------------------|------------------|---------|--------|----------|
| En düşük | 06:02 | 74,8 | 74,9 | 72,3 | 73,2 | 75,5 | 74,9 |
| En yüksek | 24:04 | 83,9 | 84,2 | 84,0 | 83,1 | 75,5 | 83,5 |
| Genel ortalama | 13:06 | 78,1 | 78,1 | 76,9 | 78,2 | 75,5 | 79,2 |
| ① Demir işletmesi | 14:43 | 79,9 | 79,6 | 79,6 | 80,1 | - | - |
| ② Kireçtaşı işletmesi | 24:04 | 74,8 | 75,0 | 74,7 | 74,1 | - | - |
| ③ Altın işletmesi | 12:12 | 77,8 | 77,9 | 76,1 | 78,1 | 75,5 | 79,2 |
| ④ Kum ocağı | 06:02 | 80,1 | 80,5 | 79,4 | 79,7 | - | - |

DÖNÜŞ, açık demir işletmesinde DOLDURMA&DÖNÜŞ ile BOŞALTMA&DÖNÜŞ, altın işletmesinde YÜRÜME ve kireçtaşı işletmesinde BEKLEME evresinde meydana gelmiştir.

1.5. Paletli Dozerler

Çalışma kapsamında 6 adet paletli dozerden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Dozer iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), Bekleme (WAIT), Küreme (DOZE), İleri yürüme (FORWARD), Geri yürüme (RETURN).

Paletli dozerlere ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 5'te verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerleri 80,3 dBA ile 92,4 dBA arasında olup ortalama gürültü düzeyi 86,3 dBA'dır. L_{EX-8h} ise 80,1 dBA ile 92,1 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 86,0 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değerinden (85 dBA) yüksek ancak sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Paletli dozerlere ait gürültü maruziyeti sonuçları işletmeler bazında incelendiğinde açık kömür ve altın işletmelerindeki paletli dozer operatörlerinin daha yüksek (86,9 dBA ve 87,9 dBA) ancak yol inşaatındaki paletli dozer operatörlerinin daha düşük (80,1 dBA) gürültüye maruz kaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada örneklenen dozerlerin bıçak kapasiteleri 7200 L ile 16400 L, çalışma kütleleri ise 29 t ile 50 t arasında değişmektedir. Gürültü düzeyini belirleyen baskın faktör makine büyüklüğünden çok yürüme hızı ve zemin türüdür. Araçlar, küreme evresinde yavaş ancak bıçak askıda iken ileri ve geri hareket sırasında hızlı hareket etmektedir. Bu evrelerde yürüyüş mekanizması yüksek gürültü üretmektedir. Benzer biçimde toprağımsı zeminde çalışma düşük, yerinde ya da tumbalarda sert kayalık zemin üzerinde çalışma daha yüksek düzeyde gürültüye yol açmaktadır.

Çalışmada örneklenen tüm paletli dozerler evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 87,4 dBA ile YÜRÜME evresinde oluşmaktadır. Bunu 86,6 dBA ile DÖNÜŞ, 86,4 dBA ile KÜREME izlemektedir. En düşük gürültü maruziyeti 83,4 dBA ile BEKLEME evresinde meydana gelmektedir.

Gürültü maruziyeti işletmelere göre değerlendirildiğinde ise en yüksek gürültü düzeyinin açık kömür işletmesinde KÜREME, yol inşaatında DÖNÜŞ ve açık altın işletmesinde YÜRÜME evresinde oluştuğu görülmektedir. Diğer yandan en düşük gürültü maruziyeti kömür işletmesinde YÜRÜME iken, yol inşaatı ve açık altın işletmesinde BEKLEME evresinde meydana gelmiştir.

1.6. Lastik Tekerlekli Yükleyiciler

Çalışma kapsamında 4 adet lastik tekerlekli yükleyiciden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Yükleyici iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), Bekleme (WAIT), İleri yürüme (FORWARD), Tesviye (LEVEL), Yükleme (LOAD), Taşıma (HAUL), Boşaltma (DUMP), Dönüş (RETURN).

Lastik tekerlekli yükleyicilere ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 6'ta verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 72,8 dBA ile 80,6 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 76,2 dBA olduğu görülmektedir. L_{EX-8h} ise 72,5 dBA ile 80,3 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 75,9 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ile sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Lastik tekerlekli yükleyicilere ait gürültü maruziyeti sonuçları işletmeler bazında incelendiğinde kum ocağı ve açık altın işletmesindeki operatörlerin birbirine çok yakın (76,1 dBA ve 76,2 dBA) gürültü seviyesine maruz kaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5. Çalışmada örneklenen paletli dozerlerin eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Paletli dozer | Süre dd:nn | KAYIT | YÜRÜME | KÜREME | DÖNÜŞ | BEKLEME |
|-------------------|------------|-------|--------|--------|-------|---------|
| En düşük | 07:01 | 80,3 | 84,2 | 80,4 | 80,6 | 79,2 |
| En yüksek | 22:30 | 92,4 | 90,5 | 92,2 | 92,6 | 87,7 |
| Genel ortalama | 16:00 | 86,3 | 87,4 | 86,4 | 86,6 | 83,4 |
| ① Kömür işletmesi | 14:46 | 86,9 | 84,2 | 87,2 | 87,1 | 85,4 |
| ② Yol inşaatı | 15:54 | 80,3 | - | 80,4 | 80,6 | 79,2 |
| ③ Altın işletmesi | 16:52 | 87,9 | 90,5 | 88,0 | 88,3 | 83,5 |

Çizelge 6. Çalışmada örneklenen lastik tekerlekli yükleyicilerin eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Tekerlekli yükleyici | Süre dd:nn | KAYIT | DOLDURMA | TAŞIMA | BOŞALTMA | DÖNÜŞ | YÜRÜME | TESVİYE | BEKLEME |
|----------------------|------------|-------|----------|--------|----------|-------|--------|---------|---------|
| En düşük | 04:49 | 72,8 | 74,3 | 74,5 | 75,0 | 73,0 | 69,3 | 72,2 | 68,0 |
| En yüksek | 14:27 | 80,6 | 76,1 | 76,1 | 75,9 | 81,1 | 81,3 | 80,7 | 75,4 |
| Genel ort. | 10:44 | 76,2 | 75,2 | 75,3 | 75,5 | 76,5 | 75,3 | 76,5 | 73,0 |
| ① Kum ocağı | 04:49 | 76,1 | 76,1 | 76,1 | 75,9 | 75,9 | - | - | 68,0 |
| ② Altın işletmesi | 12:43 | 76,2 | 74,3 | 74,5 | 75,0 | 76,7 | 75,3 | 76,5 | 74,6 |

Çalışmada örneklenen yükleyicilerin kova kapasiteleri 3100 L ile 4300 L, çalışma kütleleri ise 18 t ile 30 t arasında değişmektedir. Gürültü düzeyini belirleyen baskın faktör yürüme ve tesviyeleme olarak belirmektedir. Motor, taşıma ve dönüş evrelerinde yüksek deviminde çalıştığından yüksek gürültü üretmektedir. Diğer yandan tesviyeleme işleminde zeminle etkileşim söz konusu olduğundan yine yüksek düzeyde gürültü oluşmaktadır.

Çalışmada örneklenen tüm lastik tekerlekli yükleyiciler evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 76,5 dBA ile DÖNÜŞ ve TESVİYE evrelerinde oluşmaktadır. Bunu 75,5 dBA ile BOŞALTMA, 75,3 dBA ile TAŞIMA ve YÜRÜME, 75,2 dBA ile DOLDURMA izlemektedir. En düşük gürültü maruziyeti 73,0 dBA ile BEKLEME evresinde meydana gelmektedir.

Gürültü maruziyeti işletmelere göre değerlendirildiğinde ise en yüksek gürültü düzeyinin kum ocağında DOLDURMA ve TAŞIMA, açık altın işletmesinde DÖNÜŞ evresinde olduğu görülmektedir. Diğer yandan en düşük gürültü maruziyeti kum ocağında BEKLEME iken, açık altın işletmesinde DOLDURMA evresinde meydana gelmiştir.

1.7. Greyderler

Çalışma kapsamında 4 greyderden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Greyder iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), Bekleme (WAIT), İleri yürüme (FORWARD), Tesviye (GRADE), Geri yürüme (RETURN).

Çizelge 7. Çalışmada örneklenen greyderlerin eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Greyder | Süre dd:nn | KAYIT | TESVİYE | DÖNÜŞ | YÜRÜME | BEKLEME |
|-------------------|------------|-------|---------|-------|--------|---------|
| En düşük | 12:21 | 73,7 | 74,0 | 73,5 | 80,0 | 67,8 |
| En yüksek | 17:19 | 87,5 | 87,8 | 87,2 | 80,0 | 82,8 |
| Genel ortalama | 14:49 | 80,3 | 80,4 | 80,5 | 80,0 | 76,2 |
| ① Yol inşaatı | 14:37 | 73,7 | 74,0 | 73,5 | - | 67,8 |
| ② Altın işletmesi | 14:53 | 82,5 | 82,6 | 82,8 | 80,0 | 79,0 |

Greyderlere ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 7'de verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 73,7 dBA ile 87,5 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 80,3 dBA olduğu görülmektedir. L_{EX-8h} ise 73,4 dBA ile 87,2 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 80,0 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ile sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Greyderlere ait gürültü maruziyeti sonuçları işletmeler bazında incelendiğinde yol inşaatında çalışan greyder operatörlerinin düşük (73,7 dBA) ancak açık altın işletmesindeki makine operatörlerinin yüksek (82,5 dBA) gürültüye maruz kaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada örneklenen greyderlerin motor güçleri 138 HP ile 240 HP, çalışma kütleleri ise 14 t ile 19 t arasında değişmektedir. Gürültü düzeyini belirleyen baskın faktörler yürüme hızı ve zemin türü olarak belirmektedir. Motor, özellikle bıçak askıda iken ileri ve geri yürüme evrelerinde yüksek deviminde çalıştığından yüksek gürültü üretmektedir. Diğer yandan tesviyeleme işleminde zeminle etkileşim söz konusu olduğundan yine yüksek düzeyde gürültü oluşmaktadır.

Çalışmada örneklenen tüm greyderler evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 80,5 dBA ile DÖNÜŞ evresinde oluşmaktadır. Bunu 80,4 dBA ile TESVİYE, 80,0 dBA ile YÜRÜME izlemektedir. En düşük gürültü maruziyeti 76,2 dBA ile BEKLEME evresinde meydana gelmektedir.

Gürültü maruziyeti işletmelere göre değerlendirildiğinde en yüksek gürültü düzeyinin yol inşaatının

da TESVİYE, açık altın işletmesinde DÖNÜŞ evresinde olduğu görülmektedir. En düşük gürültü maruziyeti yol inşaatı ve açık altın işletmesinde BEKLEME evresinde meydana gelmiştir.

1.8. Lastik Tekerlekli Titreşimli Silindirler

Çalışma kapsamında 3 adet lastik tekerlekli titreşimli silindirden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Silindir iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), Bekleme (WAIT), İleri yürüme (FORWARD), İleri sıkıştırma (COMPACT FORWARD), Geri sıkıştırma (COMPACT BACKWARD), Geri yürüme (RETURN).

Titreşimli silindirlere ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 8'de verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 76,0 dBA ile 83,9 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 79,1 dBA olduğu görülmektedir. L_{EX-8h} ise 75,8 dBA ile 83,6 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 78,8 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ile sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Silindirlere ait gürültü maruziyeti sonuçları işletmeler bazında incelendiğinde yol inşaatında çalışan silindir operatörlerinin daha yüksek (83,6 dBA) ancak açık altın işletmesindeki makine operatörlerinin daha düşük (76,4 dBA) gürültüye maruz kaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada örneklenen silindirlerin motor güçleri 133 HP ile 174 HP, çalışma kütleleri ise 12 t ile 19 t arasında değişmektedir. Gürültü düzeyini belirleyen baskın

faktörün ileri ve geri yönlü sıkıştırma evresinde silindir tamburuna uygulanan merkezkaç kuvveti olduğu görülmektedir.

Çalışmada örneklenen tüm lastik tekerlekli titreşimli silindirler evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 80,0 dBA ile GERİ_SIKIŞTIR evresinde oluşmaktadır. Bunu 79,2 dBA ile İLERİ_SIKIŞTIR, 75,7 dBA ile YÜRÜME ve 75,3 dBA ile DÖNÜŞ izlemektedir. En düşük gürültü maruziyeti 75,1 dBA ile BEKLEME evresinde meydana gelmektedir.

Gürültü maruziyeti işletmelere göre değerlendirildiğinde ise en yüksek gürültü düzeyinin yol inşaatında İLERİ_SIKIŞTIR, açık altın işletmesinde YÜRÜME ve İLERİ_SIKIŞTIR evrelerinde olduğu görülmektedir. Diğer yandan en düşük gürültü maruziyeti yol inşaatında YÜRÜME ve açık altın işletmesinde BEKLEME evrelerinde meydana gelmiştir.

1.9. Deliciler

Çalışma kapsamında 3 adet deliciden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Delici iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), Bekleme (WAIT), İleri yürüme (FORWARD), Delme (DRILL).

Delicilere ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden Çizelge 9'da verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 74,2 dBA ile 86,6 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 80,3 dBA olduğu

Çizelge 8. Çalışmada örneklenen lastik tekerlekli titreşimli silindirlerin eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Titreşimli silindir | Süre dd:nn | KAYIT | İLERİ_SIKIŞTIR | GERİ_SIKIŞTIR | YÜRÜME | DÖNÜŞ | BEKLEME |
|---------------------|------------|-------|----------------|---------------|--------|-------|---------|
| En küçük | 10:20 | 76,0 | 75,8 | 75,9 | 74,6 | 74,8 | 73,3 |
| En büyük | 14:30 | 83,9 | 84,2 | 84,1 | 76,8 | 75,8 | 76,6 |
| Genel ortalama | 13:03 | 79,1 | 79,2 | 80,0 | 75,7 | 75,3 | 75,1 |
| ① Yol inşaatı | 10:20 | 83,9 | 84,2 | 84,1 | 74,6 | - | 75,5 |
| ② Altın işletmesi | 14:24 | 76,7 | 76,8 | 75,9 | 76,8 | 75,3 | 75,0 |

Çizelge 9. Çalışmada örneklenen delicilerin eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Delici | Süre dd:nn | KAYIT | DELME | YÜRÜME | BEKLEME |
|-------------------|------------|-------|-------|--------|---------|
| En düşük | 07:56 | 74,2 | 73,6 | 77,0 | 79,5 |
| En yüksek | 13:59 | 86,6 | 88,2 | 83,1 | 83,9 |
| Genel ortalama | 10:26 | 80,3 | 80,6 | 80,3 | 81,7 |
| ① Demir işletmesi | 09:24 | 86,6 | 88,2 | 83,1 | 83,9 |
| ② Altın işletmesi | 10:57 | 77,1 | 76,9 | 78,9 | 79,5 |

görülmektedir. L_{EX-8h} ise 74,0 dBA ile 86,3 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 80,0 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ile sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Delicilere ait gürültü maruziyeti sonuçları işletmeler bazında incelendiğinde açık demir işletmesindeki çalışan delici operatörlerinin daha yüksek (86,6 dBA) ancak açık altın işletmesindeki makine operatörlerinin daha düşük (77,1 dBA) gürültüye maruz kaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada örneklenen delicilerin motor güçleri 225 HP ile 260 HP, çalışma kütleleri ise 12 t ile 15 t arasında değişmektedir. Gürültü düzeyini belirleyen baskın faktörün kabin yalıtımı olduğu görülmüştür. Demir işletmesinde toprak zeminde delme işlemi yapılmasına rağmen kabin içindeki gürültü düzeyi yüksek, altın işletmesinde az ayrılmış kireçtaşında delme sırasında oluşan gürültü düzeyi düşük çıkmıştır.

Çalışmada örneklenen tüm deliciler evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 81,7 dBA ile BEKLEME evresinde oluşmaktadır. Bunu 80,6 dBA ile DELME izlemektedir. En düşük gürültü maruziyeti 80,3 dBA ile YÜRÜME evresinde meydana gelmektedir.

Gürültü maruziyeti işletmelere göre değerlendirildiğinde ise en yüksek gürültü düzeyinin açık demir işletmesinde DELME, açık altın işletmesinde BEKLEME evrelerinde olduğu görülmektedir. Diğer yandan en düşük gürültü maruziyeti açık demir işletmesinde YÜRÜME ve açık altın işletmesinde DELME evrelerinde meydana gelmiştir.

1.10. Hidrolik Kırıcılar

Çalışma kapsamında 3 adet hidrolik kırıcıdan gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Kırıcı iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), Bekleme (WAIT), İleri yürüme (FORWARD), Kırma (BREAK).

Kırıcılara ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 10'da verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 81,6 dBA ile 84,0 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 83,0 dBA olduğu görülmektedir. L_{EX-8h} ise 81,3 dBA ile 83,7 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 82,7 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ile sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Hidrolik kırıcılara ait gürültü maruziyeti sonuçları işletmeler bazında incelendiğinde, açık kireçtaşı işletmesindeki çalışan kırıcı operatörlerinin daha düşük (81,6 dBA) ancak, açık altın işletmesindeki makine operatörlerinin daha yüksek (83,7 dBA) gürültüye maruz kaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada örneklenen kırıcıların motor güçleri 188 HP ile 379 HP, çalışma kütleleri ise 27 t ile 45 t arasında değişmektedir. Gürültü düzeyini belirleyen baskın faktörün kayaç türü olduğu görülmüştür. Kayaç sertleştikçe kabin içindeki gürültü düzeyi yükselmektedir.

Çalışmada örneklenen tüm kırıcılar evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 83,5 dBA ile YÜRÜME evresinde oluşmaktadır. Bunu 83,3 dBA ile KIRMA izlemektedir. En düşük gürültü maruziyeti 78,9 dBA ile BEKLEME evresinde meydana gelmektedir.

Gürültü maruziyeti işletmelere göre değerlendirildiğinde ise en yüksek gürültü düzeyinin açık kireçtaşı ve altın işletmelerinde KIRMA evresinde olduğu görülmektedir. Diğer yandan en düşük gürültü maruziyeti yine her iki işletmede BEKLEME evresinde meydana gelmiştir.

1.11. Döner Kepçeli Ekskavatörler

Çalışma kapsamında 3 adet döner kepçeli ekskavatörden (DKE) gürültü ölçümü kaydedilmiştir. DKE iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), İleri yürüme (FORWARD), Kazı (DIG).

Çizelge 10. Çalışmada örneklenen kırıcıların eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Hidrolik kırıcı | Süre dd:nn | KAYIT | KIRMA | YÜRÜME | BEKLEME |
|-----------------------|------------|-------|-------|--------|---------|
| En düşük | 11:21 | 81,6 | 81,8 | 83,5 | 76,8 |
| En yüksek | 15:16 | 84,0 | 84,3 | 83,5 | 80,2 |
| Genel ortalama | 13:27 | 83,0 | 83,3 | 83,5 | 78,9 |
| ① Kireçtaşı işletmesi | 15:16 | 81,6 | 81,8 | - | 76,8 |
| ② Altın işletmesi | 12:32 | 83,7 | 84,0 | 83,5 | 80,0 |

DKE'lere ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 11'de verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 73,4 dBA ile 80,2 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 77,4 dBA olduğu görülmektedir. L_{EX-8h} ise 73,1 dBA ile 79,9 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 77,1 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ile sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Çalışmada örneklenen tüm DKE'ler evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 78,2 dBA ile YÜRÜME evresinde oluşmaktadır. En düşük gürültü maruziyeti ise 77,5 dBA ile KAZI evresinde meydana gelmektedir.

Çizelge 11. Çalışmada örneklenen DKE'lerin eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| DKE | Süre dd:nn | KAYIT | KAZI | YÜRÜME |
|-------------------|------------|-------|------|--------|
| En düşük | 15:52 | 73,4 | 73,4 | 78,2 |
| En yüksek | 30:55 | 80,2 | 80,2 | 78,2 |
| Genel ortalama | 22:42 | 77,4 | 77,5 | 78,2 |
| ① Kömür işletmesi | 22:42 | 77,4 | 77,5 | 78,2 |

Bant Aktarma Araçları

Çalışma kapsamında 3 adet bant aktarma aracından gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Bant aktarma birimi iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), İleri yürüme (FORWARD), İletim (TRANSFER).

Aktarma araçlarına ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 12'de verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 75,6 dBA ile 80,7 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 78,3 dBA olduğu görülmektedir. L_{EX-8h} ise 75,4 dBA ile 80,4 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 78,0 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ile sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Çalışmada örneklenen tüm bant aktarma araçları evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 78,4 dBA ile İLETİM evresinde oluşmaktadır. En düşük gürültü maruziyeti ise 77,8 dBA ile YÜRÜME evresinde meydana gelmektedir.

Çizelge 12. Çalışmada örneklenen bant aktarma araçlarının eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Aktarma aracı | Süre dd:nn | KAYIT | İLETİM | YÜRÜME |
|-------------------|------------|-------|--------|--------|
| En düşük | 07:04 | 75,6 | 75,6 | 77,8 |
| En yüksek | 10:06 | 80,7 | 80,7 | 77,8 |
| Genel ortalama | 08:13 | 78,3 | 78,4 | 77,8 |
| ① Kömür işletmesi | 08:13 | 78,3 | 78,4 | 77,8 |

Dökücüler

Çalışma kapsamında 3 adet dökücünden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Dökücü iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), İletim (TRANSFER).

Dökücülere ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden, Çizelge 13'de verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 78,3 dBA ile 81,3 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 80,0 dBA olduğu görülmektedir. L_{EX-8h} ise 78,0 dBA ile 81,0 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 79,7 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ile sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Çalışmada örneklenen tüm dökücüler tek evreye sahiptir. Böylece en yüksek ve en düşük gürültü maruziyeti 80,0 dBA ile TRANSFER evresinde oluşmaktadır.

Çizelge 13. Çalışmada örneklenen dökücülerin eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Dökücü | Süre dd:nn | KAYIT | TRANSFER |
|-------------------|------------|-------|----------|
| En düşük | 04:17 | 78,3 | 78,3 |
| En yüksek | 05:24 | 81,3 | 81,3 |
| Genel ortalama | 04:54 | 80,0 | 80,0 |
| ① Kömür işletmesi | 04:54 | 80,0 | 80,0 |

Kömür Yükleyici ve Dökücüler

Çalışma kapsamında 2 adet DKE tipi kömür yükleyici ile 1 adet kömür dökücünden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Araçların iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiştir: Kayıt (RECORD), İleri yürüme (FORWARD), Geri yürüme (RETURN), Dönme (SWING), Yükleme (LOAD), İletim (TRANSFER).

Yükleyici ve dökücülere ait gürültü maruziyeti sonuçları, ortalama değerler üzerinden,

Çizelge 14'de verilmiştir. Operatör kabininde kaydedilen L_{eq} değerlerinin 67,6 dBA ile 77,6 dBA arasında sıralandığı, ortalama gürültü düzeyinin ise 73,3 dBA olduğu görülmektedir. LEX-8h ise 67,3 dBA ile 77,3 dBA arasında değişmekte ve ortalama gürültü düzeyi 73,0 dBA olmaktadır. Bu değer maruziyet etkin değeri (85 dBA) ile sınır değerinden (87 dBA) düşüktür.

Çalışmada örneklenen tüm yükleyici/dökücüleri evreler bazında değerlendirildiğinde en yüksek gürültü maruziyeti 77,9 dBA ile TRANSFER evresinde oluşmaktadır. Bunu, 74,9 dBA ile GERİ, 71,4 dBA ile YÜRÜME ve 66,9 dBA ile DÖNME evreleri izlemektedir. En düşük gürültü maruziyeti ise 66,5 dBA ile YÜKLEME evresinde meydana gelmektedir.

Çizelge 14. Çalışmada örneklenen kömür yükleyici ve dökücülerin eşdeğer gürültü düzeyleri (dBA)

| Kömür yükleyici ve dökücüler | Süre dd:nn | KAYIT | YÜRÜME | DÖNME | YÜKLEME | TRANSFER | GERİ |
|------------------------------|------------|-------|--------|-------|---------|----------|------|
| En düşük | 03:09 | 67,6 | 71,4 | 64,0 | 66,5 | 75,8 | 74,9 |
| En yüksek | 15:01 | 77,6 | 71,4 | 69,7 | 66,5 | 79,9 | 74,9 |
| Genel ortalama | 07:15 | 73,3 | 71,4 | 66,9 | 66,5 | 77,9 | 74,9 |
| ① Kömür İşletmesi | 07:15 | 73,3 | 71,4 | 66,9 | 66,5 | 77,9 | 74,9 |

TARTIŞMA

Ölçümler, iş makinelerinin çalışma evrelerine bölümlendirilerek değerlendirilmiştir. Böylece her iş makinesinde baskın gürültü maruziyetinin olduğu evre tespit edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

a) Tüm iş makinelerinin operatör kabininde belirlenen L_{eq} ile $L_{EX,8h}$ değerleri azalan sıralama ile Çizelge 15'de verilmiştir. Paletli dozer en yüksek gürültü maruziyetine neden olurken kömür yükleyici/dökücüleri en düşük gürültü maruziyetine yol açmaktadır. $L_{EX,8h}$ için paletli dozer, hidrolik kırıcı, greyder ve delicilerin gürültü düzeyi, önlem alınma sınırı olan 80,0 dBA'e eşit ya da yüksektir.

b) Tüm iş makinelerinin operatör kabininde kaydedilen ses maruziyet seviyesi (SEL), zamanın %10, %50, %90 ve %99'unda aşılacak ses düzeyleri (sırasıyla L_{10} , L_{50} , L_{90} ve L_{99}) azalan sıralama ile Çizelge 16'da verilmiştir. Buna göre paletli dozer operatörü zamanın %90'ında 80 dBA üzerinde gürültüye maruz kalmıştır. Paletli dozer dışındaki diğer tüm iş makineleri zamanın %90'ında 80 dBA altında gürültüye maruz kalmışlardır. Hidrolik terskepçe ekskavatör, lastik tekerlekli yükleyici, hafriyat kamyonu ve kömür yükleyici/dökücü ope-

ratörleri dışındaki operatörler zamanın %10'unda 80 dBA üzerindeki gürültüye maruz kalmışlardır. Paletli dozer ve hidrolik kırıcı operatörleri zamanlarının %50'sinde 80 dBA üzerinde gürültüye maruz kalmışlardır.

c) Özellikle paletli dozer, greyder ve lastik tekerlekli yükleyicilerin operatörlerinde yorgunluk hissi ve yoğunlaşma bozukluklarına yakalanma olasılığı diğer iş makinelerine göre daha yüksektir.

d) Ses düzeyinin zamanla değişimine göre sınıflandırma yapıldığında ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin gürültüleri, dalgalanma biçiminde sürekli değişen ya da durup, yeniden başlayarak kesikli biçimde zamanla değişen kararsız gürültü (Ertürk, 2001) sınıfına girmektedir.

e) İş makinesi operatörlerinin gürültü maruziyeti işletmeler bazında değişmektedir (Çizelge 17). DKE ile bütünleşik biçimde çalışan iş makinelerinin bulunduğu açık kömür işletmesi hariç tutulduğunda lastik tekerlekli yükleyici dışındaki tüm iş makineleri işletmeler bazında farklı gürültü düzeyi oluşturmuşlardır. Sonuçlar değerlendirildiğinde açık demir ve altın işletmelerindeki iş makinelerinin, yol inşaatı, kum ocağı ve kireçtaşı işletmesine göre daha gürültülü çalıştığı görülmektedir.

f) İş makinesi operatörlerinin çalışma sırasında en yüksek ve en düşük gürültü maruziyetine yol açan evreler Çizelge 18'de verilmiştir. En düşük gürültü maruziyeti genellikle bekleme evresinde oluşmuştur. Bu evrede araçlar hareketsiz ve motorları askıda çalışmaktadır.

g) İş makinesi operatörlerinin çalışma sırasında işletme bazında en yüksek ve en düşük gürültü maruziyetine yol açan evreler Çizelge 19'da verilmiştir. İşletmeler bazında da en düşük gürültü maruziyetinin çoğunlukla bekleme evresinde, en yüksek gürültü maruziyetinin ise genellikle araçların temel işlevlerini yaparken olduğu söylenebilir.

Çizelge 15. Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin gürültü düzeyleri (dBA)

| İş makinesi | L_{EX-8h} (ortalama) | L_{EX-8h} (min) | L_{EX-8h} (mak) | L_{Aeq} (ortalama) | L_{Aeq} (min) | L_{Aeq} (mak) |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| Paletli dozer | 86,0 | 80,1 | 92,1 | 86,3 | 80,3 | 92,4 |
| Hidrolik kırıcı | 82,7 | 81,3 | 83,7 | 83,0 | 81,6 | 84,0 |
| Greyder | 80,0 | 73,4 | 87,2 | 80,3 | 73,7 | 87,5 |
| Delici | 80,0 | 74,0 | 86,3 | 80,3 | 74,2 | 86,6 |
| Dökücü | 79,7 | 78,0 | 81,0 | 80,0 | 78,3 | 81,3 |
| Lastik tekerlekli titreşimli silindir | 78,8 | 75,8 | 83,6 | 79,1 | 76,0 | 83,9 |
| Bant aktarma aracı | 78,0 | 75,4 | 80,4 | 78,3 | 75,6 | 80,7 |
| Hidrolik terskepçe ekskavatör | 77,8 | 74,5 | 83,6 | 78,1 | 74,8 | 83,9 |
| Döner kepçeli ekskavatör | 77,1 | 73,1 | 79,9 | 77,4 | 73,4 | 80,2 |
| Lastik tekerlekli yükleyici | 75,9 | 72,5 | 80,3 | 76,2 | 72,8 | 80,6 |
| Hafriyat kamyonu | 75,6 | 70,7 | 81,5 | 76,0 | 71,0 | 81,8 |
| Kömür yükleyici/dökücü | 73,0 | 67,3 | 74,5 | 73,3 | 67,6 | 77,6 |

Çizelge 16. Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin SEL, L_{10} , L_{50} , L_{90} , ve L_{99} gürültü düzeyleri (dBA)

| İş makinesi | SEL | L_{10} | L_{50} | L_{90} | L_{99} |
|---------------------------------------|-------|----------|----------|----------|----------|
| Paletli dozer | 115,9 | 88,4 | 85,8 | 80,8 | 72,9 |
| Hidrolik kırıcı | 112,1 | 85,5 | 80,3 | 75,5 | 72,3 |
| Greyder | 109,7 | 82,7 | 78,9 | 71,8 | 61,6 |
| Delici | 108,1 | 82,2 | 79,7 | 75,4 | 72,6 |
| Dökücü | 104,7 | 82,7 | 77,1 | 75,1 | 74,0 |
| Lastik tekerlekli titreşimli silindir | 108,0 | 81,4 | 78,6 | 72,3 | 62,1 |
| Bant aktarma aracı | 105,1 | 81,3 | 73,1 | 66,8 | 65,2 |
| Hidrolik terskepçe ekskavatör | 106,8 | 79,4 | 75,0 | 71,9 | 68,6 |
| Döner kepçeli ekskavatör | 108,6 | 80,9 | 72,2 | 67,7 | 65,6 |
| Lastik tekerlekli yükleyici | 103,9 | 79,0 | 73,7 | 67,7 | 62,4 |
| Hafriyat kamyonu | 107,1 | 78,7 | 71,7 | 65,4 | 61,3 |
| Kömür yükleyici/dökücü | 98,5 | 76,8 | 66,1 | 56,1 | 52,1 |

Çizelge 17. İşletmeler bazında ortalama gürültü değerleri (dBA)

| İşletmeler İş makinesi | Yol inşaat çalışması | Kum ocağı | Kireçtaşı işletmesi | Demir işletmesi | Altın işletmesi | Kömür işletmesi |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Hafriyat kamyonu | - | 73,0 | 73,6 | 76,9 | 76,6 | - |
| Hidrolik terskepçe ekskavatör* | - | 80,1 | 74,8 | 79,9 | 77,8 | - |
| Paletli dozer | 80,1 | - | - | - | 87,9 | 86,9 |
| Lastik tekerlekli yükleyici | - | 76,1 | - | - | 76,2 | - |
| Greyder | 73,7 | - | - | - | 82,5 | - |
| Lastik tekerlekli titreşimli silindir | 83,6 | - | - | - | 76,4 | - |
| Delici | - | - | - | 86,6 | 77,1 | - |
| Hidrolik kırıcı | - | - | 81,6 | - | 83,7 | - |
| Döner kepçeli ekskavatör | - | - | - | - | - | 77,4 |
| Bant aktarma aracı | - | - | - | - | - | 78,3 |
| Dökücü | - | - | - | - | - | 80,0 |
| Kömür yükleyici/dökücü** | - | - | - | - | - | 73,3 |

* Terskepçe yükleyici bu gruba dâhil edilmiştir.

** Her iki araç aynı gruba dâhil edilmiştir.

Çizelge 18. Operatörlerin çalışma sırasında en yüksek/en düşük gürültü maruziyetine yol açan evreler

| İş makinesi | En düşük evre | En yüksek evre |
|---------------------------------------|---------------|----------------|
| Hafriyat kamyonu | YÜKLENME | TAŞIMA |
| Hidrolik terskepçe ekskavatör | YÜRÜME | HAZIRLIK |
| Paletli dozer | BEKLEME | YÜRÜME |
| Lastik tekerlekli yükleyici | BEKLEME | DÖNÜŞ, TESVİYE |
| Greyder | BEKLEME | DÖNÜŞ |
| Lastik tekerlekli titreşimli silindir | BEKLEME | GERİ_SIKIŞTIR |
| Delici | YÜRÜME | BEKLEME |
| Hidrolik kırıcı | BEKLEME | YÜRÜME |
| Döner kepçeli ekskavatör | KAZI | YÜRÜME |
| Bant aktarma aracı | YÜRÜME | İLETİM |
| Dökücü* | TRANSFER | TRANSFER |
| Kömür yükleyici/dökücü | DÖNME | TRANSFER |

* Makine çalışması tek evreden oluşmuştur

Çizelge 19. İş makinesi operatörlerinin çalışma sırasında işleme bazında en yüksek ve en düşük güdültü maruziyetine yol açan evreler

| İş makinesi | Yol inşaat çalışması | | Kum ocağı | | Kireçtaşı işletmesi | | Demir işletmesi | | Altın işletmesi | | Kömür işletmesi | |
|-------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | En düşük | En yüksek | En düşük | En yüksek | En düşük | En yüksek | En düşük | En yüksek | En düşük | En yüksek | En düşük | En yüksek |
| ① | - | - | BEKLEME | YÜKLENME | BEKLEME | BOŞALTIMA | YÜKLENME | TAŞIMA | YÜKLENME | TAŞIMA | - | - |
| ② | - | - | BOŞALTIMA | DOLDURMA | BEKLEME | DOLDURMA | DOLDURMA | DOLDURMA | BEKLEME | YÜRÜME | HAZIRLIK | - |
| ③ | BEKLEME | DÖNÜŞ | - | - | - | - | - | - | BEKLEME | YÜRÜME | YÜRÜME | KÜREME |
| ④ | - | - | BEKLEME | BEKLEME | - | - | - | - | DOLDURMA | DÖNÜŞ | - | - |
| ⑤ | BEKLEME | TESVİYE | - | - | - | - | - | - | BEKLEME | DÖNÜŞ | - | - |
| ⑥ | YÜRÜME | SIKIŞTIR | - | - | - | - | - | - | BEKLEME | BEKLEME | BEKLEME | BEKLEME |
| ⑦ | - | - | - | - | - | - | YÜRÜME | DELME | DELME | BEKLEME | - | - |
| ⑧ | - | - | - | - | BEKLEME | KIRMA | - | - | BEKLEME | KIRMA | - | - |
| ⑨ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | KAZI | YÜRÜME |
| ⑩ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | YÜRÜME | İLETİM |
| ⑪ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | TRANSFER | TRANSFER |
| ⑫ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | YÜKLEME | TRANSFER |

- ① Hafriyat kamyonu
 ② Hidrolik terskeçe ekskavator
 ③ Paletli dozer
 ④ Lastik tekerlekli yükleyici
 ⑤ Greyder
 ⑥ Lastik tekerlekli titreşimli silindir
 ⑦ Delici
 ⑧ Hidrolik kırıcı
 ⑨ Döner kepçeli ekskavator
 ⑩ Bant aktarma aracı
 ⑪ Dökücü
 ⑫ Kömür yükleyici/dökücü

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında maden işletmelerinde kullanılan farklı tip ve modelde 67 adet iş makinesinden gürültü ölçümleri alınmıştır. İş makineleri arasında hafriyat kamyonu, terskepçe hidrolik ekskavatör, paletli dozer, greyder, lastik tekerlekli yükleyici, lastik tekerlekli titreşimli silindir, hidrolik kırıcı, delici, DKE, bant aktarma aracı, dökücü, kömür yükleyici, kömür dökücü ve terskepçe yükleyici bulunmaktadır. Gürültü ölçümleri Sivas ve komşu illerde yer alan yol inşaat çalışması, kum ocağı, açık kireçtaşı işletmesi, açık demir işletmesi, açık altın işletmesi ve açık kömür işletmesi olmak üzere toplam altı işyerinden alınmıştır.

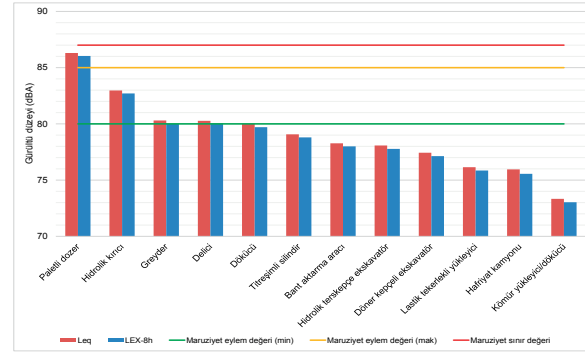
Bu çalışmada öncelikle, açık maden işletmelerindeki iş makinelerini kullanan operatörlerin maruz kaldığı gürültü düzeyinin tespiti ve sonra, araç çalışma döngüsünün gürültü maruziyetine daha hassas olan evrelerinin ayırtlanması hedeflenmiş ve ulaşılan bulgular tartışılarak, sunulmuştur. Böylece, işletmelerdeki teknik yöneticiler ve iş güvenliği sorumluları uygun önlemleri planlayabilirler. Diğer yandan, gürültü maruziyetini hafifletecek önlem türleri bu çalışmanın konusunu oluşturmadığından, bu hususlara değinilmemiş olup alınabilecek tipik önlemler dizisi literatürde geniş olarak yer almaktadır. Ancak uygulanması planlanan önlemlerin İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği Risk kontrol adımları Madde 10 (ÇSGB, 2012) başlığı altında tanımlanan hiyerarşiye uygun olmasına önem verilmesi önerilir.

Tüm araç gruplarının gürültü düzeyleri Şekil 2'de verilmiştir. Paletli dozer operatörleri maruziyet eylem değerinin üzerinde gürültüye maruz kalmaktadır. Yapılan çalışmada ortalama eşdeğer gürültü düzeyi (L_{eq}) 86,3 dBA olarak hesaplanmıştır. 8 saatlik eşdeğer gürültü düzeyi (L_{EX-8h}) ise 86,0 dBA'dir. Paletli dozerler örneklenen iş makineleri arasında gürültü düzeyi en yüksek araçlar olduğu gibi ölçüm sonuçları, maruziyet sınır değeri olan 87 dBA'ye çok yakın çıkmıştır.

Hidrolik kırıcılar, greyderler, deliciler ve DKE dökücülerinin gürültü düzeyi, önlem alınma sınırı olan 80,0 dBA'ye eşit ya da yüksektir.

Titreşimli silindirler, DKE'ler, DKE aktarma araçları, DKE kömür yükleyici/sericiler, hidrolik terskepçe ekskavatörler, lastik tekerlekli yükleyiciler ve hafriyat kamyonları operatörleri, önlem sınırı olan 80,0 dBA'den düşük gürültü düzeyine maruz bırakılmaktadır.

Şekil 2. Tüm iş makinesi operatörlerinin gürültü maruziyet düzeyleri



TEŞEKKÜR

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-574 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Çakır, A., 2010. Ankara'da Mobilya İmalatı Yapan 7 Fabrikada Gürültü Düzeylerinin Saptanması ve Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 70 s, Ankara.
- Çetin, O., 2000. OAL'de Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplarının İncelenmesi. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi, Eylül-Aralık, 39-45.
- Çınar, İ., 2005. Madencilikte Gürültü Analizi, Modellenmesi ve Haritalanması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 141 s, Konya.
- Çınar İ., Şensöğüt C., 2013. Evaluation of Noise Measurements Performed in Mining Sites for Environmental Aspects. Int. J. Environ. Res., 7 (2), 383-386.
- Çınar İ., Şensöğüt C., 2015. Mermer Hazırlama Tesislerinde Oluşan Gürültünün İşçiler Üzerindeki Maruziyet Değerlerinin Belirlenmesi. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 21-22 Aralık, 335-344, Adana.
- ÇSGB, 2012. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 6 s, Ankara.
- ÇSGB, 2013. Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 6 s, Ankara.
- Ediz, İ. G., Beyhan, S., Akçakoca, H., Sarı, E., 2002. Madencilikte Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplarının İncelenmesi. Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 29-31 Mayıs, 13-22, Zonguldak.

- Engel, J. R., Kosala, K., 2007. Sources of Vibroacoustic Hazards in Open-Pit Mines of Mineral Raw Materials. *Archives of Acoustics*, 32 (2), 251-262.
- Erarslan, O., 1995. Noise Monitoring and Control at the A.L.I. Soma Coal Region in Eyzek Mine. Master Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylül University, 113 p, İzmir.
- Ergün, F., Toprak, R., Aktürk, N., 2004. Açık Ocak Maden İşletmelerinin Neden Olduğu Çevresel Gürültü. *Hacettepe Üniversitesi Çevre Bilimleri, Sayı 6*, 1-9.
- Erol, İ., Su, O., 2015. Mekanize Bir Yeraltı Maden İşletmesinde Gürültü Seviyelerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (2), 191-200.
- Ertürk, B., 2001. Hidrolik gürültü ve azaltma yöntemleri, II. Ulusal Hidrolik Ve Pnömatik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 8-11 Kasım, İzmir.
- Frank, T., Bise, C. J., Michael, K., 2003. A Hearing Conservation Program for Coal Miners. *Occupational Health&Safety*, 72 (6), 106-110.
- Fişne, A., 2008. Türkiye Taşkömürü Kurumu Ocaklarında Gürültü Koşullarının İncelenmesi, Etkilenme Düzeylerinin İstatistiksel Analizi ve Risk Değerlendirmesi. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 217 s, İstanbul.
- Garvey, D. J., 2000. Mining MSHA's New Noise Exposure Regulations. *Professional Safety*, 45 (1), 12-53.
- Kosała, K., Bartłomiej, S., 2016. Analysis of Noise Pollution in an Andesite Quarry with the Use of Simulation Studies and Evaluation Indices. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 22 (1), 92-101.
- McBride, D. I., 2004. Noise-induced Hearing Loss and Hearing Conservation in Mining. *Occupational Medicine*, 54 (5), 290-296.
- Mutlu, A., 2010. Madencilikte Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplarının Tespiti: Taş Kırma Eleme Tesisi Örneği. Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 128 s, Eskişehir.
- Özmen, A., 2014. Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik Hükümlerinin Örneklerle ve Saha Uygulamalarıyla Açıklanması. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, ÇSGB İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 151 s, Ankara.
- Parnell, J., 2015. Acoustic Signature of Open Cut Coal Mines. *Proceedings of Australian Acoustical Society Conference*, 15-18 November, 1-8, Hunter Valley, Australia.
- Pleban, D., Piechowicz, J., Kosała, K., 2013. The Inversion Method in Measuring Noise Emitted by Machines in Opencast Mines of Rock Material. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19 (2), 321-331.
- Sabuncu, H. H., 2000. İşyeri Hekimliği Ders Notları. Türk Tabipler Birliği, 207-226, Ankara.
- Sezek, H., 2009. İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Gürültü Ölçümleri, Kişisel Maruziyet Hesaplama, Kullanılacak Kulak Koruyucu Seçimi. *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 9 (44), 10-13.
- Sharma, O., Mohanan, V., Singh, M., 1998. Noise Emission Levels in Coal Industry. *Applied Acoustics*, 54 (1), 1-7.
- Svantek, 2017. SvanPC++ Software User Manual V.2.1, SVANTEK SP. Z O.O., 261 p, Warsaw, Poland.
- Şahin, K., 1998. Aydın Linyit İşletmesinde Gürültü Seviyesinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, 114 s, Eskişehir.
- Şensöğüt, C., Eralp, H., 1998. Ömerler Yeraltı Ocağındaki Gürültü Ölçümleri ve Öneriler. Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 10-12 Haziran, Bartın-Amasra, 43-52.
- Şensöğüt, C., Çınar, İ., 2007. An Empirical Model for the Noise Propagation in Open Cast Mines - A Case Study. *Applied Acoustics*, 68 (9), 1026-1035.
- Şensöğüt, C., 2007. Occupational Noise in Mines and Its Control – A Case Study. *Polish J. of Environ. Stud.*, 16 (6), 939-942.
- Yüksel, H., 2017. Türkiye'de Bazı Maden Makinalarında Gürültü Ölçümü ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 153 s, Sivas.
- WEB1, 2017. <http://www.cdc.gov/niosh/topics/ohl/>, alındığı tarih: 02.06.2017
- WEB2, 2017. <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2016/02/08/noise/>, alındığı tarih: 02.06.2017



Orijinal Araştırma / Original Research

İSTATİSTİKSEL ÖĞRENME TEORİSİ İLE METAL İÇERİĞİNİN ÇOKLU SINIR DEĞERLERİNDE SINIFLANDIRMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF STATISTICAL LEARNING THEORY PERFORMANCE ON CLASSIFICATION OF MULTIPLE THRESHOLD VALUES OF METAL CONTENT

Güneş Ertunç^{a,*}

^a Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Ankara, Türkiye

Geliş Tarihi / Received : 17 Mayıs / May 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 02 Ağustos / August 2017

ÖZ

Anahtar Sözcükler:

Sınıflandırma,
Makine öğrenme,
Destek vektör makineleri,
Kadmium

Verilerin kategorik değişkenliğe göre sınıflandırılması gerekliliği madencilikte oldukça sık rastlanan durumdur. Bu çalışma kapsamında ele alınan metal içeriğine göre sınıflandırma veya jeolojik zonların maden kaynak kestirimi için sınıflandırılması, madencilik üretim aşamasında blokların sınıflandırılması örnek olarak sayılabilir. Krigleme gibi jeostatistiksel kestirim yöntemleri, sınıflandırma için çözüm üreten bir araç değildir ve çalışmada karşılaştırmalı olarak neden kullanılmaması gerektiği açıkça ortaya konmuştur. Çalışmada, ikili sınıftan fazla, çoklu sınıfların etkin bir şekilde sınıflandırmaya yarayan, istatistiksel öğrenme teorisine dayalı, verilerin konumuna bağlı olarak sınıflandırma yapan ve parametre seçimi otomatik halde algoritmaya entegre edilen bir destek vektör makinesi programı kodlanmıştır. Bu program sayesinde bağımsız değişkenlere bağlı kategorik değişkenler problemin tanımına göre sınıflandırılabilmektedir. Algoritma girdisi olarak sahada toplanan verilerin devamlı bağımsız değişkenlerine göre var olan kategorik değişkenlerin, sahada bilinmeyen lokasyonlardaki kategorileri, sadece uzaklığa bağlı konumları kullanılarak ortaya konabilmektedir.

ABSTRACT

Keywords:

Classification,
Machine learning,
Support vector machines,
Cadmium

The necessity of classifying the data according to the categorical variable is quite common in earth sciences. Especially in mining, classification regarding to the metal content, which is covered in the study, classification of geological zones for mineral resource estimation or classification of blocks in the mining production phase can be given as an example of classification problems. Geostatistical estimations methods such as kriging cannot be regarded as solution for classification, and in this study it is clearly shown by comparative case study example. In the study, support vector machines algorithm is coded that classifies depending upon position of the data, based on the statistical learning theory, which can classify multiple and binary classes. The parameter selection is automatically integrated into the algorithm. By using the categorical variables depending on the continuous independent variables from collected data, algorithm reveals the categories in the unknown locations by using only the distance based information. Through introduced algorithm in the study, categorical variables related to independent variables can be classified with respected to the definition of the problem.

* Sorumlu yazar: gertunc@hacettepe.edu.tr • orcid.org/0000-0003-0914-2745

GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri, potansiyel maden varlığının ortaya konmasından sonra sahada yapılan sondaj ve sahadan toplanan çeşitli veriler ile başlayan bir süreçtir. Verilerin analizleri ve yorumlanmasıyla devam eden süreçte en önemli aşama bu verilerin elde edilmesi ve doğru yorumlanmasıdır. Özellikle ormanlık alanlar veya topoğrafyanın elvermediği koşullarda örnek toplanmasının zaman alıcı olması veya zor olması durumu söz konusudur. Dolayısıyla kısıtlı veri ile özniteliğin geniş alanlardaki dağılımının ortaya konması gerekir. Sahadan elde edilen verilerin yorumlanması, konuma bağlı değişkenliğin ortaya konması ve lokasyonların kestirimi tamamen veri girdisine bağlıdır. Gerçek değere yakın sonuçların elde edilebilmesi, sürdürülebilir yönetim ve mühendislik fizibilitesi anlamına geldiğinden, sonuçların doğruluğu önemli bir konudur. Örnek konum seçimi, yerel doğruluğun artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, yer bilimlerinde bağımsız sürekli değişkenlere bağlı olan kategorik değişkenlerin dağılımının ortaya konması daha iyi bir planlama yapılmasına olanak sağlayacaktır.

Literatürde uzaklığa bağlı değişkenliğin ortaya konmasında krigleme, yapay sinir ağları, zaman serileri analizi, istatistiksel öğrenme teorisi gibi yaklaşımlar önerilmiştir (Tercan vd, 2013; Atalay ve Tercan, 2017).

Kriging, variogram analizi ve uzaklığa bağlı korelasyon yapılarının modellenmesine dayanan en popüler ve gelişmiş yaklaşım olarak kabul edilebilir (Cressie, 1991; Deutsch, 1998; Goovaerts, 1997). Kriging durağanlık varsayımı altında mümkün olan en iyi gerçeğe yakın sonuçlar üretmektedir. Gösterge krigleme, önceden tanımlanmış eşik değerin aşılma ihtimalinin bulunmasında ve kümülatif dağılım fonksiyonunun (cdf) yaklaşık olarak bulunmasında kullanılan parametrik olmayan jeostatistiksel iç kestirim yöntemidir. Bu yöntem ile olasılık dağılımına göre saha genelinde belirlenen eşik değer için en büyük belirsizlik bölgeleri ortaya konmaktadır. Bu belirsiz bölgelerden toplanacak veriler ile belirsizlik seviyesi düşürülmelidir.

Bu çalışmada, öğrenme teorisi (veya makine öğrenmesi) ile bilinmeyen lokasyonlardaki özniteliklerin dağılımını tahmin etmek için verilere dayalı bir makine öğrenme sınıflandırmasının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, Destek Vektör Makineleri ile tahmini yapılmış bilinmeyen lokasyonların ortalamasız krigleme (OK, ordinary kriging) sonuçlarıyla karşılaştırmaktır.

Vapnik-Chervonenkis teorisi (VC teorisi) ya da öğrenme teorisi, öğrenme sürecini istatistiksel bir bakış açısıyla, yani verilere dayalı bir tahmin fonksiyonu bulmayı amaçlamaktadır. Öğrenme algoritmaları, kalıp tanıma, el yazısı ve ses tanıma sistemleri, teşhis, robotik, optimizasyon, finansal tahmin, kredi uygunluk uygulamaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Kecman, 2001). İstatistiksel öğrenmenin temel görevleri sınıflandırma, regresyon ve olasılık yoğunluk modeli olarak listelenebilir. Destek Vektör Makineleri öğrenme yöntemlerinden biridir ve kategorik veriler kullanılarak bilinmeyen lokasyonlardaki sınıfları tahmin etmeyi sağlar. Bu yöntemle göre verilerin uzaydaki konumuna bağlı olarak veri yapısında gizli bir örüntü bulunduğunu varsayılmaktadır. Jeostatistiksel yöntemler uzaklığa bağlı değişkenliği variogram fonksiyonu ile ortaya koyarken destek vektör makineleri yönteminde bu ilişki çok katmanlı algılayıcılar ile ortaya konur. Çok katmanlı algılayıcılar, girdiler ve bu girdilere göre üretilen çıktılarının üretildiği bir ağ yapısıdır. Adından da anlaşılacağı gibi birçok katmandan oluşan algılayıcılarda ara katmanlar yer alır ve girdi verilerinden gelen bilgilerin işlendiği kısım olarak tanımlanabilir. Destek vektör makineleri ile ilgili çok kapsamlı ve tanımlayıcı açıklamalar Vapnik, 1995; Burges, 1998 ve Vapnik, 1998'te yer almaktadır. Yerbilimlerinde de uzaklığa bağlı dağılımın ortaya konduğu, gözeneklilik tahmini, atık konsantrasyon tahmini haritalama, uzaktan algılama gibi birçok çalışma yapılmıştır (Kanevski vd, 2002; Kanevski, 1999; Kanevski, 2000a; Kanevski, 2000b; Tartakovsky ve Wohlberg, 2004; Pozdnoukhov ve Kanevski, 2006; Bahria vd., 2011).

Çalışmanın birinci bölümünde ortalamasız krigleme ile destek vektör makinesi yöntemini, ikinci bölümde durum çalışması ve üçüncü bölümde sonuçlar yer almaktadır.

1. YÖNTEM

Kriging, çevreleyen veri noktalarının z değerlerine karşı regresyona dayalı ve konumsal verilere göre ağırlıklandırıldığı bir iç kestirim yöntemidir (Krige, 1951; Matheron, 1967; Isaaks ve Srivastava, 1989;). Uzaklığa bağlı değişkenliği karakterize etmek için bir variogram fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu fonksiyonun hesaplanması deneysel variograma, $\gamma(h)$, bağlıdır. Birbirlerinden h uzaklığındaki örnek çiftleri dikkate alınarak hesaplanan variogram Eşitlik 1.1'de formüle edilmiştir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \left(\sum_{i=1}^{N(h)} [z(u_i + h) - z(u_i)]^2 \right) \quad (1.1)$$

Burada,

$N(h)$ Örnek çifti sayısını, $z(u_i)$ i noktasındaki rastlantı değişkenini ve h örnek çiftleri arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

Deneysel variogram hesaplandıktan sonra, model variogram uyarlanarak kestirim matrisi oluşturulur (Chilès ve Delfiner, 1999). Ortalamasız krigleme, rastlantı değişkenlerinin uzaklığa bağlı değişkenliğini ortaya koyan en yaygın kullanılan jeostatistiksel kestirim yöntemidir. Yöntem, örnek lokasyonlarındaki değerlere göre doğrusal ağırlıklandırmayı temel alır ve kestirici λ_i aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$Z^*(u_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(u_i) Z(u_i) \quad (1.2)$$

Burada,

$Z^*(u_0)$ bilinmeyen u_0 noktasında kestirim değerini, $\lambda_i(u_i)$, $Z(u_i)$ örnek değerinde atanmış krigleme ağırlığını ifade etmektedir.

Her kestirim yönteminde olduğu gibi, amaç kestirim işleminde hatayı en küçüklemektir. Krigleme yönteminde λ_i ağırlıkları, $Z^*(u_0)$ krigleme hata varyansının küçüklenmesi yapılırken türemiştir. Varyans değerinin $\sigma_E^2(u) = \text{Var}\{Z^*(u_0) - Z(u_0)\}$ küçüklenmesi yansızlık kısıtını gerektirir. Bu yansızlık kısıtı $E = \{Z^*(u_0) - Z(u_0)\} = 0$ olarak ifade edilmektedir. Bu yansızlık kısıtı bir optimizasyon problemidir ve optimum durum dolayısıyla krigleme yöntemi en iyi doğrusal yansız kestirici olarak tanımlanır. Optimizasyon probleminin çözümü matris formunda şu şekilde ifade edilir (Armstrong, 1998):

$$\begin{bmatrix} \lambda \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(u_1, u_1) & \dots & \gamma(u_1, u_n) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(u_n, u_1) & \dots & \gamma(u_n, u_n) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \gamma(u_1, u^*) \\ \vdots \\ \gamma(u_n, u^*) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Burada,

λ krigleme ağırlıklarını, μ Langrange çarpanı, $\gamma(u_i, u_j)$ u_i, u_j verileri arasındaki variogram fonksiyonunu, $\gamma(u_1, u^*)$ veri ve kestirimi yapılacak lokasyon arasındaki variogram fonksiyonunu ifade etmektedir.

Makine öğrenimi (ML) yöntemlerinden destek vektör makineleri, genelleştirilmiş doğrusal sınıflandırıcı temelinde çalıştıkları için uzaklığa bağlı tahminler yaparak jeostatistiksel yöntemler için

bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Bu yöntemde kategorik ve bağımsız değişkenlerin kestirim hassasiyetini ayarlamak adına öğrenme makinasının parametrelerinin dikkatle seçilmesi gerekmektedir. Destek vektör makineleri kuadratik optimizasyon problemine dayanır ve verinin dağılım fonksiyonuna ihtiyaç duymaz. İkili sınıflandırma yapan destek vektör makinelerinde hedef veriyi iki kategoriye ayıran sınırı belirlemektir. Doğrusal ve doğrusal olmayan ayırım durumları, isimlendirmeden de anlaşılacağı gibi ayırım çizgisinin doğrusal olup olmaması ile özetlenebilir. İki fazla kategorik değişkenin ayırımında destek vektör makineleri bire-karşı-hepsi (Rifkin ve Klautau, 2004) ve bire-karşı-bir yöntemleri ile çözüm üretmektedir (Bishop, 2006).

Doğrusal destek vektör makineleri çözümü Eşitlik 1.4'te formüleleştirilmiştir.

$$f(x) = w^T x + b \quad (1.4)$$

Burada,

w ayırım doğrusuna normal, x veri noktası ve b sınır öteleme değerini ifade etmektedir.

Ayırım çizgisini tanımlayan sınır, objektif fonksiyonunun Lagrange çarpanlarına α_i dayalı kuadratik program ile belirlenmektedir. En küçükleme eşitliği $\alpha_i \geq 0, \forall i$ ve $\sum_{i=1}^N y_i \alpha_i = 0$ kısıtları altında aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\min_{w,b} m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y_i y_j (x_i \cdot x_j) \alpha_i \alpha_j - \sum_{i=1}^N \alpha_i \quad (1.5)$$

Kuadratik forma göre, doğrusal olmayan durumlar için Eşitlik 1.6 kullanılmaktadır.

$$\min_{\alpha} m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y_i y_j K(x_j, x_i) \alpha_i \alpha_j - \sum_{i=1}^N \alpha_i \quad (1.6)$$

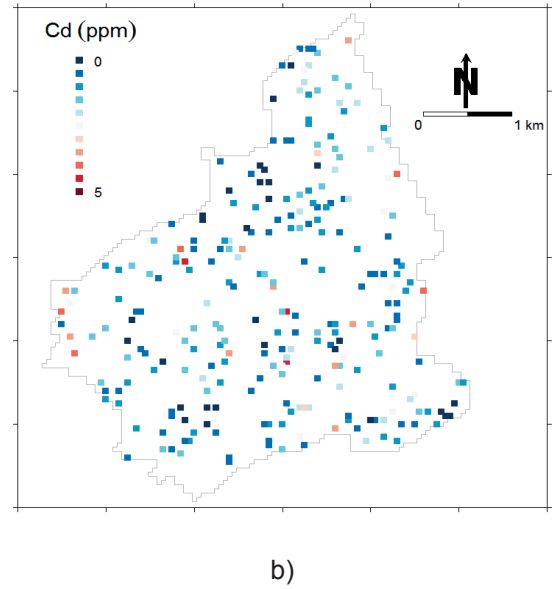
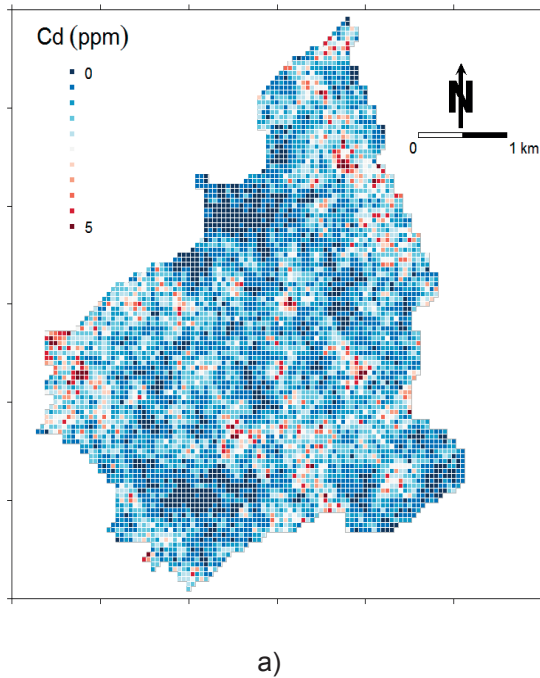
Burada $K(x_j, x)$ çekirdek girdi vektörü x ile öğrenme vektörü x_j arasındaki çekirdek fonksiyonu ifade etmektedir.

Destek vektör makineleri çözümlerinde birçok çekirdek fonksiyonu kullanmak mümkündür. Bu çekirdek fonksiyonlarına Gauss, polinom, ve sinir ağları örnek gösterilebilir. Çalışmada seçilen çekirdek fonksiyonu radyal temelli Gauss'tur ve $K(x_i, x_j) \equiv e^{-\gamma \|x_i - x_j\|^2}$ ile ifade edilir.

Kuadratik problem çözümü, $\alpha_i = 0, 0 \leq \alpha_i \leq C$, ve $\alpha_i = C$ kısıtları sağlandığında çözümlenmektedir. Büyük ölçekli kuadratik program çözümleri için ardışık en küçükleme optimizasyon methodu kullanılmaktadır (Platt, 1999).

2. DURUM ÇALIŞMASI

Durum çalışmasında, yerbilimleri çalışmalarında sıklıkla kullanılan İsviçre'deki Jura veri seti (Goovaerts vd., 1997; Atteia vd., 1994; Webster vd., 1994) kullanılmıştır. Jura veri seti R yazılımının 'gstat' paketi ile erişime açıktır (Pebesma, 2004). İki boyutlu veri seti paketinde 7 ağır metal içeriği içeren lokasyonlar ve ızgara yapısında kestirimi yapılacak lokasyonlar yer almaktadır. Çalışmada sadece Kadmiyum, Cd (ppm) dikkate alınmıştır. Çevresel etkileri, belirli sınır değerini üzerine çıktığı durumlarda son derece kanserojen olarak değerlendirilen Cd içeriği için kritik sınır değeri 0,8 ppm olarak belirlenmiştir (FOEFL (Swiss Federal Office of Environment, 1987). Kadmiyum seviyeleri, "güvenli", "potansiyel olarak tehlikeli" ve "tehlikeli" bölgeler olarak Cd (ppm) $\leq 0,65$, $0,65 < \text{Cd (ppm)} \leq 0,8$ ve $\text{Cd (ppm)} > 0,8$ olarak belirlenmiştir. Kestirim yapılacak lokasyonlarda ortalamasız krigleme ve destek vektör makineleri çözümlerinden önce ardışık Gauss benzetimi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu benzetimlerden rastgele seçilen bir gerçekleştirme, sahanın bilinen değerleri olarak kabul edilmiştir. Kestirim ve makine öğrenme yöntemlerinde kullanılacak girdi verileri bilinen değerler arasından rastgele seçilmiştir. Sahadaki gerçek değerler olarak kabul edilen lokasyonlar ve bu lokasyonlardan rastgele seçilen girdi verileri Şekil 1'de verilmektedir.



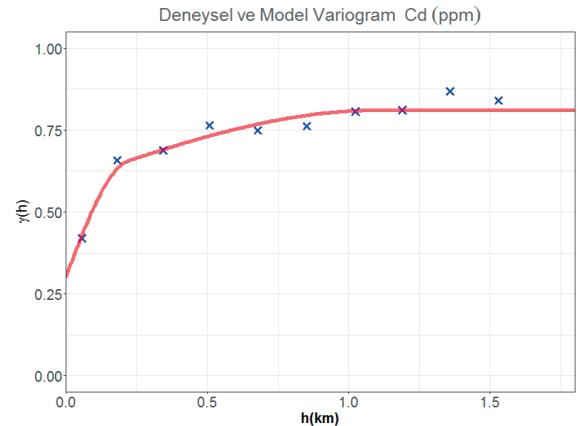
Şekil 1. a) Sahadaki Cd dağılımı ve b) Rastgele seçilmiş Cd örnek lokasyonları

2.1. Ortalamasız Krigleme

Kestirim işleminden önce, verilerin deneysel variogramı hesaplanmıştır. Yönere göre değişkenlik göstermeyen deneysel variogramlara, yuvalı yapıda küresel model variogram uyarlanmıştır (Şekil 2). Yuvalı yapıdaki küresel variogram parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

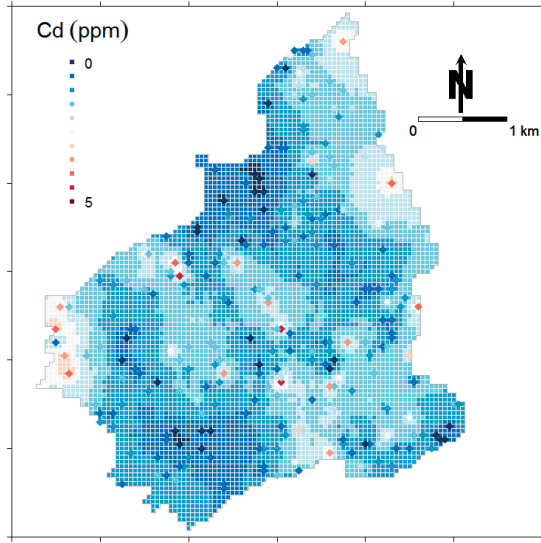
Çizelge 1. Cd (ppm) model variogram parametreleri

| Külçe etkisi, | Yapısal uzaklık (km) | |
|---------------|----------------------|-------|
| | C_1 | C_2 |
| C_0 | a_1 | a_2 |
| 0,3 | 0,29 | 0,12 |
| | 0,22 | 1,1 |



Şekil 2. Cd (ppm) özneliğinin deneysel ve model variogramı

Ortalamasız krigleme ile kestirimi yapılan toplam 5700 noktada Cd (ppm) dağılımı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Cd (ppm) özniteliğinin ortalamasız krigleme kestirim sonuçları

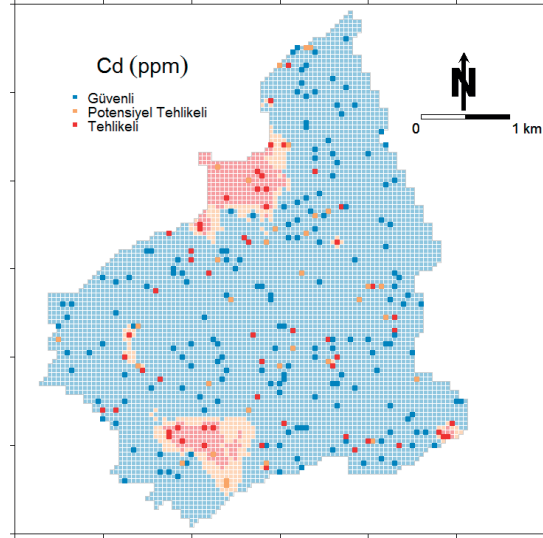
Sonuçlara ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler, girdi veriler ile karşılaştırılmalı biçimde Çizelge 2'de sunulmuştur. Kestirimde kullanılan veri ile karşılaştırıldığında, kestirim sonuçlarının varyansının daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, krigleme yönteminde yüksek değerlerin düşük; düşük değerlerin de yüksek olarak kestirilmesi. Dolayısıyla, ortalamasız krigleme kestirimlerinde, verilerin en küçük değerinden daha büyük en düşük değer; en büyük değerinden de daha düşük en yüksek değer edilmiştir.

Çizelge 2. Girdi verileri ile ortalamasız krigleme kestirim istatistikleri

| Cd (ppm) | Girdi verileri | Ortalamasız krigleme sonuçları |
|-----------------|----------------|--------------------------------|
| Veri Sayısı | 257 | 5700 |
| En düşük değer | 0,14 | 0,39 |
| En yüksek değer | 4,46 | 3,03 |
| Ortalama | 1,34 | 1,35 |
| Varyans | 0,8 | 0,19 |

Bir sonraki aşamada, krigleme sonuçları Cd (ppm) sınır değerlerine göre gösterge değişkenlerine dönüştürülmüştür. Sonuçların Cd < 0,65 ppm, 0,65 ppm < Cd ≤ 0,8 ppm ve Cd > 0,8 ppm

olduğu durumlar sırasıyla “güvenli”, “potansiyel tehlikeli” ve “tehlikeli” bölgeler olarak etiketlenerek tematik hale getirilmiştir. Bu harita Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Cd (ppm) özniteliğinin ortalamasız krigleme kestirim sonuçlarının kategorik dönüşümleri

2.2. Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makineleri çözümlerinde, radyal temelli Gauss çekirdek fonksiyonu $K(x_i, x_j) \equiv e^{-\gamma \|x_i - x_j\|^2}$ kullanılmıştır. Veri seti öğrenme ve deneme alt gruplarına ayrılarak 10-katı çapraz doğrulama ile çözüm gerçekleştirilmiştir. Çekirdek fonksiyonu içinde, doğru ayırım hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan (C, γ) parametrelerinin seçiminde aşağıda listelenen kümeler kullanılmıştır.

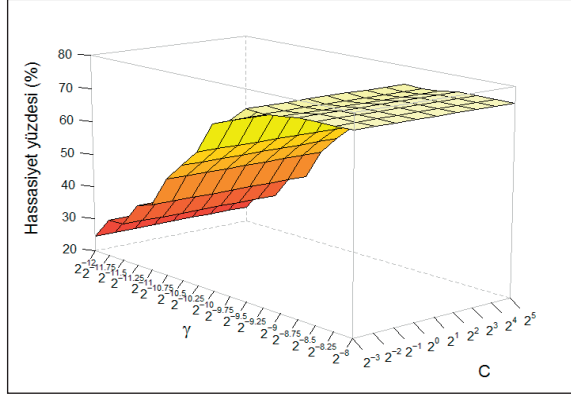
$$C = \{2^{-12}, 2^{-11.75}, 2^{-11.5}, 2^{-11.25}, 2^{-11}, 2^{-10.75}, 2^{-10.50}, 2^{-10.25}, 2^{-10}, 2^{-9.75}, 2^{-9.5}, 2^{-9.25}, 2^{-9}, 2^{-8.75}, 2^{-8.5}, 2^{-8.25}, 2^{-8}\}$$

$$\gamma = \{2^{-3}, 2^{-2}, 2^{-1}, 2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5\}$$

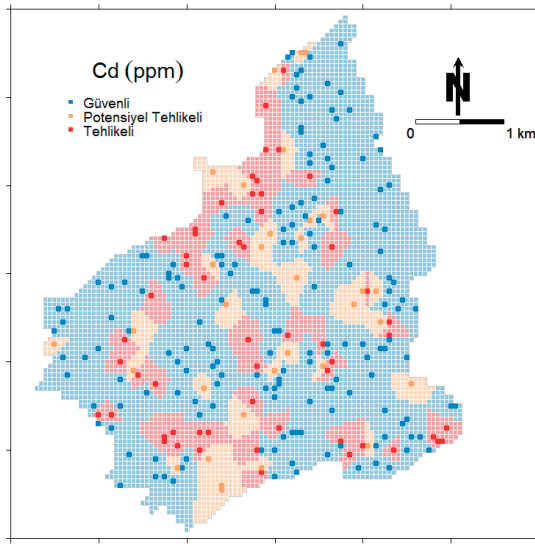
Olası her parametre çifti için yapılan çözümlerde (Bu durum çalışması için $17 \times 9 = 153$) elde edilen en yüksek hassasiyet yüzdesi 75.41% olarak $[C, \gamma] = [2^{-10.50}, 2^4]$ parametre çiftinde elde edilmiştir. Şekil 5'te her parametre çifti için yapılmış çözümlerden elde edilen hassasiyet yüzdeleri görselleştirilmiştir.

Destek vektör makineleri, bilinmeyen lokasyonlara doğrudan kategorik değişken atadığı için çö-

züm sonunda herhangi bir çözüm sonrası işleme gerek yoktur. Şekil 6'da destek vektör makinelerinin ürettiği sonuç verilmektedir. Sonuçların girdi parametrelerinin kategorik değişkenleri ile tutarlı sonuçlar ürettiği görülmektedir.



Şekil 5. Destek vektör makineleri parametreleri ve hassasiyet yüzdeleri.



Şekil 6. Destek vektör makineleri sınıflandırma sonuçları

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, destek vektör makineleri (DVM) kullanılarak bir sahada Kadmiyum (Cd) özniteliğinin önceden belirlenmiş sınır değerlerine göre sınıflandırılması yapılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının bölgesel olarak gerçek değere yakınlığı bakımından performansı, ortalamasız krigleme yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Çoklu sınıflandırma yöntemi olarak kodlanan Gauss radyal temelli DVM'de fonksiyon parametre seçimi algoritmada

otomatik olarak yapılmıştır ve kuadratik programlama problemi "ardışık en küçükleme en iyileme" ile çözümü önerilmiştir. DVM, çoklu sınır değerlere göre dağılım söz konusu olduğunda, ortalamasız kriglemenin aksine, tek çözüm aşamasında sonuç üretmektedir.

Ortalamasız krigleme kestirim değerleri, önceden tanımlı sınır değerler süzgeçlerine göre kategorik değişkenlere dönüştürüldüğünde oldukça yumuşatılmış değerler söz konusu olduğu için gerçek değere yakınlık bakımından, beklendiği gibi, iyi performans göstermemiştir (Şekil 4). Destek vektör makineleri ile kestirimlerden çıkarılan sonuçlar (Şekil 6), sahada bilinen değerlerin kategorileri ile karşılaştırılmıştır. Doğru sınıflandırılan lokasyon sayısına göre oluşturulan karşılaştırma tablosu Çizelge 3'te sunulmuştur.

Ardışık Gauss benzetim yöntemi ile gerçekleştirilen ve bilinen lokasyonlar değerlendiren sahada Cd (ppm) içeriklerine göre 3838 nokta "güvenli", 1319 nokta "potansiyel olarak tehlikeli" ve 543 lokasyon ise "tehlikeli" olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3. Bilinen lokasyonlar ile sonuçların karşılaştırılması

| | Ortalamasız krigleme | Destek vektör makineleri (%) |
|----------------------|----------------------|------------------------------|
| Güvenli | 96,74 | 75,09 |
| Potansiyel tehlikeli | 6,63 | 17,86 |
| Tehlike | 16,14 | 38,29 |

Çizelge 3 incelendiğinde, krigleme yöntemi bilinen lokasyonlardaki kategorik değişkenleri daha iyi tahmin etmiş gibi görünmektedir. Ancak, görsel incelendiğinde bunun nedeni sahanın büyük bölümünün "güvenli" olarak nitelendirilmesidir. Özellikle "potansiyel olarak tehlikeli" kategorisinde destek vektör makinelerinin çok daha iyi sınıflandırma yapabildiği açıkça görülmektedir ve bu durum tematik haritada da gözlemlenmiştir.

Çalışmanın ileriki aşamalarında, yönlere bağlı değişkenliğin (anisotropi) Destek Vektör Makineleri ile araştırılması ve bu değişkenliğin ortaya konabilmesi için farklı çekirdek fonksiyonlarının denenmesi önerilmektedir. Böylece, farklı çekirdek fonksiyonların sınıflandırma hassasiyeti üzerindeki etkisinin de ortaya konması mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

Armstrong, M., 1998. *Basic Linear Geostatistics* (Springer Berlin Heidelberg).

Atalay F., Tercan A.E., 2017. Coal resource estimation using Gaussian copula. *International Journal of Coal Geology*, 175, 1-9.

Atteia, O., Dubois J. P., Webster R., 1994. Geostatistical Analysis of Soil Contamination in the Swiss Jura. *Environmental Pollution*, 86: 315-27.

Bahria, S., Essoussi N., Limam M., 2011. Hyperspectral data classification using geostatistics and support vector machines. *Remote Sensing Letters*, 2: 99-106.

Bishop, C.M., 2006. *Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics)* (Springer-Verlag New York, Inc.).

Burges, C.J.C., 1998. A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2: 121-67.

Chilès, J.P., Delfiner P., 1999. *Geostatistics: modeling spatial uncertainty* (Wiley).

Cressie, N.A.C., 1991. *Statistics for Spatial Data* (J. Wiley).

Deutsch, C.V., Journel A.G., 1998. *GSLIB - Geostatistical Software Library and User's Guide* (Oxford University Press).

FOEFL (Swiss Federal Office of Environment, Forest and Landscape) 1987. *Commentary on the Ordinance Relating to Pollutants in Soil (VSBo; of June 9, 1986)* (FOEFL).

Goovaerts, P., Webster R., Dubois J.P., 1997. Assessing the risk of soil contamination in the Swiss Jura using indicator geostatistics. *Environmental and Ecological Statistics*, 4: 49-64.

Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation* (Oxford University Press: New York).

Isaaks, E. H., Srivastava R.M., 1989. *Applied Geostatistics* (Oxford University Press).

Kanevski, M., 1999. Spatial Predictions of Soil Contamination Using General Regression Neural Networks. *Int. Journal of Systems Research and Information Systems*, 8: 15.

Kanevski, M., Canu, S., 2000b. Spatial Data Mapping with Support Vector Regression and Geostatistics. In: *IDIAP Research Report*.

Kanevski, M., Pozdnukhov A., Canu S., Maignan M., Wong P. M., Shibli S. A. R., 2002. Support Vector Machines for Classification and Mapping of Reservoir

Data. in Patrick Wong, Fred Aminzadeh and Masoud Nikravesh (eds.), *Soft Computing for Reservoir Characterization and Modeling* (Physica-Verlag HD: Heidelberg).

Kanevski, M., Pozdnukhov, A., Canu, S., Maignan, M., 2000a. *Advanced Spatial Data Analysis and Modelling with Support Vector Machines*. In: *IDIAP Research Report*.

Kecman, V., 2001. *Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks. and Fuzzy Logic Models* (MIT Press).

Krige, D. G., 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand: *J. Chem. Metal. Min. Soc. South Africa*, v. 52, p. 119–139.

Matheron, G., 1967. Kriging or polynomial interpolation procedures: *Trans. Canad. Inst. Min. Metal.*, v. 70, p. 240–244.

Pebesma, E. J., 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30: 683-91.

Platt, J.C., 1999. Fast training of support vector machines using sequential minimal optimization. in Sch Bernhard, Ikopf, J. C. Burges Christopher and J. Smola Alexander (eds.), *Advances in kernel methods* (MIT Press).

Pozdnoukhov, A., Kanevski, K., 2006. Monitoring network optimisation for spatial data classification using support vector machines. *International Journal of Environment and Pollution*, 28: 465-84.

Rifkin, R., Klautau A., 2004. In Defense of One-Vs-All Classification. *J. Mach. Learn. Res.*, 5: 101-41.

Tercan, A.E., Ünver B., Hindistan M.A., Ertunç G., Atalay F., Ünal S., Killoğlu Y., 2013. Seam modeling and resource estimation in the coalfields of western Anatolia. *International Journal of Coal Geology*, 112, 1, 94–106

Vapnik, V., 1998. *Statistical learning theory* (Wiley).

Vapnik, Vladimir N., 1995. *The nature of statistical learning theory* (Springer-Verlag New York, Inc.).

Webster, R., Atteia O., Dubois, J. P., 1994. Coregionalization of Trace-Metals in the Soil in the Swiss Jura. *European Journal of Soil Science*, 45: 205-18.



Orijinal Araştırma / Original Research

GRANİTİK KAYAÇLARDA MİNERAL ŞEKİL ÖZELLİKLERİ İLE SPESİFİK DEFORMASYON ENERJİSİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MINERAL SHAPE PROPERTIES AND DESTRUCTION SPECIFIC ENERGY IN GRANITIC ROCKS

Ramazan Çomaklı^{a,*}, Ümit Atıcı^{a,**}

^a Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

Geliş Tarihi / Received : 09 Eylül / September 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 18 Kasım / November 2017

Anahtar Sözcükler:

Doku katsayısı,
Spesifik deformasyon enerjisi,
Granitik kayaçlar.

Keywords:

Texture coefficient,
Destruction specific energy,
Granitic rocks.

ÖZ

Kayaçların mekanik özelliklerinden birisi Spesifik Deformasyon Enerjisi olup tek eksenli basınç dayanımı testinde elde edilen gerilme deformasyon eğrisi altında kalan alandan hesaplanmaktadır. Kayaç içerisindeki minerallerin de kayaçların mekanik özelliklerine etkisi vardır. Bu çalışmada mineral şekil özellikleri ile spesifik deformasyon enerjisi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Dokuz farklı kayaç numunesi üzerinde basınç dayanımı testleri yapılmış ve her bir kayaç için gerilme deformasyon eğrileri altında kalan alan hesaplanarak spesifik deformasyon enerjisi değeri bulunmuştur. Kayaçlar içerisindeki mineral özellikleri belirlenirken doku katsayısı yaklaşımı kullanılmış ve her bir kayaç için doku katsayısı değeri belirlenmiştir. Doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılarak elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiş ve spesifik deformasyon enerjisi (SEDef) ile doku katsayısı (TC) arasında güçlü bir ilişki bulunmuştur.

ABSTRACT

One of the mechanical property of rocks is destruction specific energy that estimated from the area (integral) under the stress-strain curve in unconfined compression test. The minerals in the rocks are effective on the mechanical properties of the rocks. In this study, the relation between destruction specific energy and mineral shape properties were investigated. The unconfined compressive tests were performed on nine different rock samples and the destruction specific energy values were estimated with calculating the area (integral) under the stress-strain curve for each rock sample. The texture coefficient approach was used for determining of the mineral shape properties and the texture coefficient values were calculated for each rock sample. The results were analyzed with using linear regression analyze method and a strong relation was found between destruction specific energies and the texture coefficients of rocks.

* Sorumlu yazar: rcomakli@ohu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-7392-6275>

** uatici@ohu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-2213-6155>

GİRİŞ

Spesifik deformasyon enerjisi (SE_{Def}) kayaçların kırılabilirlik özelliklerine bağlı olarak; basınç etkisindeki gerilme deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile elde edilen kayacın mekanik özelliklerinden biridir. Strain Energy, Specific Destruction Energy, Destruction Work gibi İngilizce kavramlarla da ifade edilmektedir (Thuro ve Plinninger, 1999). Kayaçalarda SE_{Def} ' in belirlenmesi ile tokluk (dayanım) özelliklerine bağlı olarak kayaçların mekanik özellikleri ile delinebilirlik ve kesilebilirlik özellikleri arasındaki ilişkiyi değerlendirilebilmek mümkündür. (Thuro, 1997). SE_{Def} ilk olarak Thuro ve Spaun (1996) tarafından yapılan bir araştırmada kullanılmıştır. Bu çalışmada araştırmacılar 23 farklı kayaç için SE_{Def} ile kayaçların delinebilirlik değerleri arasındaki ilişkiyi araştırmış ve SE_{Def} ' in artması ile delme işleminin zorlaştığı tespit edilmiştir.

Kayaçların kesilebilirlik ve delinebilirlik özellikleri ile SE_{Def} arasındaki ilişkiyi Atıcı ve Ersoy (2008) yılında yapmış oldukları çalışma ile incelemiş olup, araştırmacılar 16 farklı kayaç numunesi için laboratuvar ortamında kesilebilirlik ve delinebilirlik testleri yapmışlardır. Bu testler sonucunda bulunan Spesifik Kesme, Delme enerjisi ve kırılabilirlik değerleri ile SE_{Def} arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu çalışmada SE_{Def} ile çalışmada kullanılan kayaçlar için Spesifik Kesme, Delme enerjisi ve kırılabilirlik değerleri arasında oldukça anlamlı doğrusal bir ilişkinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Kaya numunelerinden farklı olarak Atıcı ve Ersoy (2007) cüruf ve uçucu kül katkılı kilimli parke taşları için SE_{Def} ' in dayanım, sertlik ve aşınma direnci değerleri ile arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu araştırmada kilimli parke taşları için SE_{Def} ile çekme ve sertlik değerleri arasında doğrusal, aşınma direnci ile ise ters orantılı bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir.

Kayaçların mekanik özellikleri değerlendirilirken kayacın mineralojik özelliklerinin de mekanik özellikler üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır. Bu konuda yapılmış pek çok çalışma mevcut olup, kayaç içerisindeki mineral özelliklerinin mekanik özellikleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Bunlara örnek olarak Bell, 1978; Howarth ve Rowlands, 1986; Shakoor ve Bonelli, 1991; Tuğrul ve Zarif, 1999 tarafından yapılan çalışmalar verilebilir. Kayaçların dokusal özellikleri de kayacın mekanik özellikleri üzerinde etkili olup; bu iki değer arasındaki ilişki de birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Dube and Singh, 1972; Irfan and Dearman, 1978; Hugman and Friedman, 1979; West, 1981, 1986).

Kayaçlar içerisindeki minerallerin tane şekli, yönelmesi ve matris yoğunluğu gibi mineral özelliklerine bağlı olarak Howarth ve Rowlands (1987) tarafından doku katsayısı (texture coefficient) olarak isimlendirilen bir model geliştirilmiştir. Bu model de mineralojik özelliklerine bağlı olarak kayacın dokusal özellikleri değerlendirilerek sayısal değerler elde edilmektedir. Doku katsayısı'nın delinebilirlik çalışmaları sırasında, ilerleme hızı ile iyi bir korelasyon verdiği görülmüştür (Howarth ve Rowlands, 1987). Benzer şekilde Ersoy ve Waller (1995) yaptıkları çalışmada doku katsayısı değerinin kayaçların delinebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Tiryaki vd. (2003) yılında kumtaşı numuneleri üzerinde kaya kesme deneyleri yapmış ve deney sonuçları ile kayaçların doku katsayısı değerleri arasında ilişkiyi araştırmışlardır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda doku katsayısı değeri yüksek olan kayacın spesifik enerji değerinin de arttığı görülmüştür. Öztürk ve Nasuf (2007, 2013) yaptıkları çalışmada mekanik, fiziksel ve kesilebilirlik özellikleri belirlenen kayaçların, bu özellikleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkileri araştırmış ve bulunan ilişkiler doğrultusunda kayaçların doku katsayısı değerlerinin kaya mühendisliği alanında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bunun yanında Çomaklı ve Çayırılı (2017) granit ve mermer numuneleri üzerinde yaptıkları çalışmada kayaçların kırılabilirlik özellikleri ile doku katsayısı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Araştırmacılar kayaçların kırılabilirlik özellikleri ile doku katsayısı değerleri arasında yüksek korelasyonlu bir ilişki bulmuşlardır.

Yapılan bu çalışmada ise önceki çalışmalardan farklı olarak kayaçların yenilmesi esnasında ortaya çıkan enerji ile doku katsayısı arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuç olarak spesifik deformasyon enerjisi ile kayaçların mineral şekil özelliklerini temsil eden doku katsayısı arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.

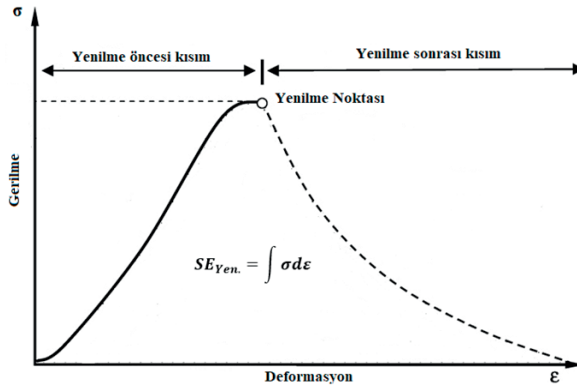
1. SPESİFİK DEFORMASYON ENERJİSİ

Kayaçların kesilebilirlik ve delinebilirlik özelliklerine bağlı olarak tanımlanan kayaçların tokluk (kırılabilirlik) özelliği Thuro (1997) tarafından SE_{Def} olarak tanımlanmıştır. Spesifik deformasyon enerjisi değeri hesaplanırken kayacın basma dayanımı (MPa) ve numunede oluşan maksimum deformasyon değerleri kullanılmaktadır (Eşitlik 1.1). Şekil 1' de verilen tek eksenli basınç daya-

nımı testi ile elde edilen gerilme–deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile elde edilen SE_{Def} , kayaçların kesilebilirlik, delinebilirlik ve mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesini hedeflemektedir.

$$SE_{Def} = \int \sigma d\varepsilon \dots \dots \dots (1.1)$$

Burada; SE_{Def} , spesifik deformasyon enerjisi (MJ/m³); σ , yenilme noktasındaki maksimum gerilme (MPa); ε , maksimum deformasyon.



Şekil 1. Gerilme – deformasyon eğrisi ve yenilme spesifik enerji değerinin hesaplandığı alanın gösterimi

2. DOKU KATSAYISI

Doku katsayısı (TC) kayaçların içerisindeki minerallerin şekilsel özelliklerinin tanımlanması için Howarth ve Rowlands (1986) tarafından geliştirilen bir kavramdır. TC ile kayaçların dokusal özelliklerini Eşitlik 2.1 kullanılarak sayısallaştırmak mümkün olmuştur. TC, kayaç içerisindeki tanelerin her birinin şekilsel özellikleri (uzunluk, çevre, alan vb.) ayrı ayrı incelenmekte ve en son sayısal bir değer elde edilmektedir. Doku katsayısının belirlenmesi için kayaca ait ince kesit numunelerinden mikroskop altında alınan dijital görüntüler kullanılmakta ve bu görüntüler bilgisayar programları yardımıyla analiz edilmektedir. Görüntü analizi sonucunda tanelerin ve matriksin yapısına bağlı olarak kayaç için bir TC değeri hesaplanmaktadır.

$$TC = AW \left[\left(\frac{N_0}{N_0 + N_1} \times \frac{1}{FF_0} \right) + \left(\frac{N_1}{N_0 + N_1} \times AR_1 \times AF_1 \right) \right] \dots \dots \dots (2.1)$$

Burada; TC, doku katsayısı; AW, tane yığılma aralığı; AR, tüm tanelerin uzunluk genişlik oranlarının ortalaması; N₀, AR değeri 2' den küçük olan

tane sayısı; N₁, AR değeri 2' den büyük olan tane sayısı; FF₀, AR değeri 2' den küçük olan tanelerin şekil faktörü değerlerinin aritmetik ortalaması; AR₁, AR değeri 2' den büyük olan tanelerin AR değerinin aritmetik ortalaması; AF₁, açı faktörüdür.

AR değeri bir tanenin uzunluğunun (maksimum feret çapı), genişliğine (minimum feret çapı) oranı olarak hesaplanırken, tane yığılma ağırlığı (AW) ve şekil faktörü değerleri ise Eşitlik 2.2 ve 2.3 kullanılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 2.2' de verilen referans alanı doku katsayısı değerinin hesaplanması için belirlenen toplam alan değeri belirtmektedir.

$$AW = \frac{\sum \text{Tan ealanı}}{\text{Re feransalanı}} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$FF = \frac{4\pi x \text{Tan ealanı}}{\text{Tan çevresi}^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Bir tanenin açısı, en büyük feret çapının yatay eksenle yapmış olduğu açı olarak ifade edilir ve açı faktörü değeri (AF₁) sadece AR değeri 2' den büyük (AR > 2) olan sapmış taneler için hesaplanır. Açı faktörü değerinin hesaplanması için Eşitlik 2.4 kullanılır.

$$AF_1 = \sum_{i=1}^9 \left[\frac{x_i}{N_x(N-1)} \right] x_i \dots \dots \dots (2.4)$$

Burada; x_i, her sınıf için açısal fark sayısı; N, uzun tane sayısı; i, ağırlık sayısı ve sınıf numarasıdır.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Kayaçların Mekanik Özellikleri

3.1.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Deformasyon Deneyi

Tek Eksenli Basınç Dayanım ve deformasyon deneyi kayaçların dayanım, deformasyon ve yapısal karakteristiklerinin belirlenmesinde oldukça geniş kullanım alanı bulan bir deney yöntemidir. Yapılan bu çalışmada tek eksenli basınç dayanımı testleri ISRM (2007) standartlarına göre yapılmış olup testlerde hidrolik pres olarak otomatik kontrollü 3000 KN yükleme kapasiteli pres kullanılmıştır. Deney esnasında yükleme hızı 0,5 kN/sn alınmıştır. Her bir kayaç için en az 7 adet 42 mm çapında ve boy/çap oranı 2 – 2,5 olan düzgün karot numu-

neler kullanılmış ve en yüksek ve en düşük değerler sapma değer olarak kabul edilerek, geriye kalan 5 değerlerin ortalaması alınarak her bir kayaç numunesine ait tek eksenli basınç dayanımı verileri elde edilmiştir. Deney sonuçları toplu olarak Çizelge 1’ de verilmektedir.

3.1.2. Schmidt Yüzey Sertlik Deneyi

Bu deney, kayaçların yüzey sertlik değerlerinin belirlenmesi için Schmidt çekici kullanılarak yapılır. Bu çekici silindirik kaplı bir kutu içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır. Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır ve zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunur böylece Schmidt indeksi olarak tanımlanır. Yapılan çalışmada N tipi schmidt çekici kullanılmış olup, ISRM (2007) yöntemine uygun olarak yapılan bu deneyde bir kayaç numunesi üzerinde yirmi ölçüm alınmış ve en yüksek on değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak bir kayaç numunesi için Schmidt sertlik değeri bulunmuştur. Bu test her bir kayaç tipi için en az üç farklı numune üzerinde tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır.

3.2. Kayaçların Fiziksel Özellikleri

Kayaçların fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yoğunluk ve görünür porozite değerlerine bakılmış olup, kayaç numunelerine ait yoğunluk değerleri belirlenirken düzgün kesilmiş karot numuneleri kullanılmış ve hesaplamalar ISRM (2007) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Karot numunelerinin boy ve çapları belirlenirken en az iki farklı yönde kumpas yardımıyla ölçülmüş ve ölçülen bu değerlerin ortalama değerleri kullanılarak hacimleri hesaplanmıştır. Numunenin kuru ağırlığı, numune ağırlığının 0.01’lik bir hassasiyete kadar tartılabilen bir terazi yardımıyla tespit edilmiş ve yoğunluk değerleri, numune ağırlığının numune hacmine oranından elde edilmiştir. Her kayaç türü için en az üç numune test edilmiş ve sonuçların ortalaması alınmış ve sonuçlar Çizelge 1’ de verilmiştir.

Kayaçların görünür porozite değerleri ise, suya doyurma ve kumpas teknikleri kullanılarak belirlenmiştir (ISRM 2007). Gözenek hacimleri kuru ve suya doymuş ağırlıklardan hesaplanmış ve numune hacimleri kumpas okumalarından elde edilmiştir. Gözeneklilik değerleri, gözenek hacimlerinin örnek hacmine oranından elde edilmiştir. Test, her bir kayaç türü için en az üç kez tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır.

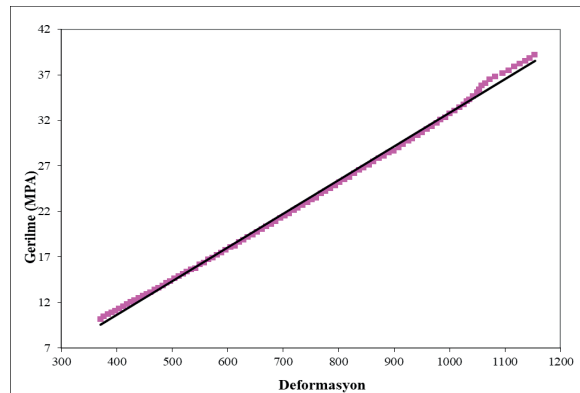
Çizelge 1. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri

| Kayaç Adı | ρ (gr/ cm ³) | η (%) | σ_c (MPa) | SHH |
|-----------------|-------------------------------|------------|------------------|------|
| Roza Porrinno | 2,59 | 1,03 | 68,36 | 66,5 |
| Kaman Roza | 2,67 | 1,10 | 78,56 | 47 |
| Anadolu Gri | 2,64 | 0,85 | 121,57 | 62,5 |
| Aksaray Yaylak | 2,64 | 0,91 | 98,83 | 60,8 |
| Bergama Kozak | 2,66 | 1,30 | 99,08 | 63,9 |
| Bandırma Blue | 2,65 | 0,92 | 117,20 | 55,8 |
| Verde Butterfly | 2,99 | 0,19 | 183,96 | 70 |
| Bergama Gri | 2,59 | 1,94 | 126,06 | 51,4 |
| Emerald Pearl | 2,79 | 0,87 | 95,47 | 61,3 |

ρ : Yoğunluk, η : Porozite, σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, SHH: Schmidt sertlik değeri.

3.3. Spesifik Deformasyon Enerjisinin Hesaplanması

Tek eksenli basınç dayanımı testi yapılırken 9 farklı kayaç numunesinin her biri için Şekil 2’ de örnek olarak verilen gerilme–deformasyon eğrileri çizilmiştir. Elde edilen bu eğriler altında kalan alan Bölüm 2’ de verilen Eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanarak kayaç numuneleri için SE_{Def} değerleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan her bir kayaç numunesi için en az 5 numune üzerinde bu hesaplamalar yapılmış olup ortalama değerleri alınarak kayaçların SE_{Def} değerleri elde edilmiştir hesaplama sonucunda elde edilen değerler Çizelge 2’ de verilmiştir.

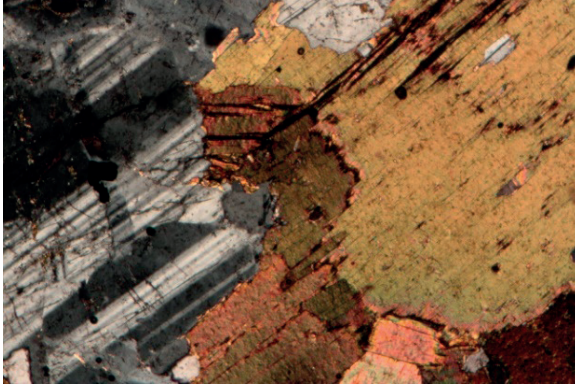


Şekil 2. Verde butterfly numunesi için elde edilen gerilme – deformasyon eğrisi

3.4. Doku Katsayısının Hesaplanması

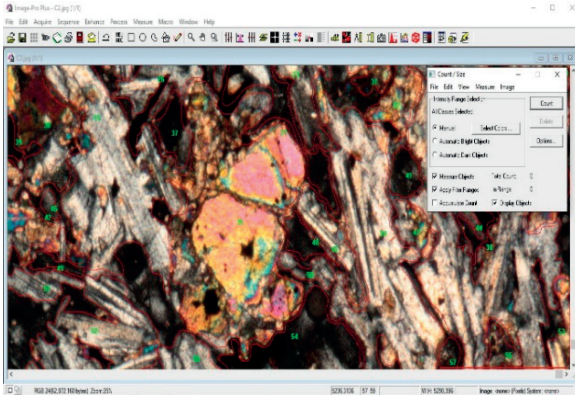
Doku katsayısı hesaplanırken öncelikle kayaçların doku ince kesit numuneleri alınmıştır (Şekil 3) ve

alınan bu görüntüler Image Pro-Plus görüntü analizi programına aktarılmıştır. Tanelerin boyutlarının ve şekilsel özelliklerinin (alan, çevre, pürüzlülük gibi) doğru şekilde tanımlanabilmesi için ince kesit görüntüleri üzerine 0.5 mm uzunluğunda bir referans ölçü yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Kaman Roza numunesine ait ince kesit görüntüsü

Görüntü analizi yapılırken kayaç içerisindeki her bir mineral bilgisayar ortamında görüntü analiz programları kullanılarak ayrı ayrı incelenmiş ve doku katsayısı hesaplamasına dâhil edilmiştir. İnce kesit görüntüsü üzerinde Image Pro-Plus programı yardımıyla mineral tane özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan bilgisayar ekran görüntüsü örnek olarak Şekil 4' te verilmektedir. Her bir kayaç numunesi için üç farklı görüntü üzerinde mineral şekil özellikleri belirlenmiştir. Mineral özellikleri belirlendikten sonra Bölüm 2' de verilen eşitlikler kullanılarak her bir kayaç numunesi için 3 farklı TC değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan farklı TC değerlerinin ortalaması alınmış ve her bir kayaç için bir TC değeri elde edilmiştir. Elde edilen ortalama doku katsayısı değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.



Şekil 4. Image Pro-Plus görüntü analizi programı ekran görüntüsü.

Çizelge 2. Kayaçların spesifik deformasyon enerjisi ve doku katsayısı değerleri.

| Kayaç Adı | Def. | SE _{Def} (MJ/m ³) | TC |
|-----------------|---------|---|------|
| Roza Porrinno | 0,04025 | 1,38 | 1,69 |
| Kaman Roza | 0,05417 | 2,13 | 2,13 |
| Anadolu Gri | 0,05111 | 3,11 | 2,12 |
| Aksaray Yaylak | 0,04777 | 2,36 | 2,31 |
| Bergama Kozak | 0,04495 | 2,23 | 1,97 |
| Bandırma Blue | 0,0529 | 3,10 | 2,05 |
| Verde Butterfly | 0,1154 | 10,61 | 3,66 |
| Bergama Gri | 0,0494 | 3,11 | 2,06 |
| Emerald pearly | 0,0898 | 4,29 | 2,63 |

Def.: Deformasyon, SE_{Def}: Spesifik deformasyon enerjisi, TC: Doku katsayısı.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

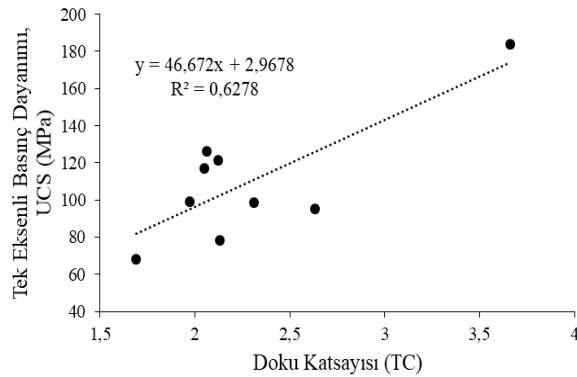
Dokuz farklı kayaç numunesi üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile kayaçların fiziksel, mekanik özellikleri ve SE_{Def} değerleri belirlenmiş olup, bu değerler ile kayaçların dokusal özelliklerini temsil eden doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak yapılan istatistiksel değerlendirmelerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan kayaçların tek eksenli basma dayanım değeri ile TC arasındaki ilişki incelendiğinde iki değer arasında anlamlı sayılabilecek bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Şekil 5). Belirlilik katsayısı (r^2 : 0,63) olarak tespit edilmiş olup, bu değer regresyon analizine katılan verilerin % 63' ünün Eşitlik 4.1 ile açıklanabileceğini göstermektedir.

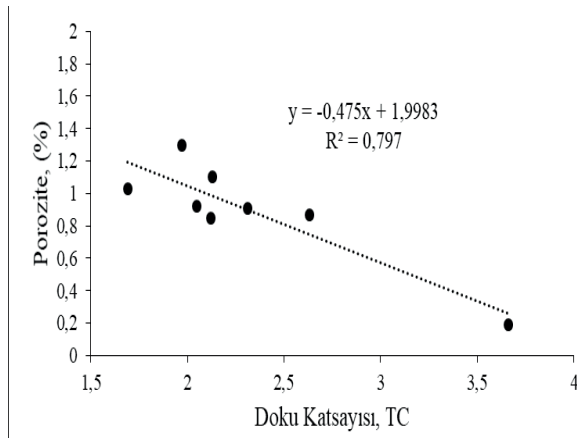
$$UCS=2,97+46,672TC..... (4.1)$$

Öztürk vd. 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada tek eksenli basma dayanımı ile TC arasındaki ilişkinin güçlü olmasını, kayaçların dayanım özelliklerini mineralojik ve petrografik özelliklerinin etkilemesinden kaynaklandığını belirterek açıklamıştır. Ancak bulunan bu ilişki oranı daha önce yapılan çalışmalarda bulunan ilişkilere oranla daha az anlamlı olup, bu durum ise kayaçların mekanik ve dokusal özelliklerinin aynı kayaç türleri için bile oldukça geniş farklılıklar göstermesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, TC hesaplanmasında kayaçların mineral ve matris özellikleri göz önüne alınarak hesaplanmakta olup, kayacın

dayanım değeri ile oldukça yüksek bir korelasyon değerine sahip olan, porozite değerleri kullanılmaması da dayanım ve TC değerleri arasındaki korelasyonun beklenildiği kadar yüksek çıkmasını açıklamaktadır. Şekil 6' te görüldüğü gibi Bergama gri numunesi sapma değer olarak kabul edilerek, hesaplamalara dâhil edilmez ise TC ile porozite değerleri arasında oldukça anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. Bu durum da yine porozite değeri ile tek eksenli basınç dayanımı değeri arasındaki ilişkinin çok güçlü olmasıyla açıklanabilir.



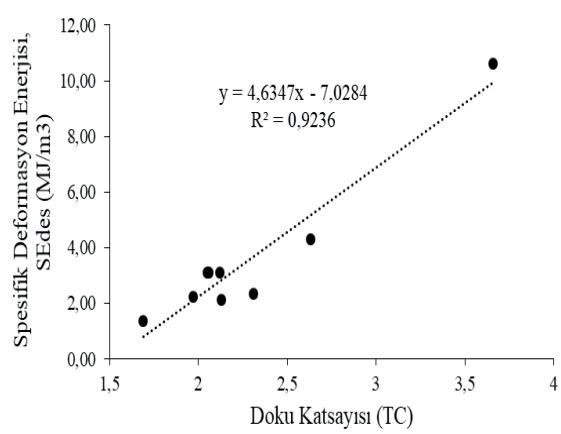
Şekil 5. Tek eksenli basınç dayanımı ile doku katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 6. Porozite ile doku katsayısı arasındaki ilişki

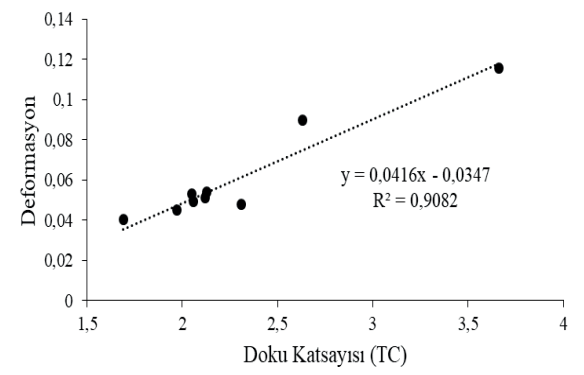
Benzer şekilde kayaç mekanik özelliklerinden birisi olan SE_{Def} ile TC arasında oldukça anlamlı bir korelasyon ($r^2:0.92$) vardır (Şekil 7). Şekil 7' de görüldüğü gibi, kayaçlarda TC arttıkça SE_{Def} değerinin de arttığı görülmektedir.

Deformasyon ile TC arasındaki korelasyonun (Şekil 8) dayanıma göre oldukça yüksek çıkmasının sebebi ise, SE_{Def} ' in bir dayanım değeri olmayıp, kayaçların yenilme sırasında absorbe ettikleri enerji ile ilgili bir kavram olmasından kaynaklanmaktadır.

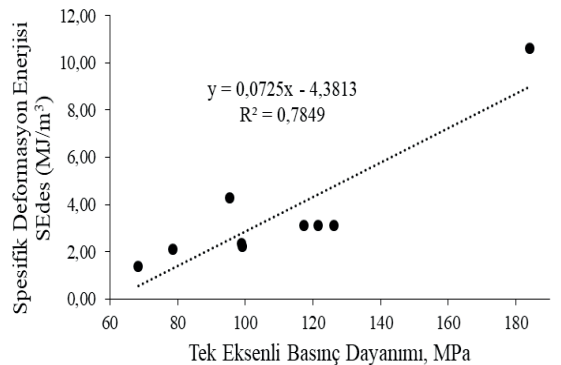


Şekil 7. Spesifik deformasyon enerjisi ile doku katsayısı arasındaki ilişki

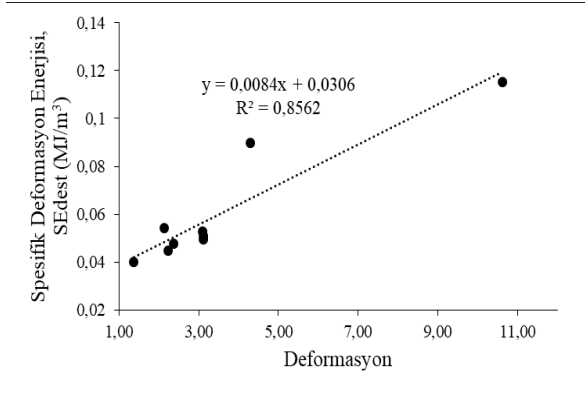
Böylece TC gibi SE_{Def} ' de hesaplamalar sırasında dayanımı birincil parametre olarak göz önünde tutmamaktadır. Şöyle ki; kayaçların deformasyon oranları ile SE_{Def} arasındaki ilişkinin ($r^2 = 0,86$) basınç dayanımı ile SE_{Def} arasındaki ilişkiden ($r^2 = 0,78$) daha yüksek çıkması doku katsayısının dayanımdan çok deformasyon özelliklerinden etkilendiğini göstermektedir (Şekil 9,10).



Şekil 8. Deformasyon ile doku katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 9. Spesifik deformasyon enerjisi ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 10. Spesifik deformasyon enerjisi ile deformasyon arasındaki ilişki

TC hesaplamalarında deformasyon için oldukça önemli olan porozite değerleri hesaplamada dâhil edilmemesine rağmen, Tiryaki ve Dikmen 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada, TC modelinin kayaçların dokusal yapılarının, kayacın yük altında çatlaklanmasına karşı fiziksel bir engel oluşturduğu düşüncesinden hareket edilerek geliştirildiğini belirtmektedir. SE_{Def} ise kayaçlarda yük altında oluşan çatlakların absorbe ettiği enerjisi temel alarak geliştirilmiş bir model olduğu için, iki parametre arasında yüksek korelasyonun çıkması, her iki parametrenin de kayaçlardaki çatlak yapıları ve ilerlemeleri temel alınarak geliştirilmiş modeller olmasından kaynaklanmaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada dünya çapında farklı bölgelere ait 9 farklı granit kayacı için fiziksel, mekanik ve dokusal özellikleri belirlenerek, bu özelliklerin arasındaki ilişki değerleri incelenmiştir. Mekanik özellikler ile TC arasında dayanım açısından oldukça anlamlı sayılamayacak bir ilişki belirlenmişken, Deformasyon ile TC arasında oldukça anlamlı sayılabilecek bir ilişki mevcuttur.

Mekanik özellikler ile SE_{Def} arasındaki ilişki incelendiğinde ise, kayaçlarda deformasyon ve dayanım değerleri ile SE_{Def} arasında anlamlı bir ilişkinin varlığı görülmektedir. SE_{Def} hesaplamasında kullanılan bu veriler ile anlamlı bir ilişkinin olması gayet normaldir.

TC ile SE_{Def} arasındaki ilişki incelendiğinde ise yine oldukça anlamlı bir ilişkinin ($r^2:0,92$) olduğu görülmekte olup, bunun nedeni ise iki modelinde kayaçların yenilme esnasında çatlakların oluşması, ilerlemesi kullanılarak geliştirilmiş modeller olmasından kaynaklanmaktadır.

SE_{Def} kayaçlarda kesilebilirlik, delinebilirlik araştırmalarında oldukça kabul görmüş ve kullanılabilirliği pek çok araştırmacı tarafından ortaya konulmuş bir modeldir. Ancak, SE_{Def} kayaçlarda tek eksenli basınç dayanımı testi ile elde edilen gerilme–deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile elde edilmekte olup, bu deney düzgün boyutlu numunelere ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca kayaçlarda deformasyon değerlerinin belirlenmesi de dayanım testleri sırasında ekstra ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. TC ise ince kesitlerin bilgisayar ortamında sayısallaştırılması ile elde edilen yöntemler olup, şekilsiz ve çok küçük numunelerle elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan 9 adet granit numunesi yetersiz olup, bundan sonraki araştırmalarda bu konu daha fazla incelenme ihtiyacı duymaktadır. Ancak, kayaçlara delinebilirlik, kesilebilirlik özelliklerinin tahmininde uygun boyutlarda numunelerin olmaması veya deformasyonun belirlenmesinde kullanılacak gerilim pulu veya extansometrelerin kullanma imkânlarının olmaması durumunda, oldukça küçük ve şekilsiz numunelerden elde edilen ince kesitlerle elde edilecek olan TC değerleri ile tahminlerin yapılabilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: FE-B2016/27-BAGEP, 2016.

KAYNAKLAR

- Atıcı, U., Ersoy, A., 2007. Evaluation of Destruction Specific Energy of Fly Ash and Slag Admixed Concrete Interlocking Paving Blocks (CIPB). Construction and Building Materials. 22, 1507-1514.
- Atıcı, U., Ersoy, A., 2008. Correlation of Specific Energy of Cutting Saws and Drilling Bits with Rock Brittleness and Destruction Energy. Journal of Materials Processing Technology. 209, 2602-2612.
- Bell, F.G., 1978. The Physical and Mechanical Properties of Fell Sandstones, Northumberland, England. Eng. Geol. 12, 1-29.
- Çomaklı, R., Çayırılı, S., 2017. Kayaç Dokularındaki Minerallerin Bazı Şekil Özellikleri ile Kayaç Kırılabilirliği Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi. 6 (2), 670 – 680.

- Ersoy, A. ve Waller, M.D., 1995. Textural Characterisation of Rocks. *Engineering Geology*. 39,123-136.
- Dube, A.K., Singh, B., 1972. Effect of Humidity on Tensile Strength of Sandstone. *J. Mines, Metals Fuels*. 20(1), 8-10.
- Howarth, D.F., Rowlands, J.C., 1986. Development of An Index to Quantify Rock Texture for Qualitative Assessment of Intact Rock Properties. *Geotech. Testing J.* 9, 169-179.
- Howarth, D.F., Rowlands, J.C., 1987. Quantitative Assessment of Rock Texture and Correlation with Drillability and Strength Properties. *Rock Mech. Rock Eng.* 20, 57-85.
- Hugman, R.H., Friedman, M., 1979. Effects of Texture and Composition on Mechanical Behaviour of Experimentally Deformed Carbonate Rocks. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 63(9), 1478-1489.
- ISRM 2007. In: Ulusay, R., Hudson, J.A. (Eds.) *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring. 1974–2006*. Ankara, Turkey.
- Irfan, T.Y., Dearman, W.R., 1978. Engineering Petrography of a Weathered Granite. *Q. J. Eng. Geol.* 11, 233-244.
- Öztürk, C. A., Nasuf, E., 2007. Kayaç Dokusal Özelliklerinin Sınıflandırılması ve Kaya Mühendisliği Uygulamaları. *İTÜ Mühendislik Dergisi*. 6, 69-80.
- Öztürk, C.A., Nasuf, E., 2013. Strength Classification of Rock Material Based on Textural Properties. *Tunneling and Underground Space Technology*. 37, 45-54.
- Öztürk, C.A., Nasuf, E., Kahraman, S., 2014. Estimation of Rock Strength from Quantitative Assessment of Rock Texture. *J. South Afr. Inst. Min. Metall.* 114 (6), 471-480.
- Shakoor, A., Bonelli, R.E., 1991. Relationship Between Petrographic Characteristics, Engineering Index Properties and Mechanical Properties of Selected Sandstones. *Bulletin of Association of Engineering Geology*. 28, 55-71.
- Thuro, K., Plinninger, R.J., 1999. Roadheader Excavation Performance - Geological and Geotechnical Influences, In: Vouille, G. & Berest, P. (eds.): *Proc. 9th ISRM Int. Congr. on Rock Mech.* Rotterdam, Brookfield (Balkema). 1241-1244.
- Thuro K. 1997. Prediction of Drillability in Hard Rock Tunnelling by Drilling and Blasting. In: Golser J, Hinkel WJ, Schubert W, editors. *World Tunnel Cong.* 97, Vienna, Austria: Proceedings. *Tunnels for People, Tunnels für Menschen*. 1 Rotterdam, Brookfield, Balkema. 103–8.
- Thuro K., Spaun, 1996. Drillability in Hard Rock Drill and Blast in Tunnelling. *Felsbau* 14, 103 – 109.
- Tiryaki, B., Dikmen., A. Ç., Kadioğlu, Y. K., Özbilgin, D., Tiryaki, N., Bölükbaşı, N., 2003, Kayaç Kesmede Keski Performansının Tahmini İçin Doku Katsayısı Yaklaşımının Kullanılabilirliği. *Madencilik Dergisi*. 42 (2), 27-43.
- Tuğrul, A., Zarif, I.H., 1999. Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks from Turkey. *Engineering Geology*. 51, 303-317.
- West, G., 1981. A Review of Rock Abrasiveness Testing for Tunnelling. *Proc. Int. Symp. Weak Rock*, Tokyo. Balkema, Rotterdam. 585-593.
- West, G., 1986. A Relation Between Abrasiveness and Quartz Content for Some Coal Measures Sediments. *International Journal of Mining and Geology*. 4, 73-78.



Derleme / Review

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ VE MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE KULLANIMI

MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS AND USE OF IN MINING INDUSTRY

Mert Mutlu^{a,*}, Mehmet Sarı^{a,**}

^a Aksaray Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, AKSARAY

Geliş Tarihi / Received : 9 Haziran / June 2017
Kabul Tarihi / Accepted : 19 Eylül / September 2017

ÖZ

Anahtar Sözcükler:
 Madencilik problemleri,
 Çok kriterli karar verme (ÇKKV),
 Analitik Hiyerarşi Prosesi,
 Bulanık Analitik Hiyerarşi
 Prosesi,
 Bulanık TOPSIS

Çok kriterli karar verilmesi (ÇKKV) hem objektif hem de sübjektif değerlendirme içermektedir. Yapılan bu derleme çalışmasında, literatürde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı madencilik alanlarında yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Söz konusu yöntemlerin risk yönetim planlaması sürecinde kullanımından, uygun ekipman seçimi problemlerine, üretim yöntemi seçiminden, tesisler için uygun yer belirlenmesine, doğal taş ocaklarında kesme yöntemi seçimi gibi birçok farklı alanda kullanıldığı görülmüştür. Çok kriterli karar verme yöntemleri yardımıyla karar verme sürecinde seçimi yapılmak istenilen alternatifler uygun bir ölçek kullanılarak sıralanabilmekte, böylece madencilikte karşılaşılan çeşitli problemlerin çözümünde karar vericilere yol gösterici nitelikte uygun seçenekler sunabilen faydalı birer araç olabilmektedirler.

ABSTRACT

Keywords:
 Mining problems,
 Multi-criteria decision making
 (MCDM),
 Analytic Hierarchy Process,
 Fuzzy Analytic Hierarchy
 Process,
 Fuzzy TOPSIS

Multi-criteria decision making (MCDM) includes both objective and subjective evaluation. Within the scope of this review article, the studies done in different areas of mining where multi-criteria decision making methods are used in the literature have been examined. It has been seen that these methods are used in many different areas of mining such as risk management planning process, mining equipment selection problems, mining method selection, selection of the appropriate location for the facilities, cutting method selection in natural stone quarries. With the help of multi-criteria decision making methods, alternatives in the decision making process can be ordered using appropriate scales, so MCDM can be a useful tool for guiding decision makers in the solution of different mining problems.

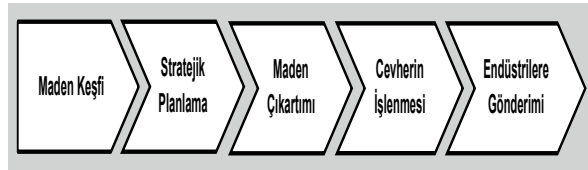
* mertmutlu@aksaray.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-6040-1186>

** Sorumlu yazar: mehmetsari@aksaray.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9441-9256>

GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi ortamında doğru ve etkin kararlar alabilen işletmeler, rakiplerine göre yeni ortam ve koşullara daha çabuk uyum sağlayabilmekte ve elde etmiş olduğu bu üstünlüğünü diğer birçok alanda da sürdürebilmektedir. Alınacak doğru ve etkin kararlar, bilgilerin sağlıklı ve verimli bir şekilde iyi bir zamanlama ile değerlendirilmesine bağlı olup, başarıyı da beraberinde getirecektir.

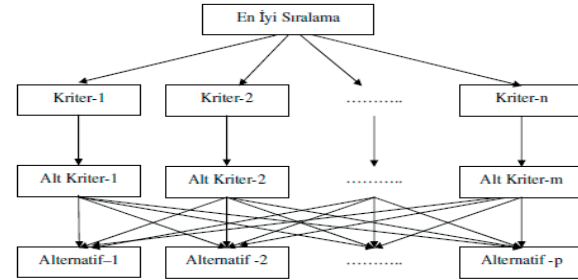
Madenler, firma ve ülke ekonomilerine olan birçok katkısından dolayı gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu ile birlikte endüstriyel sanayinin en önemli hammadde kaynağı haline gelmişlerdir. Sağladığı yüksek katma değer sayesinde madenler, birçok ülke için ekonomik bağımsızlık elde edilmesinde vazgeçilmez bir konumdadırlar. Madencilik sektörü, Şekil 1'de görüldüğü gibi madenin keşfini, madenin çıkarılmasını, cevherin işlenmesini ve ihtiyaç duyulan endüstrilere gönderimine kadar olan birçok farklı süreç içinde faaliyet gösterir.



Şekil 1. Madencilik sektöründe süreçlerin işleyiş mekanizması

Ancak pek çok sektörde olduğu gibi bu işlemler esnasında madencilik sektöründe de önemli problemlerle karşılaşılabilir. Maden için en uygun yöntem seçimi, en iyi ekipman seçimi, tesisler için en uygun yer seçimi gibi problemlerin çözümünde kullanılan tekniklerden birisi de çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleridir. ÇKKV, belirli bir amaca veya bir probleme yönelik olarak alternatifler arasından en uygun olanını seçme işlemi olarak tanımlanabilir (Güner ve Yücel, 2007). Karar verme eyleminin gerçekleştirilmesi için öncelikle aralarından seçim yapılabilecek olan birden fazla alternatifin bulunması gerekmektedir. ÇKKV; karar bilimlerinin bir alt bilim dalı olup karar sürecini modellere göre analiz etme sürecine dayanmaktadır. ÇKKV yöntemlerinin karar verme mantığı genelde benzer olsa da, sonuçta ulaşımda işlem akışı, karar verici sayıları ve sıralamadaki küçük farkları yakalama becerileri ile tutarlılık testlerine imkân vermesi gibi özellik-

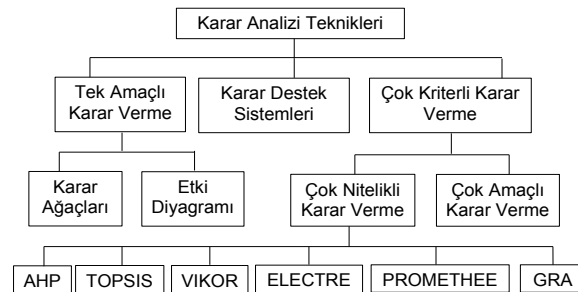
leriyle farklılık göstermektedir (Eleren ve Ersoy, 2007). Bir ÇKKV probleminin genel yapısı Şekil 2'de verilmiş olup söz konusu problemde kriterler, alt kriterler ve alternatifler hiyerarşik olarak sıralanmıştır.



Şekil 2. Çok kriterli karar verme problemlerinin genel yapısı (Saaty ve Vargas, 2001)

1. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, ÇKKV yöntemleri kısaca tanıtılmış ve her bir yöntemin Türkiye'de ve Dünya'da madencilik sektöründe kullanıldığı farklı çalışmalar incelenmiştir. Literatür taraması sonucunda çok amaçlı karar verme yaklaşımlarının madencilik için çeşitli alanlarına yönelik yapılmış birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmüştür. Karar analizi tekniklerinin bir alt dalı olan ÇKKV'de alternatiflerin birden fazla kritere göre sıralanmasını sağlayan birçok farklı teknik kullanılabilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Karar analizi tekniklerinin sınıflandırılması (Zhou vd., 2006).

Şekil 3'te verilen klasik yöntemlere ilave olarak, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (F-AHP), Bulanık İdeal Çözüm Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (F-TOPSIS), Bulanık VIKOR (F-VIKOR), Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) yöntemleri de aynı yöntemlerin bulanık mantık desteğiyle çözümlenen alternatifleridir.

1.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi

AHP ilk olarak Myers ve Alpert (1968) tarafından ortaya atılmış olup, Saaty (1977) tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiş çok kriterli bir karar verme tekniğidir. İşletme yöneticileri tarafından anlaşılması ve uygulanması kolay olmakla birlikte karar verme sürecinin iyileştirilmesine de yardımcı olabilecek bir yöntemdir (Dağdeviren ve Tamer, 2001). AHP, daha çok seçeneklerin açıkça bilindiği fakat karar vermede etkisi olan koşulların matematiksel olarak ifade edilemediği problemlerde kullanılır. Buradaki amaç, belirlenen ölçütlere göre en uygun seçeneğin belirlenmesidir. Bir başka deyişle tanımlanan ölçütleri en fazla sağlayan seçenek belirlenmeye çalışılır (Kurşunoğlu ve Önder, 2014). AHP, ilgili problemi amaç-ölçütler-alt ölçütler-seçenekler hiyerarşisi kurmak suretiyle çözmeye olanak sağlamaktadır. AHP, genel olarak, problemi parçalara ayırma ve hiyerarşi oluşturma, karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması ve önceliklerin sentezlenmesine dayanmaktadır (Saaty, 1977; Saaty, 1980). AHP genel olarak dört adımdan oluşmaktadır. Sürecin ilk aşamasında tepeden başlanılarak karar hiyerarşisi oluşturulur. Bu amaçla da birinci seviyede amaç, orta seviyede kriterler ve alt kriterler, en düşük seviyede ise alternatifler bulunur (Saaty, 2008). İkinci aşamada Çizelge 1’de gösterilen ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak, ikili karşılaştırma işlemleri yapılır. Bu iki ölçütün/kriterin birbiriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargısına dayanır. Kriterlerin kendi aralarında önem dereceleri belirlenirken Çizelge 2’deki Saaty’nin önem derecesi ölçeği kullanılır. İkili karşılaştırmada, karar ölçütlerinin önem ağırlıkları ve alternatiflerin her bir ölçüt açısından önemi belirlenir (Şengül vd., 2012).

Çizelge 1. İkili karşılaştırma matrisi (Vargas, 1990)

| | Kriter 1 | Kriter 2 | | Kriter n |
|----------|--------------|--------------|-------|--------------|
| Kriter 1 | $W_1 <> W_1$ | $W_1 < W_2$ | | $W_1 <> W_n$ |
| Kriter 2 | $W_2 <> W_1$ | $W_2 <> W_2$ | | $W_2 <> W_n$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | | ⋮ |
| Kriter n | $W_n <> W_1$ | $W_n <> W_2$ | | $W_n <> W_n$ |

Üçüncü aşamada, karşılaştırılan her bir kriterin, önceliğinin (göreceli öneminin) hesaplanmasına sentezleme (normalize) denilmektedir (Günden ve Miran, 2008). Önceki aşama sonucunda oluş-

turulan karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla sütun toplamaları alınır ve her değer kendi sütun toplamına bölünür. Böylece normalize edilmiş matris elde edilir. Yüzde önem ağırlıklarının elde edilmesi için ise satır ortalaması alınır.

Çizelge 2. Önem derecesi ölçeği

| Önem Derecesi | Tanımı |
|---------------|------------------------------|
| 1 | Eşit önemli |
| 3 | Orta derecede önemli |
| 5 | Kuvvetli derecede önemli |
| 7 | Çok kuvvetli derecede önemli |
| 9 | Kesin önemli |

AHP kendi içinde ne kadar tutarlı bir sistematığe sahip olsa da, sonuçların gerçekçiliği doğal olarak karar vericinin faktörler arasında yaptığı birebir karşılaştırmadaki tutarlılığa bağlı olacaktır. Bu amaçla, son aşamada ağırlıklar hesaplandıktan sonra ayrıca Tutarlılık oranının (CR) hesaplanması gerekmektedir. CR’nin hesaplanabilmesi için öncelikle matrisin en büyük özvektörünü (λ_{max}) hesaplamak gerekmektedir. Tutarlılık oranının bulunmasından bir önceki adım tutarlılık göstergesinin (CI) hesaplanmasıdır. CI değeri hesaplandıktan sonra, elde edilmesi gereken başka bir değer de Rassallık Endeksi (RI)’dir. Bu değer hesaplanmasında farklı matris boyutları için RI değerleri kullanılır (Saaty, 1990). Farklı matris boyutları (N) için RI değerleri Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Rassallık indeksleri (Saaty, 1980)

| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|------|------|------|------|------|
| RI | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 1,00 | 1,10 |
| N | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| RI | 1,20 | 1,30 | 1,40 | 1,50 | 1,50 |
| N | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| RI | 1,50 | 1,50 | 1,60 | 1,60 | 1,59 |

En son aşamada ise CR değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1.1)$$

AHP uygulamalarında CR’nin değerinin 0.1’den daha az olması, yapılan uygulamanın tutarlı olduğunu göstermekte olup aksi durumda sürecin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir (Saaty, 2000).

1.1.1. AHP Yönteminin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Madencilik sektöründe AHP yönteminden faydalanılarak yapılmış olan ÇKKV çalışmaları aşağıda incelenmiştir. Yavuz vd. (2008) tarafından Kütahya-Tunçbilek'te faaliyet gösteren Garp Linyitleri İşletmesi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada, ana nakliyat yolunda en uygun tahkimat türü seçimi için AHP yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada yer alan farklı tahkimat tasarım kriterleri için gerekli olan kaya kütlelerinin jeoteknik ve jeomekanik özellikleri, FLAC^{3D} numerik analiz programı ile belirlenmiştir. Modelde ana kriterler olarak, birinci ve ikinci konumdaki dikey deplasmanlar, üçüncü konumdaki yanal ve dikey deplasmanlar, güvenlik faktörü, tahkimat maliyeti, işçi gereksinimi ve metodun uygulanabilirliği gibi kriterler olmak üzere 8 ayrı kriter belirlenmiştir. Çalışmada, AHP yöntemi kullanımının geleneksel tahkimat seçimi yöntemlerine göre daha az veri gerektirmesinden ötürü karar verme sürecinde mühendislere kolaylık sağlayabildiği sonucuna varılmıştır.

Samanta vd. (2002) çalışmalarında açık işletme üretim yöntemiyle çalışan kömür ocaklarında kömürün çıkarılması, nakliyesi sürecinde kullanılacak ekipman seçimini AHP yöntemi ile yapmışlardır. Ana kriterler olarak madenle ilgili parametreler, teknik özellikler/üretim performansı, finansal özellikler, dizayn parametreleri ile ilgili özellikler, idame edilebilirlik ve madenin ömrü, çalışma koşulları ve çevre güvenliği ile ilgili parametreleri belirlemişlerdir. Ekipman seçiminde en etkin parametrelerin sırasıyla teknik özellikler/üretim performansı ve finansal özellikler olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kazakidis vd. (2004) çalışmalarında parçalanma, tasarım, güvenlik, karıştırma, maliyet ve kültür ana kriterlerini kullanarak; sondaj teknolojisi yatırım analizi, tahkimat tasarımı, tünel tasarımı, kuyu lokasyon seçimi ve madencilikte risk planlaması gibi beş önemli madencilik senaryosunu AHP yöntemi kullanarak, Expert Choice™ adlı bilgisayar yazılımında analiz etmişlerdir. Yavuz (2015) çalışmasında, İstanbul ilindeki Çiftalan linyit kömür ocağında yeraltı üretim yöntemi seçimini AHP ve YAGER yöntemlerini kullanarak yapmıştır. Damarın geometrik özelliklerinin, taban ve tavan yolu koşullarının, tahkimat ve kömür damarı özelliklerinin ve maliyet kriterlerinin seçildiği çalışmada; en önemli kriterin damarın geometrik özellikleri olduğu, en uygun üretim yönteminin ise dolgu oda-topuk yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

De-shun ve Kai-li (2011) AHP yöntemini kullandıkları çalışmalarında kömür ocakları için bir risk sınıflama sistemi önermişlerdir. Uzman görüşlerine başvuru yapılan çalışmada, ana kriterler olarak jeolojik koşullar, teknik ekipman donanımı, yönetim kalitesi, işletmedeki güvenlik kültürü ve ortam güvenliği gibi faktörler belirlenmiştir. En etkin kriterlerin jeolojik koşullar, teknik ekipman donanımı ve ortam güvenliği olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Hyun vd. (2015) çalışmalarında hata ağacı analizi (FTA) ve AHP yöntemlerini bir arada değerlendirerek, anketler yardımıyla uzmanlardan elde ettikleri görüşler ile TBM tünelciliğinde yeni bir risk yönetim sistemi önermişlerdir. Çalışmalarında ana kriterler olarak jeolojik faktörler, tasarım faktörleri ve inşaat-yönetim süreci faktörlerini belirlemişlerdir. En önemli risk unsurlarının ise tünel etrafındaki kayaların düşük mukavemeti ve faylanma ve eklem kusurları olduğunu belirlemişlerdir.

Kurşunoğlu ve Önder (2015) Zonguldak'ta bulunan bir kömür ocağı için AHP yöntemini kullanarak vantilatörler için en uygun fan seçimi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler olarak; teknik, işletme, çevresel ve ekonomik faktörleri belirlemişlerdir. Çizilen fan karakteristik eğrileri ile ocak dirençleri hesaplanmıştır. Çalışmalarının sonucunda fan seçimi işleminde teknik faktörlerin ağırlığının diğer faktörlere göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmada ayrıca duyarlılık analizlerine de yer verilmiştir. Alpay ve Yavuz (2009) çalışmalarında, farklı şekil ve yapıdaki bir cevher yatağı için en uygun yeraltı üretim yöntemi seçimini AHP ve YAGER metodlarının kullandığı geliştirmiş oldukları bir bilgisayar programı sayesinde belirledikleri 36 alt kriter ve 6 ana kriter yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler olarak; damarın karakteristik özellikleri, jeolojik ve hidrojeolojik koşullar, jeoteknik özellikler, ekonomik hususlar, teknolojik faktörler ve çevresel sorunlar şeklinde belirlemişlerdir.

Karadoğan vd. (2001) çalışmalarında İstanbul-Yeniköy linyit sahasında yeraltı üretim yöntemi seçim işlemini AHP yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kömür damarının geometrik şekli, kömür damarı kalınlığı, damar eğimi, kazının yapıldığı derinlik, kömürün sağlamlık derecesi, kömür damarı-yantaş durumu, tavan taşının sağlamlık derecesi, taban taşının sağlamlık derecesi, tasman etkisi, tahkimat gerekliliği, yerleşim alanlarının yakınlığı, kömürün yanma özelliği, metan gazının varlığı, yeraltı suyu koşulları, üretim maliyeti, sermaye maliyeti, üretim oranı,

işe yararlık ve emek maliyeti ölçütleri ana kriterler olarak belirlenmiştir. Sahada uygulanabilirliği muhtemel olan yöntemler (alternatifler) arasından dolgulu oda-topuk yönteminin, seçilme şansı en yüksek olan yöntem olduğunu tespit etmişlerdir.

Bogdanovic vd. (2012) çalışmalarında AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile bir yeraltı madeninde üretim yöntemini belirledikleri 11 ayrı ana kriter ile (kalınlık, derinlik, cevheri çevreleyen yan kayacın dayanımı, süreksizliklerin durumu, cevher yatağının şekli, dekapaj oranı, cevherin kazılabilirliği, cevherin yan kayaçla olan ilişkisi, kazı maliyetleri, iş güvenliği ve arazi yüzeyinin korunması) seçmeye çalışmışlardır. Maden için en uygun üretim yönteminin kes-doldur olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Shen vd. (2015) yapmış oldukları çalışmada sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde madencilik firmalarının yeşil tedarik zinciri yönetimi sürecine dâhil olmaları için önemli olan etkenleri belirlemek amacıyla AHP yöntemini kullanmışlardır. Belirledikleri ana kriterler; üst yönetimin duyarlılığı, mevcut durumun analizi, uygun uygulama yaklaşımları ve devamlı gelişim olup, bunlar içinde en önemli ağırlığa sahip olan kriterin üst yönetimin duyarlılığı kriteri olduğunu belirlemişlerdir.

Ataei (2005) çalışmasında Azerbaycan'da alüminyum oksit hammaddesi ve türevleri üretim tesisi için yer seçimini AHP yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmasında; oluşturduğu hiyerarşide ana kriterler olarak ulaşım imkânları, su kaynaklarına olan mesafe, enerji temini, yakıt temini ve saha büyüklüğü kriterlerini belirleyerek 5 farklı alternatif yer arasından seçim işlemini gerçekleştirmiştir. Baylan (2015) çalışmasında mermer sektörünün en önemli sorunlarını değer zinciri analizi yöntemi ile belirlemiş ve ardından AHP yöntemini kullanarak bu sorunları sınıflandırmıştır. Oluşturulan hiyerarşik yapıda risk, finans, müşteriye ürün tedarik süresi, ürün kalitesi ve maliyet ana kriterler olarak alınmıştır. Çalışma sonucunda en önemli sorunların işçilik maliyetleri ve enerji maliyetleri olduğunu tespit etmiştir.

Ersoy (2013) çalışmasında Afyonkarahisar'ın İncehisar bölgesinde bulunan 10 ayrı mermer ocağından elde ettiği verileri kullanarak, kaza nedenlerini değerlendirmiştir. Yöntem olarak AHP'nin kullanıldığı çalışmada, ana kriterler olarak kaza nedenleri (tel kopması, kayma ve düşme, basamak kayması, blokların yüklenmesi işlemleri, basamaktan düşme, ateşleme ve patlatma işlemleri, elektrik çarpması, ekipmanların bakımı esnasın-

da, malzemelerin yüklenmesi esnasında, ocak içindeki trafik kazaları, malzemelerin taşınması esnasında, gürültü, toz ve yetersiz havalandırma) şeklinde belirlenmiş olup, hesaplanan ağırlıklardan genel olarak en önemli kaza nedeninin tel kopması olduğu tespit edilmiş ve her bir ocak için en önemli kaza nedenleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

Kurşunoğlu ve Önder (2014) yeraltı hazırlık galerileri devam etmekte olan Muğla ilindeki bir kömür ocağı için AHP yöntemini kullanarak vantilatörler için en uygun fan seçimi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Oluşturulan hiyerarşik yapıda vantilatörlerin teknik özellikleri, işletim özellikleri, çevresel etkileri ve üretici firmanın müşteri desteği ölçütleri ana kriterler olarak alınmış ve 3 ayrı üretici firma arasından seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Mohsen vd. (2009) çalışmalarında jeolojik, jeoteknik, coğrafik ve ekonomik parametrelere dayalı hazırladıkları anket yardımıyla AHP tekniğini kullanarak İran'daki bir yeraltı boksit maden ocağında en uygun üretim yöntemi seçimi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler; damar kalınlığı, tavan kayacın RMR değeri, derinlik, cevher yatağının şekli, cevherin RMR değeri, cevherin tenörü, cevherin tekdüzeliği, geri kazanım oranı, üretim miktarı, taban kayacın RMR değeri, teknoloji kullanımı ve hisse satışı olarak belirlenmiştir. Çalışmaları sonucunda söz konusu ocakta üretim yöntemi seçimi aşamasında damar kalınlığı ölçütünün en önemli kriter olduğu; geleneksel kes-doldur üretim yönteminin ise en uygun üretim yöntemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Azadeh vd. (2010) yeraltı üretim yöntemi ile üretim yapan Choghart demir madeninde yaptıkları çalışmada maliyetler, ilk yatırımların getiri düzeyi ve gelir ana kriterlerini kullanarak, AHP yöntemi ile en uygun üretim yöntemini belirlemişlerdir. En etkin kriterin işletme maliyetleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Gupta ve Kumar (2012) yapmış oldukları çalışmalarında AHP yönteminden yararlanarak iç faktörler (damarın eğimi, kayacın dayanımı, yan kayacın dayanımı, derinlik, damarın şekli, yüzeysel problemler, cevherin tekdüzeliği ve cevherin kalınlığı) ve dış faktörler (sermaye yatırımı, sağlık ile ilgili endişeler, hisse satışı, iş gücü ve pazar payı) şeklinde belirledikleri ana kriterler yardımıyla İsveç, Amerika ve Hindistan'daki 5 ayrı maden ocağı için en uygun üretim yöntemi ni belirlemişlerdir.

Badri vd. (2013) çalışmalarında Kanada'nın Québec eyaletindeki bir yeraltı altın madeni projesinde üç yıllık risk yönetimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında istenmeyen olaylar,

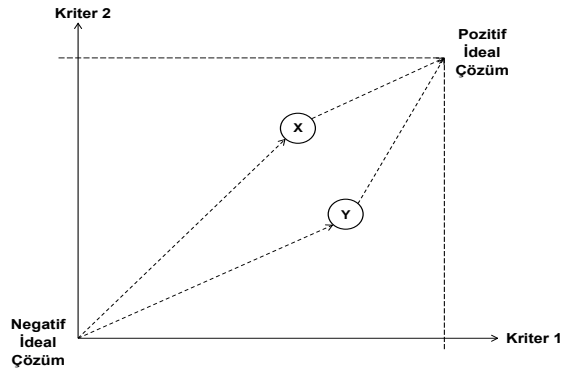
proje üzerindeki olumsuz etkiler, tehlikeler, mali etkenler, İSG faaliyetleri ve toplumsal etkenler kriterleri ana kriterler olarak alınmıştır. Bu kriterler içerisinde risk yönetim sürecini doğrudan etkileyebilecek en önemli kriterin tehlikeler kriteri ile bunun alt kriteri olan teknik problemler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yavuz (2008) bir mermer işleme tesisi yerinin seçimi için AHP ve YAGER yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmasında yer seçimi için ana kriterleri ekonomi, üretim, pazarlama ve çevresel faktörler olarak belirlemiştir. Çalışmada ayrıca duyarlılık analizi de yapılmıştır. Çalışmasının sonucunda tüm ana kriterler ve alt kriterler için hesaplanan ağırlıklar göz önünde bulundurulduğunda, Denizli ilinin yer olarak en uygun yer olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Başçetin ve Kesimal (1999) İstanbul-Kemerburgaz bölgesindeki bir kömür ocağında üretime yeni geçecek olan bir sahanın dekapaj işi için en uygun yükleme-taşımaya sisteminin seçim işlemi için AHP ve YAGER yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında kullandıkları 21 ana kriter ise; üretim, örtü kalınlığı, kazı koşulu, malzeme boyutu, zemin koşulu, taşıma yolu koşulu, kazı yüksekliği, boşaltma yüksekliği, yedek parça temini, yuvarlanma direnci, fleksibilite, çalışma dengesi, taşıma mesafesi, ekipman mevcudiyeti, hareketlilik, taşıma kapasitesi, ekonomik ömrü, ekipman verimi, döngü süresi, kapital maliyeti ve işletme maliyetidir. Buna göre en uygun yükleme-taşımaya sisteminin ekskavatör-kamyon sistemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Başçetin (2004) çalışmasında; Bursa'nın Orhaneli ilçesinde bulunan ve açık işletme yöntemiyle üretim yapılan bir kömür ocağındaki nakliyat sistemi seçimini AHP yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. Ana kriterler olarak sermaye maliyeti, işletme maliyeti, işletme koşulları ve kullanılan ekipmanların teknik parametreleri ve bunların alt kriterleri olarak belirlenmiştir. Uzmanlar tarafından yapılan karşılaştırmalı matrisler yardımıyla, söz konusu ocak için 4 ayrı alternatif arasından en uygun sistemin lastik tekerlekli yükleyici-kamyon-kırıcı-bant konveyör sistemi olduğunu tespit etmiştir.

1.2. İdeal Çözümüne Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (TOPSIS)

TOPSIS yöntemi tüm işletmeler için çok önemli bir performans değerlendirme yöntemidir. Bu sebeple birçok alanda bu yöntemle ilgili çalışmalar yapılmakta olup, gün geçtikçe önemi artmaktadır (Soba ve Eren, 2011). Yöntem pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olmak üzere iki temel

noktaya dayanmakta olup, ÇKKV problemlerinin çözümünde başarıyla uygulanmaktadır (Li, 2010). Yöntemin temel esası ideal çözüme göre alternatiflerin sıralanması esasına dayanır. İdeal çözüme görece yakın olan alternatiften başlamak üzere bir sıralama yapılarak; sırası ile diğer alternatiflerin görece yakınlığı tespit edilir (Cheng-Min ve Wang, 2001). Örneğin Şekil 4'te gösterildiği üzere X ve Y gibi iki alternatif söz konusu olsun; burada alternatiflerden X'in pozitif ideal çözüme yakın olması ve aynı şekilde negatif ideal çözümden uzak olması Y'ye göre X'in tercih edilme sebebidir. Y'nin X'e göre pozitif ideal çözümden uzak olması ve aynı zamanda negatif ideal çözüme yakın olması karar verici açısından Y'nin tercih edilmeme sebebidir (Ishizaka ve Nemery, 2013).



Şekil 4. TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin seçimi

TOPSIS yönteminin uygulaması 6 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla, karar matrisinin oluşturulması, normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması, ağırlıklı karar matrisinin oluşturulması, maksimum ve minimum değerler yardımıyla pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulması, alternatifler arasındaki mesafe ölçülerinin hesaplanması ve ideal çözüme göre görece yakınlığın hesaplanması şeklinde verilebilir (Alp ve Engin, 2011). Alternatifler arasındaki mesafe ölçülerinin hesaplanmasında maksimum ideal noktalara uzaklık değerleri için Eşitlik (1.2), minimum noktalara olan uzaklık değerleri için ise Eşitlik (1.3) kullanılır (Mahmoodzadeh vd., 2007).

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.3)$$

Son aşama olan her bir karar noktasının pozitif ideal çözüme göre yakınlığının (hesaplanması

işlemi ise Eşitlik (1.4) kullanılarak gerçekleştirilir (Ballı ve Korukoğlu, 2009).

$$C_i^+ = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+} \quad i= 1,2, \dots, m \quad (1.4)$$

Formülde C_i^+ değeri $0 \leq C_i^+ \leq 1$ değeri aralığında değer almaktadır. $C_i^+ = 1$ ilgili karar noktasının pozitif ideal çözüme, $C_i^+ = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını göstermektedir. Ardından elde edilen değerler büyüklük sırasına göre dizilerek alternatiflerin önem sıraları belirlenir (Uygurtürk ve Korkmaz, 2012).

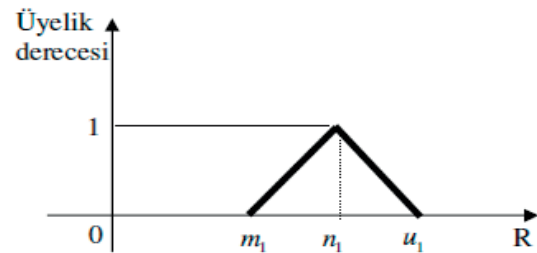
1.2.1. TOPSIS Yönteminin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Madencilik sektöründe TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar aşağıda incelenmiştir. Yavuz ve Alpay (2008) yapmış oldukları çalışmada, Kayseri ilinin Pınarbaşı ilçesindeki bir kromit ocağının jeomekanik özelliklerini kullanarak yeraltı madenciliği üretim yöntemi seçimi işlemini TOPSIS yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında ana kriterler olarak; teknolojinin uygulanabilirliği, dış faktörler, iç faktörler ve ekonomik imkânlar şeklinde belirlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda maden için en uygun üretim yönteminin ara katlı göçertme yöntemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kun vd. (2013) çalışmalarında bir mermer ocağında çeşitli alternatiflerin içerisinde en uygun lastik tekerlekli yükleyici seçimini AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak, belirledikleri ana kriterler ve alt kriterler yardımıyla gerçekleştirmiştir. Çalışmada ana kriterler olarak ekonomik, teknik, operasyonel ve ticari faktörleri seçmişlerdir. Çalışmaları sonucunda ocak için en uygun olan yükleyicinin 25-30 ton kapasiteli olanı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Li vd. (2011) çalışmalarında 4 ayrı yeraltı kömür ocağı için risk değerlendirmesi işlemini belirledikleri 10 ayrı ana kriter (emiyon gazının ortalama miktarı, gazın drene edilebilme oranı, gaz akışı, gaz birikimi, gaz patlaması, hava hacmi, güvenlik yönetimi puanı, havalandırma ekipmanının durumu, toz konsantrasyonu, kendiliğinden yanma süresi) ile TOPSIS yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmaları sonucunda kömür madenlerini çok riskliden az riskliye doğru sıralamışlardır. Ayrıca yöntemin değerlendirme sonuçlarının basit ve açık olduğunu, kömür madenlerindeki risk değerlendirme süreçlerinde kullanılmasının teşvik edilmesi gerektiğine değinmişlerdir.

1.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (F-AHP)

F-AHP yönteminin değerlendirildiği bu bölümde bulanık mantık kavramı ve üçgensel bulanık sayılar konusu ile ilgili bazı temel kavramların açıklanması gerekmektedir. Birçok belirsizliklere klasik mantıkta bir çözüm bulmak oldukça güçtür ve bazı durumlarda ise neredeyse imkânsızdır. Belirsizlik altında kararların verildiği bulanık (fuzzy) ortamlar çoğunlukla insan yargılarının söz konusu olduğu durumlarda oluşur. Çünkü insan yargıları sayısal ifadeler değildir. İşte bulanıklık kavramı da belirsizlik olarak tanımlanmış ve bu belirsizlikleri ifade edebilmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Klasik mantıkta bir durum ya doğrudur ya da yanlıştır, ya vardır ya da yoktur. Yani ikili bir mantık vardır. Fakat bulanık mantıkta ise doğru ile yanlışın arasında birçok durum bulunabilmektedir (Göksu, 2008). Karar aşamasında tahmin ve belirsiz bilgilere başvuran insan muhakemesine paralel bir uyum gösteren bulanık mantık teorisi, özellikle belirsizlik ve bulanıklığı matematiksel ifade edebilmek ve birçok problemin özünde var olan bu tür hususların üstesinden gelebilmek üzere tasarlanmıştır (Zhang ve Zou, 2007). Bulanıklık, kesin olmayan belirsiz durumları konu edinmesine rağmen çok güçlü bir matematiksel teoriye dayanır (Chen ve Hwang, 1992).

Hem işlem kolaylığı sağlaması hem de sezgisel olarak oluşturulabilmesi nedeniyle en çok kullanılan bulanık sayı türü üçgensel bulanık sayılardır (Sanchez ve Gomez, 2003). Üçgensel bulanık sayılar (m, n, u) gibi üçlüer ile gösterilirler. Bu parametreler sırasıyla alınabilecek en küçük değeri, alınabilecek en sık değeri ve alınabilecek en büyük değeri temsil etmektedirler (Çitli, 2006). $\mu_A(x) \in [0, 1]$ olmak üzere üçgensel bulanık sayılar $A = (m, n, u)$ şeklinde ifade edilir (Yong, 2006). Burada R genel küme, A, R'nin bulanık alt kümesini temsil etmektedir. Üçgensel bulanık bir sayı Şekil 5'teki gibi grafiksel olarak gösterilebilir.



Şekil 5. Üçgensel bulanık sayıların üyelik fonksiyonu gösterimi

F-AHP, çok kriterli karar süreçlerinde, özellikle belirsizlik ya da sübjektiflik bulunması durumunda AHP yönteminin yetersiz olmasından dolayı kullanılmak ve insani düşünce tarzına daha yakın olunması amacıyla bulanık mantık ile analitik hiyerarşi prosesinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş bir yöntemdir. Keskin değerlerin kullanıldığı AHP'den farklı olarak, F-AHP'de kıyaslama oranları bir değer aralığında verildiğinden ötürü uygulamaya daha rahat hareket imkânı sağlamaktadır (Bender ve Simonovic, 2000). Bulanık analitik hiyerarşi prosesi sözel ifadelerin de bulanık sayılarla tanımlanmasına olanak tanımaktadır. Böylece hem objektif hem de sübjektif kriterlerle çalışma imkânı sağlanır (Akın, 2015). Literatürde yer alan çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuş birçok bulanık analitik hiyerarşi prosesi metodu bulunmakla birlikte bunlar içerisinde en çok Chang (1996)'in önerdiği yöntemin tercih edildiği görülmüştür. F-AHP yönteminin uygulanması 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla, kriterlerin ağırlıklarının belirlenebilmesi için kriterlerin sentez değerlerinin hesaplanması; kriterlerin birbirlerine göre üstünlüklerini belirlemek için olasılık derecelerinin belirlenmesi; bulanık sayılarının birbirlerine göre büyüklük derecelerinin belirlenmesi ve bütün sentez değerlerinin birbirileri ile olan ilişkisel ağırlıklarının belirlenmesi için ilgili vektörün normalize edilmesi şeklinde verilebilir.

1.3.1. F-AHP Yönteminin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Madencilik sektöründe F-AHP yöntemi kullanılarak yapılan başlıca çalışmalar şu şekilde verilebilir. Nezarat vd. (2015) çalışmasında, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan F-AHP tekniği kullanılarak İran'ın kuzeybatısında bulunan Golab tünelineki mevcut jeolojik risklerin önem ağırlıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Ana kriterler olarak risk olasılığı, riskin maliyeti, zaman ve kalite üzerindeki etkisi, belirsizlik ve risklerin tespit edilebilirliği kriterlerini belirlemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda tünel yüzeyinde yer alan süreksizliklerin en önemli risk unsurları olduğu; kil tıkanmalarının ve gaz emisyonlarının ise en düşük risk unsuru olduğu belirlenmiştir. Naghadehi vd. (2009) çalışmalarında İran'daki Jajarm boksit madeni için en uygun yeraltı üretim yöntemi seçimi işlemini F-AHP yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. On üç ayrı ana kriterin (cevherin eğimi, cevherin şekli, kalınlığı, tavanının RMR değeri, tabanın RMR değeri, teknoloji kullanımı, cevher derinliği, cevher devamlılığı, cevherin RMR değeri, cevher tenörü, suya doygunluğu,

üretim ve kazanım oranı) belirlendiği çalışmada, cevherin derinliği, kalınlığı ve şeklinin, üretim yöntemi seçimini etkileyen en önemli parametreler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Shariati vd. (2013) çalışmalarında İran'ın Tahran şehrinde yer alan bir bakır madeninde yeraltı üretim yöntemi seçimini F-AHP ve TOPSIS yöntemleri yardımıyla yapmışlardır. Damar kalınlığı, damarın eğimi, damarın şekli, cevher tenörü, ocak derinliği, cevherin, tavan ve taban kayaçlarının RMR değerleri ölçütlerinin ana kriterler olarak belirlendiği çalışmada, üretim yöntemi seçimini etkileyen en önemli kriterin damarın eğimi olduğu; alternatifler arasından en uygun üretim yönteminin ise kes-doldur üretim yöntemi olduğunu tespit etmişlerdir. Yavuz (2011) yapmış olduğu çalışmada bulanık AHP yöntemini kullanarak açık ocak kamyon seçimi işlemini gerçekleştirmiştir. Bu işlem için TKI'nin kamyon alımı ihalesindeki teknik şartnamede yer alan kriterler dikkate alınmıştır. Hiyerarşik yapıda kamyonların yük taşıma kapasitesi, motorunun markası, kasa özellikleri, süspansiyon sistemleri, tırmanma yetenekleri, tam yükte boşaltma zamanları ve işletmeye teslim süreleri ana kriterler olarak belirlenmiştir. İhaleye sadece iki firma teklif verdiği için bu iki firma ise alternatifler olarak belirlenmiştir.

1.4. Bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (F-TOPSIS)

Bulanık ÇKKV yöntemlerinden biri olan F-TOPSIS, hem nitel hem de nicel karar kriterlerinin derecelendirmesinde kullanılabilen, esnek bir yapısı olan yöntemdir (Chen vd., 2006). Hâlihazırdaki TOPSIS yönteminin bulanık veriler kullanılabilecek şekilde geliştirildiği bu yöntemde, ideal çözüm için gerekli olan yakınlık bulunurken hem pozitif ideal çözüme uzaklık, hem de negatif ideal çözüme uzaklık birlikte değerlendirilir. Yapılacak tercih sıralaması, uzaklıkların karşılaştırılması sonucunda elde edilir. Yani en iyiden (pozitif ideal) en kötü (negatif ideal) noktaların mesafelerini ortaya koyarak alternatiflerin sıralandığı bir yöntemdir (Ignatius vd., 2012). Literatürde birçok yazar tarafından ortaya atılmış farklı bulanık TOPSIS yöntemleri mevcuttur, ancak bu yöntemler içerisinde en çok Chen (2000) tarafından geliştirilen F-TOPSIS yönteminin kullanıldığı görülmüştür. F-TOPSIS yönteminde izlenecek adımlar şu şekilde sıralanabilir; uygun sözel değişkenlerin belirlenmesi, kriterlerin toplam bulanık ağırlıklarının (w_i) belirlenmesi, bulanık karar mat-

risinin oluşturulması, normalize karar matrisinin oluşturulması, ağırlıklı normalize bulanık karar matrisinin oluşturulması, A⁺ ve A⁻ değerlerinin belirlenmesi, her alternatifin A⁺ ve A⁻ değerlerine uzaklığının hesaplanması ve her alternatifin yakınlık katsayısının hesaplanması şeklindedir (Karakışoğlu, 2008).

1.4.1. F-TOPSIS Yönteminin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Madencilik sektöründe F-TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir. Yılmaz ve Alp (2016) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Türkiye'de en fazla iş kazasının meydana geldiği 5 sektördeki kazalara neden olan faktörlerin önem derecesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu sektörlerde çalışan deneyimli uzmanlara yönelik gerçekleştirilen anket çalışmaları sonucunda elde edilen veriler F-TOPSIS yöntemi ile analiz edilerek değerlendirilmiştir. Yazarlar çalışmalarında; eğitim yetersizliği, bakım yetersizliği, önleyici İSG hizmetlerinin yetersizliği, risk değerlendirmesinin yetersizliği, denetim yetersizliği, çalışanların yetersizliği ve iş teftişinin yetersizliği olmak üzere 7 ayrı ana kriter belirlemişlerdir. Söz konusu çalışmada, özellikle inşaat, kömür madenciliği ve tüm sektörlerdeki çalışanların eğitiminin, çalışanların katılımının ve sahadaki periyodik bakımların, risk analizleri ve önleyici iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinden daha önleyici faktörler oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

Mahdevari vd. (2014) İran'daki Kerman kömür ocağında F-TOPSIS yöntemini kullanarak bir risk yönetimi planlaması çalışması yapmışlardır. Çalışmada ana kriterler olarak, jeomekanik, jeokimyasal, elektrik, mekanik, kimyasal, çevresel, kişisel, sosyal, kültürel ve yönetsel riskler belirlenmiştir. En riskli etmenler; ahşap tahkimat, taş vs. parçalarının düşmesi, göçük, arındaki ve tavanındaki duraysızlık problemleri, grizu patlaması, tehlikeli gazların ani degajı, ocak havalandırma sisteminin durması, rampalarda vagonların birbirinden ayrılması, kömür tozu ve zehirli gazlar, yetersiz eğitim ve yönetim anlayışı olarak bulunmuştur. Samantra vd. (2017) tarafından Hindistan'ın doğu kesiminde yer alan bir kömür ocağı için, sektörde her biri 10 yıldan daha fazla deneyime sahip uzmanlardan alınan görüşler doğrultusunda sınırlı mali bütçe içerisinde uygun bir güvenlik yönteminin nasıl belirleneceği araştırılmıştır. F-TOPSIS yönteminin kullanıldığı çalışmada, finansal riskler, operasyonel riskler ve bakım riskleri ana kriterler olarak belirlenmiştir.

Yazdani-Chamzini ve Yakhchali (2012) İran'da önemli su transfer projeleri içerisinde yer alan Zagros dağlarının yüksek kotlarından bazı şehir merkezlerine su temini için açılan Ghomroud tüneline kullanılacak tünel açma makinesi (TBM) seçimini çok kriterli karar verme yöntemleriyle belirlemeye çalışılmışlardır. F-AHP ve F-TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada 9 ayrı ana kriter (arın duraylılığı, kaya kütlesi geçirgenliği, tane boyut dağılımı, güvenlik katsayısı, kazı hızı, yeraltı suyu kontrolü, maliyet, risk ve yüzey oturması) belirlenmiş, ve bu kriterlerin ekipman seçimindeki ağırlıkları tespit edilmiştir. Buna göre en ağırlıklı kriter maliyet olarak belirlenmiştir. Eleren ve Ersoy (2007) F-TOPSIS yöntemini kullandıkları çalışmalarında, blok mermer üretimi yapan ocaklarda kullanılacak alternatif kesme yöntemlerinden en uygununu seçme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, çoklu değerlendirme kriterlerini çevreye etkileri, jeolojik faktörler, güvenlik, birim maliyet, üretim hızı, verimlilik, üretim kalitesi, işletme sermayesi, ilk yatırım maliyeti, işçilik, hazırlık çalışmaları, kalifiye eleman temini, jeolojik karmaşıklık, topoğrafik faktörler ve tabaka yaygınlığı olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda en uygun yöntemlerin sırasıyla kollu kesicilerle kesim, elmas telle kesim ve kimyasal yöntemlerle kesimin olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Fouladgar vd. (2012) İran'daki Ghomroud su iletim tüneli projesindeki riskli parametreleri F-TOPSIS yöntemini kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Ana kriterler olarak sağlık, güvenlik ve çevresel kriterleri ve bunların alt kriterlerini belirlemişlerdir. Kaya düşmesi ve olası göçüklerin en önemli risk unsurları olduğunu tespit etmişlerdir. Gligoric vd. (2010) çalışmalarında, maden kuyusu yeri seçimi işlemini F-TOPSIS yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler; nakliye maliyetleri, toplam geliştirme ve kuyu işletme giderleri ve nakliye sisteminin uygunluğu şeklinde belirlenmiş ve 6 ayrı yer arasından seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Nakliye sisteminin uygunluğunun, seçim işleminde en önemli kriter olduğu sonucuna varılmıştır.

Rahimdel ve Karamoozian (2014) İran Golegozar demir madeninde gerçekleştirdikleri bir çalışmada, birincil kırıcı seçimi işlemini F-TOPSIS yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Maden için döner kırıcı, çift mafsallı kırıcı, tek mafsallı kırıcı, çift merdaneli kırıcı, düşük hızlı kırıcı, darbeli kırıcı, çekiçli kırıcı ve besleyici kırıcı alternatifler olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kapasite, beslenen malzemenin boyutu, ürün boyutu, darbe değeri, aşın-

ma endeksi ve taşınabilirlik ana kriterler olarak belirlenmiştir. Söz konusu işletme için en iyi alternatifin döner kırıcı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

1.5. Diğer ÇKKV Yöntemleri

1.5.1. VIKOR Yöntemi

Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje; Slav kökenli ifadenin baş harflerinin kısaltılmasından oluşan VIKOR yöntemi, ÇKKV sistemlerinin optimizasyonu için geliştirilmiştir (Tzeng ve Huang, 2011). Yöntemin temelinde, alternatifler içerisinde değerlendirme kriterleri yardımıyla optimum bir çözümün oluşturulması vardır. Bu optimum çözüm, ideal çözüme en yakın çözümdür (Chu vd., 2007). Yöntem 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla; en iyi (f_i^+) ve en kötü (f_i^-) fayda kriterlerinin belirlenmesi; alternatif için ortalama (S_j) ve en kötü grup skorları (R_j) değerlerinin hesaplanması; maksimum grup fayda değerlerinin (Q_j) hesaplanması, S_j , R_j ve Q_j değerlerinin küçükten büyüğe sıralanması ve kabul edilebilir avantaj (C_1) ve kabul edilebilir istikrar (C_2) kümelerinin belirlenmesi şeklinde verilebilir.

1.5.2. ELECTRE Yöntemi

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) yöntemi ilk kez 1966 yılında Beneyoun tarafından ortaya atılmış bir ÇKKV yöntemidir. Yöntemin temelinde tercih edilen ve edilmeyen alternatifler arasında üstünlük ilişkisi kurulması vardır (Yücel ve Ulutaş, 2009). Yöntem 8 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; karar matrisinin oluşturulması, normalize karar matrisinin oluşturulması, ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması, uyum ve uyumsuzluk kümelerinin belirlenmesi, uyum ve uyumsuzluk endekslerinin hesaplanması, üstünlük karşılaştırılmasının yapılması, net uyum ve uyumsuzluk endekslerinin hesaplanması ve bu değerlerin küçükten büyüğe sıralanması şeklindedir.

1.5.3. PROMETHEE Yöntemi

"The Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation" olarak ifade edilen PROMETHEE yöntemi, 1982 yılında Brans tarafından geliştirilen ve 1985 yılında da Vincke ve Brans tarafından genişletilen bir ÇKKV sıralama yöntemidir. Yöntemin temelinde birden fazla kritere dayalı olarak alternatifler içerisinde en uygun değerlendirme sonucunu belirlemek yatmak-

tadır (Behzadian vd., 2010). Diğer karar verme yöntemlerinden temel farkı; her bir kriter için ayrı tercih fonksiyonları tanımlayabilmesidir (Bağcı ve Rençber, 2014). Yöntem 7 aşamadan oluşur. Bunlar sırasıyla; alternatif matrislerinin oluşturulması, kriterler için tercih fonksiyonunun belirlenmesi, ortak tercih fonksiyonlarının belirlenmesi, alternatif çiftleri için tercih endeksi oluşturulması, pozitif ve negatif üstünlüklerin belirlenmesi, pozitif ve negatif üstünlüklere göre tercihlerin değerlendirilmesi ve net üstünlük değerinin bulunarak bütün alternatiflerin aynı anda değerlendirmesi şeklindedir.

1.5.4. GRA Yöntemi

Gri İlişkisel Analiz (GRA) yöntemi ilk kez 1982 yılında Profesör Julong Deng tarafından ortaya atılmıştır (Deng, 1989). Bu yöntem ile, iki dizi arasındaki ilişki sayısal olarak hesaplanabilir ve yapılan işlem sonucunda hesaplanan ilişki derecesi gri ilişki derecesi olarak adlandırılır ve "0" ile "1" arasında değerler alır (Feng ve Wang, 2000). Yöntem 6 adımdan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla; karar matrisinin oluşturulması, standartlaştırma işlemi, standartlaştırılmış karar matrisinin ve referans serisinin oluşturulması, fark matrisinin oluşturulması, gri ilişkisel katsayıların hesaplanması ve gri ilişki derecesinin hesaplanmasından ibarettir. Gri ilişki derecesinin her bir alternatif için aldığı değerler büyükten küçüğe sıralandığında alternatifler de en iyiden en kötüye sıralanmış olmaktadır.

1.5.5. Diğer ÇKKV Yöntemlerinin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Bu başlık altında, önceki bölümlerde bahsedilen yöntemler kadar sıklıkla kullanılmayan veya birkaç ÇKKV yönteminin birlikte kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Bakhtavar (2015) çalışmasında İran'ın doğusunda bulunan Tabas yeraltı kömür ocağında kullanılacak mekanize kesici-yükleyici sistemi seçimini VIKOR yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Ana kriterler olarak damar kalınlığı, makinanın uzunluğu, makinanın gücü, makinanın kullanılabilir kesme gücü, kesici tambur çapı ve makina ağırlığı belirlenmiştir. Seçim işleminde en önemli kriterin makinanın gücü ve damar kalınlığı olarak bulunmuştur. Gelvez ve Aldana (2014) çalışmalarında Kolombiya'daki bir yeraltı kömür ocağındaki üretim yöntemi seçimi işlemini AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler olarak, kömür

damarının mekanik özelliklerini, kömür damarının jeolojik ve hidrojeolojik koşullarını, ekonomik unsurları ve teknolojik faktörleri belirlemişlerdir. VIKOR yöntemine göre en uygun üretim yönteminin kes-doldur olduğu; AHP yöntemine göre ise geleneksel uzunayak üretim yöntemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Mobtaker ve Osanloo (2013) çalışmalarında demir madenlerinin kapatılma nedenlerini, son 100 yıl içerisinde kapanan 140 ayrı demir madeninden aldıkları veriler yardımıyla VIKOR yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında ana kriterler olarak cevherin üretim maliyeti, üretim miktarı ve cevherin satış fiyatı şeklinde belirledikleri çalışmalarında, en önemli kapatılma nedeninin rezervin tükenmesi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Soltanmohammadi vd. (2010) çalışmalarında bir demir madeninin tasarım aşamasındaki optimum basamak yüksekliği seçimi işlemini VIKOR yöntemi ile yapmışlardır. Ana kriterler olarak üretim planlaması, üretimdeki kayıplar, işletme maliyeti, kullanılabilirlik, güvenlik ve kullanılan ekipmanların işe uygunluğu kriterlerini belirlemişlerdir. Alternatifler arasında en uygun basamak yüksekliğinin 10 m olarak belirlendiği çalışmada, en önemli ana kriter ise işletme maliyeti olarak belirlenmiştir.

Zhou vd. (2016) Çin'deki Xiaolongtan kömür ocağında madencilik faaliyetlerinin tamamlanmasından sonra üretim yapılan sahanın rehabilitasyon sürecini VIKOR ve F-VIKOR yöntemi kullanarak değerlendirmişlerdir. Ana kriterler olarak maliyet, çevre etkisi, toprağın pH değeri, toprak kalınlığı, azot içeriği, toprağın nemi, duraylılık, rehabilitasyon süresi olarak belirlemişlerdir. Söz konusu saha için alternatifler arasında en uygununun çim plantasyon olduğu, seçim işleminde etkili kriterin ise toprağın pH değeri olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Balusa ve Singam (2017) çalışmalarında bir boksit madeni için yeraltı üretim yöntemi seçimi işlemini PROMETHEE yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler; damar kalınlığı, tavan kayacın RMR değeri, cevher derinliği, cevher yatağının şekli, cevherin RMR değeri, cevherin tenörü, cevherin tekdüzeliği, kazanım oranı, üretim miktarı, taban kayacın RMR değeri, teknoloji kullanımı, üretim derinliği ve üretimdeki kayıplar olarak belirlenmiştir. Çalışmaları sonucunda söz konusu ocakta üretim yöntemi seçim aşamasında tavan kayacın RMR değeri, cevherin tenörü kriterlerinin en önemli kriterler olduğu; geleneksel kes-doldur üretim yönteminin

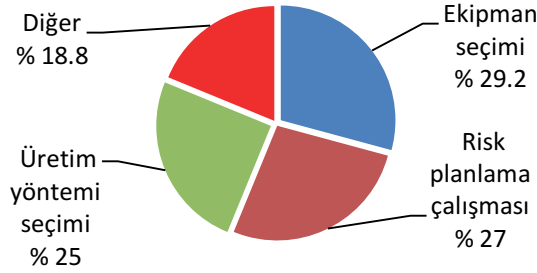
ise en uygun üretim yöntemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Hudej vd. (2013) Slovenya'daki Velenje kömür ocağında açılacak kuyunun yer seçimi işlemini PROMETHEE, ELECTRE, AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmiştir. 4 farklı yer arasından seçim yaptıkları çalışmalarında, termik santral ile çalışabilme, madencilik çalışmalarında ilerleme, jeoteknik koşullar, hidrojeolojik koşullar, altyapı koşulları, yerleşim yeri ve inşaat yatırımları ana kriterleri içerisinde en etkin olanının yerleşim yeri ve inşaat yatırımları kriteri olduğunu tespit etmişlerdir.

Stanujkic vd. (2013) Sırbistan'daki bir tesiste ufalama sürecinde kullanılacak öğütücü seçimini GRA yöntemi ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında, ana kriterler olarak yatırım maliyetleri, enerji maliyetleri, öğütme giderleri, bakım maliyetleri, zaman kullanımı, değerli minerallerin kullanımı ve cevherin uygunluğu kriterlerini belirlemişlerdir. Seçim işleminde en etkin kriterin öğütme işlemi giderleri olduğu, tesis için bilyalı değirmenin en uygun değirmen türü olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bodziony vd. (2016) çalışmalarında bir açık işletmede nakliye kamyonları seçimini ELECTRE yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. 7 farklı alternatif arasından gerçekleştirdikleri seçim işleminde ana kriterler olarak ekonomik kriterler, kamyonların teknik özellikleri, işletme ve güvenlik kriterlerini belirlemişler, en etkin kriterlerin sırasıyla kamyonların teknik özellikleri ve ekonomik kriterler olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

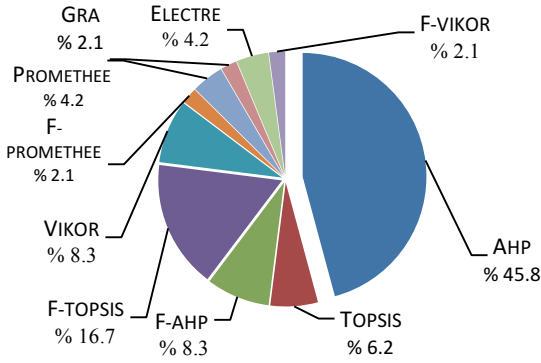
Merad vd. (2004) Fransa'nın Lorraine bölgesindeki üretim faaliyetleri sona ermiş bir yeraltı demir madeninde kazı faaliyetleri sonucunda yeraltında oluşan boşluklardan kaynaklı yeryüzünde meydana gelebilecek tasman hareketini ELECTRE yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Çalışmada, ana kriterler olarak madenin çökmeye karşı duraylılığı ve yüzey duraylılığı ile bu kriterlerin alt kriterlerini göz önünde bulundurarak, en etkin kriterin yüzey duraylılığı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Wang ve Tu (2015) Çin'deki ince kömür damarı madenciliğinde kullanılabilir mekanizasyon sistemi seçimi işlemini AHP ve F-PROMETHEE yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler olarak ekonomik faktörlerin, teknik faktörlerin ve ergonomik faktörlerin belirlendiği çalışmada, seçim işleminde en önemli kriterin teknik faktörler olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Maden için en uygun sistemin önceden belirlenmiş hat boyunca kesim yapan kesici-yükleyici sistemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

1.6. Genel Değerlendirme

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen ÇKKV yöntemlerinin uygulandığı madencilik alanlarının genel bir dağılımı Şekil 6'da verilen grafik üzerinde gösterilmiştir. Buna göre, madencilik sektöründe ÇKKV yöntemlerinin en çok kullanıldığı alanların sırasıyla ekipman seçimi, risk planlama çalışması ve üretim yöntemi seçimi süreçleri olduğu görülmektedir. Şekil 7'de ise bu çalışma kapsamında değerlendirilen toplam 48 adet çalışmadaki kullanılmış olan ÇKKV yöntemlerinin oransal dağılımı gösterilmiştir. Buna göre, madencilik sektöründe en sık kullanılan ilk üç ÇKKV yönteminin sırasıyla AHP, F-TOPSIS ve F-AHP'nin olduğu görülmektedir.



Şekil 6. ÇKKV çalışmalarının konulara göre dağılımları



Şekil 7. ÇKKV yöntemlerinin kullanım sıklığı

Literatürde incelenen çalışmalardan AHP ve TOPSIS yöntemleri arasında iki temel farkın bulunduğu gözlemlenmiştir. AHP'de özellikler ve alternatifler için ikili karşılaştırmalar yapılırken TOPSIS'te bu tür karşılaştırmalar yapılmamaktadır. AHP'de özellikler ve alternatifler arasındaki hiyerarşi (kademe) kullanılırken, TOPSIS'te böyle bir işlem yapılmamaktadır (Kahraman vd., 2007).

AHP ve TOPSIS yöntemlerinin en çok tercih edilmesinin nedenleri şu şekilde sıralanabilir; kulla-

nımlarının kolaylığı, uzmanlardan geniş katılımın sağlanabilmesi, karmaşık, çok özellikli bir problemin çözümünde kullanılabilirlikleri, kararlı ve esnek oluşları, iletişimi kolaylaştırmalarıdır. AHP'de karar vericilerin tercihlerine bağlı tutarlılığın ölçülebilir olması ve görsellik ve zaman tasarrufu açısından çeşitli paket programların kullanılabilir oluşu bu yöntemi diğer yöntemlere göre daha ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca madencilik çalışmalarında diğer sektörlerden farklı olarak seçenekler arasında fark gözetilerek her defasında çok kriterli bir hiyerarşi oluşturulduğu göz önüne alınırsa, ÇKKV yöntemlerinden en uygununun AHP yöntemi olduğu söylenilebilir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu derleme çalışması ile çok kriterli karar verme yöntemlerinin Türkiye'de ve Dünya'da kullanıldığı madencilik sektöründe yapılan çeşitli çalışmalar kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu amaçla en çok kullanılan ve konunun temelini oluşturan yöntemler belirlenmiştir. İncelenen bu yöntemlerin her birinin madencilikte karşılaşılan birçok farklı problemi çözmeye kolaylıkla kullanılacak etkin yöntemler olduğu görülmüştür.

Karar vericiler için karar verme sürecinde ÇKKV yönteminden herhangi birinden faydalanabilmek mümkündür. Ancak, madencilik sektörü belirsizliklerin ve risklerin oldukça fazla görüldüğü, verilen kararlardan geri dönüşün ya mümkün olmadığı veya çok pahalıya mal olduğu bir sektördür. Maden mühendislerinin dâhil olduğu birçok karar verme sürecinde uygun bir karar verme yönteminin seçimi en kısa sürede ve en az hata ile incelenen konu hakkında etkin kararlar almalarında oldukça faydalı olacaktır. İşletmelerde daha çok karar verici pozisyonunda bulunan maden mühendislerince en sık karşılaşılan ve madencilik faaliyetlerinin en kritik aşamasını oluşturan uygun ekipman seçimi işleminin (mermer ocaklarında kesme yöntemi seçiminde veya yeraltında uygun kesici-yükleyici, tahkimat vb. seçiminde) değerlendirme aşamasında daha yüksek doğruluk payı ve daha hızlı hesaplama tekniği ile bu tekniklerin yol gösterici olduğu söylenilebilir. Özellikle karar vericiler açısından oluşturulan modellerin şeffaf olması, bunların anlaşılmasını ve uygulamasını kolaylaştırmaktadır. Yeraltı madenciliğinde olduğu gibi birçok fiziksel, mekanik, ekonomik ve teknik parametrelerin göz önünde bulundurulması gereken durumlar söz konusudur. Ayrıca, bu parametrelerden çoğunun hem niceliksel hem de niteliksel anlamda değişkenlik

ve belirsizlikler içerdiği durumlar da olabilmektedir. ÇKKV yöntemleri yardımıyla bütünlüğü ve nesnelliği koruyarak bu tür durumlar için en iyi alternatifin seçimini daha bilimsel ve teknik bir alt-yapı kullanarak belirlemenin mümkün olduğu görülmüştür. Bu yöntemler sayesinde işletmelerdeki karar vericiler tarafından karar verme sürecinde seçimi yapılmak istenilen alternatifler bahsedilen bütün bu olumsuzluklara rağmen uygun bir şekilde sıralanabilmektedir.

ÇKKV yöntemleri, geleneksel risk değerlendirme yöntemlerine kıyasla daha pratik ve güvenilirdir. Sahadaki uzmanlara risk algılarını olasılık temelli bir değerlendirmeye dayandırmaktan ziyade öznel bir değerlendirme yapabilme imkânı sunmaktadır. Bu nitelikleri ile risk değerlendirme çalışmalarında daha fazla tercih edilmeleri beklenmektedir. Yöntemlerin ayrıca basamak patlatması tasarımında, uygun patlayıcı madde seçiminde, çalışanlara yönelik çalışma ortamındaki tehlike ve risklerin değerlendirilmesi süreçlerinde, üretim çalışmalarının tamamlandığı yeraltı madenlerinde (kaya tuzu ve potas tuzu gibi) oluşan açıklıkların endüstriyel atık depolanmasında kullanımı için yer seçiminde ve yerüstünde atık sahası yeri seçiminde de kullanılabileceği öngörülmektedir. Söz konusu yöntemlerin cevher hazırlama tesisleri için yöntem ve ekipman seçimi süreçlerinde (kırıcı, değirmen, hidrosiklon vb.) yeterince kullanılmaması bir eksiklik olarak gözükmektedir.

ÇKKV yöntemlerinin pek çok avantajına rağmen dezavantajları da söz konusudur. Yöntemlerin uygulama aşamasında görüşüne başvurulacak uzmanların ilgili alanda yeterli düzeyde deneyime sahip olması gerekmektedir. Ayrıca karar alma sürecine dâhil edilecek uzman sayısının bazı durumlarda artırılması da gerekebilmektedir. Bu ise istenen düzeyde bilgi ve beceriye sahip yeterli sayıda uzmanın bulunmasında sıkıntılara neden olabilmektedir. Yöntemlerin bulanık mantık teorisi ile birlikte kullanımı oluşturulacak modellere esneklik kazandırmasına rağmen, bulanık olmayan yöntemlerle kıyaslandığında daha fazla emek ve işlem yükü gerektirmektedir. Buna rağmen ÇKKV yöntemlerinin geleneksel yaklaşımların aksine madencilik sektöründe karşılaşılan birçok farklı problemin çözümünde karar vericiler için son derece faydalı birer araç olmayı sürdüreceği kesindir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Bilimsel Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2016-056.

KAYNAKLAR

- Akın, A., 2015. Açık Ocak İşletmeciliğinde Pasa Döküm Sahasının Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Hacettepe Üniv. FBE, Ankara.
- Alpay, S., Yavuz, M., 2009. Underground Mining Method Selection by Decision Making Tools. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 24 (2), 173-184.
- Alp, S., Engin, T., 2011. Trafik Kazalarının Nedenleri ve Sonuçları Arasındaki İlişkinin Topsis ve Ahp Yöntemleri Kullanılarak Analizi ve Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniv. Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (19), 65-87.
- Ataei, M., 2005. Multicriteria Selection for an Alumina-Cement Plant Location in East Azerbaijan Province of Iran. *J. of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 105 (7), 507-514.
- Azadeh, A., Osanloo, M., Ataei, M., 2010. A New Approach to Mining Method Selection Based on Modifying the Nicholas Technique, *Applied Soft Computing*, 10 (4), 1040-1061.
- Badri, A., Nadeau, S., Gbodossou, A., 2013. A New Practical Approach to Risk Management for Underground Mining Project in Quebec. *J. of Loss Prevention in the Process Indust.*, 26 (6), 1145-1158.
- Bağcı, H., Rençber, Ö. F., 2014. Kamu Bankaları ve Halka Açık Özel Bankaların PROMETHEE Yöntemi ile Kârlılıklarının Analizi. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 38-47.
- Bakhtavar, E., 2015. Determination of Optimum Drum Shearer for Tabas Mine Using Decision Making Process. *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, 919-924.
- Ballı, S., Korukoğlu, S., 2009. Operating System Selection Using Fuzzy AHP and Topsis Methods. *Math. & Comp. Appl.*, 14 (2), 119-130.
- Balusa, B. C., Singam, J., 2017. Underground Mining Method Selection Using WPM and PROMETHEE. *J. of the Institution of Engineers (India): Series D*, 1-7.
- Başçetin, A., 2004. An Application of the Analytic Hierarchy Process in Equipment Selection at Orhanlı Open Pit Coal Mine. *Mining Technology*, 113 (3), 192-199.
- Başçetin, A., Kesimal, A., 1999. Açık İşletmelerde Yükleme-taşıma Sistemi Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım. *Türkiye 16. Madencilik Kongresi*, 57-64.
- Baylan, E. B., 2015. Türkiye'deki Mermer Sektörü Sorunlarının Tespit Edilip Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Önceliklendirilmesi. *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, 825-834.

- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., Aghdasi, M., 2010. PROMETHEE: A Comprehensive Literature Review on Methodologies and Applications. *European Journal of Operational Research*, 200 (1), 198-215.
- Bender, M., Simonovic, S., 2000. A Fuzzy Compromise Approach to Water Resource Systems Planning Under Uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 115 (1), 33-44.
- Bodziony, P., Kasztelewicz, Z., Sawicki, P., 2016. The Problem of Multiple Criteria Selection of the Surface Mining Haul Trucks. *Archives of Mining Sciences*, 61 (2), 223-243.
- Bogdanovic, D., Nikolic, D., Ilic, I., 2012. Mining Method Selection by Integrated AHP and PROMETHEE Method. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 84 (1), 219-233.
- Chang, D.Y., 1996. Extent Analysis and Synthetic Decision. *Optimization Techniques and Applications*, 1 (1), 352-355.
- Chen, S.J., Hwang, C.L., 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision-Making Methods and Applications*. Springer, Verlag, Berlin, s. 536.
- Chen, C. T., 2000. Extensions of the Topsis for Group Decision Making under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114 (1), 1-9.
- Chen, C. T., Lin, C. T., Huang, S. F., 2006. A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management. *Int. J. of Production Economies*, 102 (2), 289-301.
- Cheng-Min, F., Wang R-T., 2001. Considering the Financial Ratios on the Performance Evaluation of Highway Bus Industry. *Transport Reviews*, 21 (4), 449-467.
- Chu, M.T., Shyu, J., Tzeng, G.H., Khosla, R., 2007. Comparison Among Three Analytical Methods for Knowledge Communities Group Decision Analysis. *Expert Systems with Applications*, 33 (4), 1011-1024.
- Çitli N., 2006. *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme*, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniv. FBE, İstanbul.
- Dağdeviren, M., Tamer, E., 2001. Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniv. Mühendislik-Mimarlık Fak. Dergisi*, 16 (2), 41-52.
- Deng, J., 1989. Introduction to Grey System Theory. *The Journal of Grey System*, 1(1), 1-24.
- De-shun, L., Kai-li, X., 2011. Research on the Subjective Weight of the Risk Assessment in the Coal Mine System Based on GSPA-IAHP. *Procedia Engineering*, 26, 1956-1963.
- Eleren, A., Ersoy, M., 2007. Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Madencilik*, 46 (3), 9-22.
- Ersoy, M., 2013. The Role of Occupational Safety Measures on Reducing Accidents in Marble Quarries of Iscehisar Region. *Safety Science*, 57, 293-302.
- Feng, C.M., Wang, R.T., 2000. Performance Evaluation for Airlines Including the Consideration of Financial Ratios. *Journal of Air Transport Management*, 6, 3, 133-142.
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Zavadskas, E. K., 2012. Risk Evaluation of Tunneling Projects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12 (1), 1-12.
- Gelvez, E.J.I.R., Aldana, E.F.A.C., 2014. Mining Method Selection Methodology by Multiple Criteria Decision Analysis-Case Study in Colombian Coal Mining. *Int. Symp. of the Analytic Hierarchy Process*, Washington D.C. U.S.A, 3 (1), 1-11.
- Gligoric, Z., Beljic, C., Simeunovic, V., 2010. Shaft Location Selection at Deep Multiple Orebody Deposit by Using Fuzzy TOPSIS Method and Network Optimization. *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1408-1418.
- Göksu, A., 2008. *Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniv. SBE, Isparta.
- Gupta, S., Kumar, U. 2012. An Analytical Hierarchy Process (AHP) Guided Decision Model for Underground Mining Method Selection. *Int. J. of Mining, Recl. and Environ.*, 26 (4), 324-336.
- Günden, C., Miran, B., 2008. Bulanık Analitik Hiyerarşik Süreci Kullanarak Çiftçi Kararlarının Analizi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Dergisi*, 45 (3), 195-204.
- Güner, M., Yücel, Ö. 2007. Konfeksiyon Üretiminde Temel Kriterlerin Hiyerarşik Modellenmesi İle Üretilen En İyi Ürünün Belirlenmesi. *Gazi Üniv. Mühendislik-Mimarlık Fak. Dergisi*, 22(1), 73-79.
- Hudej, M., Vujic, S., Radosavlevic, M., Ilic, S., 2013. Multi-Variable Selection of the Main Mine Shaft Location. *J. of Mining Science*, 49 (6), 950-954.
- Hyun, K. C., Min, S., Choi, H., Park, J., Lee, I. M., 2015. Risk Analysis using Fault-Tree Analysis (FTA) and Analytic Hierarchy Process (AHP) Applicable to Shield TBM Tunnels. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 49, 121-129.
- Ignatius, J., Mustafa, A., Goh, M., 2012. Modeling Funding Allocation Problems via AHP-Fuzzy TOPSIS. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8 (5), 3329-3340.

- Ishizaka A., Nemery P., 2013. Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software. John Wiley & Sons Ltd, p. 310.
- Kahraman, C., Yasin Ateş, N., Çevik, S., Gülbay, M., Ayça Erdoğan, S., 2007. Hierarchical Fuzzy TOPSIS Model for Selection Among Logistics Information Technologies. *Journal of Enterprise Information Management*, 20 (2), 143-168.
- Karadoğan, A., Başçetin, A., Kahriman, A., Görgün, S., 2001. Bulanık Küme Teorisinin Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Kullanılabilirliği. *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, 95-102.
- Karakaşoğlu, N., 2008. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama. Y. Lisans Tezi, Pamukkale Üniv. SBE, Denizli.
- Kazakidis, V.N., Mayer, Z., Scoble, M.J., 2004. Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process in Mining engineering. *Mining Technology*, 113 (1), 30-42.
- Kun, M., Topaloğlu, Ş., Malli, T., 2013. Evaluation of Wheel Loaders in Open Pit Marble Quarrying by Using the AHP and TOPSIS Approaches. *Archives of Mining Sciences*, 58 (1), 255-267.
- Kurşunoğlu, N., Önder, M., 2014. Yeraltı Maden İşletmelerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Uygun Ventilator Seçimi. *Türkiye 19. Kömür Kongresi, Zonguldak*, 115-122.
- Kurşunoğlu, N., Önder, M., 2015. Selection of an Appropriate fan for an Underground Coal Mine Using the Analytic Hierarchy Process. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 48, 101-109.
- Li, D.F., 2010. Topsis-Based Non-Linear Programming Methodology for Multiattribute Decision Making with Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Set. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 18 (2), 299-311.
- Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H., Gao, C., 2011. Application of The Entropy Weight and TOPSIS Method in Safety Evaluation of Coal Mines. *Procedia Engineering*, 26, 2085-2091.
- Mahdevari, S., Shahriar, K., Esfahanipour, A., 2014. Human Health and Safety Risks Management in Underground Coal Mines Using Fuzzy TOPSIS. *Science of The Total Environment*, 488, 85-99.
- Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., Zaeri, M. S., 2007. Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique. *Int. J. of Human and Social Sciences*, 1 (3), 135-140.
- Merad, M. M., Verdel, T., Roy, B., Kouniali, S., 2004. Use of Multi-Criteria Decision-Aids for Risk Zoning and Management of Large Area Subjected to Mining-Induced Hazards. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 19 (2), 125-138.
- Mobtaker, M. M., Osanloo, M., 2013. Prediction of Iron Ore Mine Closure Causes Under Uncertainty Condition, Using Vikor Technique. In: 6th Int. Conf. on Sustainable Development in the Minerals Industry, 581-588.
- Mohsen, J., Mohammad, A., Farhang, S., Esmaeil, J. S. M., 2009. The Application of AHP Approach to Selection of Optimum Underground Method. Case study: Jajarm bauxite mine (Iran), *Arc. Min. Sci.*, 54 (1), 103-117.
- Nezarat, H., Sereshki, F., Ataei, M., 2015. Ranking of Geological Risks in Mechanized Tunneling by Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP). *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 50, 358-364.
- Naghadehi, M. Z., Mikaeil, R., Ataei, M., 2009. The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP) Approach to Selection of Optimum Underground Mining Method for Jajarm Bauxite Mine, Iran. *Expert Systems with Applications*, 36 (4), 8218-8226.
- Rahimdel, M. J., Karamoozian, M., 2014. Fuzzy TOPSIS Method to Primary Crusher Selection for Goleghar Iron mine (Iran). *J. of Central South Univ.*, 21 (11), 4352-4359.
- Saaty, T.L., 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *J. of Mathematical Psychology*, 15 (3), 234-281.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw Hill.
- Saaty, T. L., 1990. *The Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T., 2000. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T. L., Vargas, G.L., 2001. *Model, Methods, Concepts & Applications of The Analytic Hierarchy Process*. Denmark: Kluwer's International Series.
- Saaty, T.L. 2008. Decision Making with Analytic Hierarchy Process. *Int. J. of Services*, 1 (1), 83-98.
- Samanta, B., Sarkar, B., Mukherjee, S. K., 2002. Selection of Opencast Mining Equipment by a Multi-Criteria Decision Making Process. *Mining Technology*, 111 (2), 136-142.
- Samantra, C., Datta, S., Mahapatra, S. S., 2017. A Risk-Based Decision Support Framework for Selection of Appropriate Safety Measure System for

Underground Coal Mines. *Int. J. of Injury Control and Safety Promotion*, 24 (1), 54-68.

Sanchez, J. D. A., Gomez, A. T., 2003. Applications of Fuzzy Regression in Actuarial Analysis. *The J. of Risk and Insurance*, 70 (4), 665-699.

Shariati, S., Yazdani-Chamzini, A., Bashari, B. P. 2013. Mining Method Selection by Using an Integrated Model. *Int. Research J. of Applied and Basic Sciences*, 6 (2), 199-214.

Shen, L., Muduli, K., Barve, A., 2015. Developing a Sustainable Development Framework in the Context of Mining Industries: AHP approach. *Resources Policy*, 46 (1), 15-26.

Soba, M., K. Eren., 2011. TOPSIS Yöntemini Kullanarak Finansal ve Finansal Olmayan Oranlara göre Performans Değerlendirilmesi, Şehirlerarası Otobüs Sektöründe Bir Uygulama. *Selçuk Üniv. Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 21, 23-40.

Soltanmohammadi, H., Osanloo, M., Sami, A., Malekzadeh, S. B., 2010. Selection of Practical Bench Height in Open Pit Mining Using a Multi-Criteria Decision Making Solution. *J. of Geology and Mining Research*, 2(3), 48-59.

Stanujkic, D., Stojanovic, S., Jovanovic, R., Magdalinovic, N. , 2013. A Framework for Comminution Circuits Design Evaluation Using Grey Compromise Programming. *J. of Business Economics and Management*, 14 (sup1), 188-212.

Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz S.E., 2012. Bulanık AHP ile Belediyelerin Toplu Taşıma Araç Seçimi. *Erciyes Üniv. İİBF Dergisi*, 40, 143-165.

Tzeng, G.H., Huang, J.J., 2011. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. *United States Of America: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC*, p. 352.

Uygurtürk, H., Korkmaz, T., 2012. Finansal Performansın TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Belirlenmesi: Ana Metal Sanayi İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniv. İİBF Dergisi*, 7 (2), 95-115.

Vargas, G. L., 1990. An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications. *European J. of Operational Research*, 48 (1), 2-8.

Wang, C., Tu, S., 2015. Selection of an Appropriate Mechanized Mining Technical Process for Thin-Coal Seam-Mining. *Math. Problems in Engineering*, Article No. 893232.

Yavuz, M., İphar, M., Önce, G., 2008. The Optimum Support Design Selection by Using AHP Method

for the Main Haulage Road in WLC Tuncbilek Colliery. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 23 (2), 111-119.

Yavuz, M., Alpay, S., 2008. Underground Mining Technique Selection by Multicriterion Optimization Methods. *J. of Mining Science*, 44 (4), 391-401.

Yavuz, M., 2008. Selection of Plant Location in the Natural Stone Industry Using the Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Method. *J. of the South African Institute of Mining & Metallurgy*, 108 (10), 641-649.

Yavuz, M., 2011. Bulanık AHP Yöntemi ile Açık Ocak Kamyon Seçimi. *Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Ankara, 63-71.

Yavuz, M., 2015. The Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Yager's method in Underground Mining Method Selection Problem. *Int. J. of Mining, Recl. and Environ.*, 29 (6), 453-475.

Yazdani-Chamzini, A., Yakhchali, S. H., 2012. Tunnel Boring Machine (TBM) Selection Using Fuzzy Multicriteria Decision Making Methods. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 30, 194-204.

Yılmaz, F., Alp, S., 2016. Underlying Factors of Occupational Accidents: The case of Turkey. *Open J. of Safety Science and Techn.*, 6, 1-10.

Yong, D., 2006. Plant Location Selection Based on Fuzzy TOPSIS. *Int. J. Adv. Manuf. Techn.* 28 (7), 839-844.

Yücel, M., Ulutaş, A., 2009. Çok Kriterli Karar Yöntemlerinden Electre Yöntemiyle Malatya'da Bir Kargo Firması İçin Yer Seçimi. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, (17), 327-344.

Zhang G., Zou P.X.W., 2007. Fuzzy Analytical Hierarchy Process Risk Assessment Approach for Joint Venture Construction Projects in China. *J. of Construction Engineering and Management*, 133 (10), 771-779.

Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., 2006. Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling: An Update. *Energy*, 31 (14), 2604-2622.

Zhou, W., Yin, W., Peng, X., Liu, F., & Yang, F., 2016. Comprehensive Evaluation of Land Reclamation and Utilisation Schemes Based on a Modified VIKOR Method for Surface Mines. *Int. J. of Mining, Recl. and Environ.*, 1-16.



Derleme / Review

TİYOSÜLFAT LIÇİ: YÜKLÜ LIÇ ÇÖZELTİLERİNDEN ALTIN KAZANIMI VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR – BÖLÜM II

THIOSULPHATE LEACHING: RECOVERY OF GOLD FROM PREGNANT LEACH SOLUTIONS AND INDUSTRIAL APPLICATIONS – PART II

Fırat Ahlatcı^{a,*}, Ersin Y. Yazıcı^{a,**}, Oktay Celep^{a,***}, Hacı Deveci^{a,****}

^a Hydromet B&PM Araştırma Grubu, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı, Maden Müh. Böl., Karadeniz Teknik Üniversitesi, TRABZON

Geliş Tarihi / Received : 24 Mayıs / May 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 25 Temmuz / July 2017

Anahtar Sözcükler:

Tiyosülfat,
Yüklü liç çözeltisi,
Altın/gümüş,
Çözelti saflaştırma ve
metal kazanımı.

Keywords:

Thiosulphate,
Pregnant leach solution,
Gold/silver,
Solution purification and
metal recovery.

ÖZ

Düşük çevresel etki, yüksek seçicilik ve hızlı liç kinetiği gibi avantajlara sahip olmasının yanı sıra tiyosülfat liç; belirli refrakter cevherlerden altın kazanımında da yüksek performans göstermektedir. Ancak, tiyosülfat liçinin ticarileşmemesinin önündeki önemli engellerin başında karmaşık liç kimyası ve çözelti saflaştırma/metal kazanımı aşamasında yüksek etkinlikte uygun bir yöntem geliştirilememiş olması gelmektedir. Bu çalışmada, yüklü tiyosülfat çözeltilerinden altın kazanımı için önerilen mevcut yöntemler ve bu yöntemlerin avantaj/dezavantajları irdelenmiştir. Sülfür tuzlarıyla çöktürme ve sementasyon yöntemlerinin uygulandığı pilot ölçekli tesislerin akım şemaları uygulama koşulları ile beraber sunulmuştur. Tiyosülfat liçinin (liç içinde reçine (iyon değişimi) + elektro-kazanım) ticari/endüstriyel ilk ve tek uygulaması olan ve 2015 yılında Barrick Gold şirketi tarafından refrakter bir altın cevheri için geliştirilen prosesin özellikleri akım şeması ile birlikte açıklanmıştır. Prosesteki önemli teknik zorlukların başında reçineden metallerin sıyırma işlemi gelmektedir. Tiyosülfat liçinin endüstriyel olarak yaygınlaşabilmesi için daha etkin ve ekonomik çözelti saflaştırma/metal kazanımı tekniklerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

ABSTRACT

Thiosulphate leaching offers several advantages over cyanidation such as low toxicity, high selectivity and fast leaching kinetics as well as it provides high extraction performance for gold in certain refractory ores. However, the main obstacles for commercialisation of thiosulphate leaching are its complex leach chemistry and lack of a highly efficient and reliable method for solution purification and metal recovery stage. In this study, a state-of-the art review of proposed methods for recovery of gold from pregnant thiosulphate solutions and their advantages/disadvantages is presented. Flowsheets of the pilot scale plants with conditions for practical application are presented in which the methods of precipitation with sulphide salts and cementation are employed for gold recovery from leach solutions. In addition, the features and flowsheet of the first and unique commercial/industrial application of thiosulphate leaching process (resin in leach (ion exchange) + electro-winning) developed by Barrick Gold Co. and commissioned in 2015, are given. One of the main technical challenges encountered in the process is at the stage of resin elution. Development of more efficient and economic techniques for solution purification/metal recovery is of practical importance for widespread industrial utilisation of thiosulphate leaching.

* Sorumlu yazar: firatahlatci@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-4751-4725>

** eyazici@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-8711-0784>

*** ocelep@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9024-4196>

**** hdeveci@ktu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-4105-0912>

GİRİŞ

Birçok teknik ve ekonomik avantajlarından dolayı Dünya'da altın üretiminde en yaygın olarak uygulanan yöntem siyanür liçidir (Marsden ve House, 2006; Akçil vd., 2007; Eugene ve Mujumdar, 2009; Xu vd., 2015). Ancak, özellikle son yıllarda siyanürün çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden dolayı siyanür kullanımına kısıtlama ve yasaklar getirilmektedir (Avrupa Birliği, 2013; Euromines, 2015; DST, 2014; E&MJ, 2012). Bu nedenle altın üretiminde teknik ve ekonomik açılardan siyanür liçi ile yarışabilen uygun alternatif yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Altın kazanımında siyanüre alternatif birçok reaktif test edilmiştir (Aylmore, 2005, 2016). Bu reaktifler arasında tiyosülfat, daha düşük toksik etkisi, hızlı liç kinetiği ve siyanür liçinin etkin olmadığı bazı refrakter altın cevherlerinde (karbonlu ve/veya bakırlı cevherler gibi) yüksek performans göstermesinden dolayı önemli teknik avantajlara sahiptir (Aylmore ve Muir, 2001; Marsden ve House, 2006; Zhang ve Senanayake, 2016). Tiyosülfat liçi ilk kez 19. yy'da Von Patera Prosesi ile uygulanmış ve günümüze kadar laboratuvar/pilot ölçekte test edilmiştir (Aylmore, 2016; Arima vd., 2002; Fleming vd., 2001; Fujita vd., 2003; Meng vd., 2013). Birçok araştırmacı farklı özellikteki cevherlerden altın/gümüş kazanımında tiyosülfat liçini test etmiş ve parametrelerin (reaktif konsantrasyonları ve organik/inorganik katkı maddeleri) liç performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir (Aylmore ve Muir, 2001; Aazami vd., 2014; Molleman ve Dreisinger, 2002; Senanayake, 2004; Zhang ve Senanayake, 2016). Bugüne kadar farklı şirketler tarafından laboratuvar/pilot/demonstrasyon çapta farklı tiyosülfat liçi prosesleri geliştirilmiştir (Aylmore, 2016). İlk endüstriyel tiyosülfat liçi prosesi (liç içinde reçine (RIL) + iyon değişimi) Barrick Gold (2015b, 2016) tarafından uygulanmaya başlamıştır. Tiyosülfat liçinin günümüze kadar endüstriyel ölçekte uygulama şansı bulamamasındaki en önemli nedenlerden birisi olarak yüklü çözeltilerin saflaştırılması ve altın kazanımı için teknik ve ekonomik açıdan uygun, etkin bir yöntemin geliştirilememesi gösterilmektedir (Dai vd., 2013).

Bu çalışmada, yüklü tiyosülfat çözeltilerinden metal kazanımı ve çözelti saflaştırma amacıyla önerilen yöntemler tartışılmıştır. Yöntemlerin birbirlerine göre üstünlükleri ve olumsuz yönleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, laboratuvar, pilot ve endüstriyel ölçekte geliştirilen farklı tiyosülfat liçi prosesleri akım şemaları ile birlikte sunulmuştur.

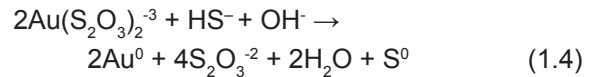
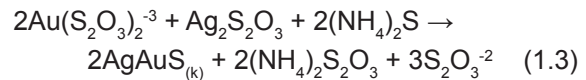
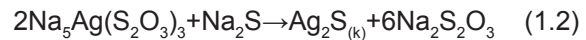
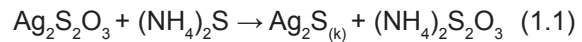
Proseslerin teknik özellikleri ve uygulama koşulları da açıklanmıştır.

1. ÇÖZELTİ SAFLAŞTIRMA VE METAL

KAZANIMI YÖNTEMLERİ

1.1. Sülfür Tuzları ile Çöktürme

Bu yöntemde sülfür kaynağı olarak CaS, Na₂S, NaHS, (NH₄)₂S ve Na₂S gibi sülfür tuzları kullanılabilir. Ortam pH'sına bağlı olarak sülfür H₂S(g) (<pH 9,5), HS⁻ (pH 9-15) ve S⁻² (yüksek alkali koşullarda) halinde baskın olarak bulunmaktadır (Gupta ve Mukherjee, 1990; Lewis, 2010). Tiyosülfat liçi koşullarında bisülfid iyonu (HS⁻) halinde bulunan sülfür, çözeltideki altın/gümüş (ve diğer metaller) ile çözünürlüğü düşük bileşikler oluşturabilmektedir (Eşitlik 1.1-1.3). Sülfür ile çöktürme yönteminde reaksiyon hızı ve tanelerin çökme hızı yüksektir. Yöntemin uygulanmasında <pH 9,5 koşullarında zararlı H₂S gazı açığa çıkacağından sülfür ilavesinin kontrollü bir şekilde yapılması gerekmektedir (Lewis, 2010). Diğer bir dezavantajı da gümüş sülfür çökeleklerinin ince yapısından dolayı filtrasyonun zor olmasıdır (Lewis, 2010; Xia, 2008). Elde edilen çökelek doğrudan eritme işlemine tabi tutulabilir. Çözeltide gümüş olmadığına altının altın-sülfür halinde çöktüğü ancak gümüş varlığında ise gümüş ile beraber bileşik oluşturduğu öne sürülmektedir (O'Malley, 2002). Altın, indirgeyici ortamda metalik olarak da çökelebilir (Eşitlik 1.4). West-Sells ve Hackl (2005) yaptığı çalışmada, tiyosülfat çözeltisine amonyum sülfür ((NH₄)₂S) ilavesi ile altının çöktürülmesini araştırmış ve altının çökelekte sadece metalik halde bulunduğunu XRD analizi ile doğrulamıştır.



Sülfür tuzları ile çöktürme yöntemi, tiyosülfat liçinin ilk uygulaması olan Von Patera prosesinde tiyosülfat çözeltisinden gümüşün kazanılması amacıyla kullanılmıştır (O'Malley, 2002; Xia, 2008; Zhang ve Senanayake, 2016). Literatürde farklı araştırmacılar (Ahlatcı vd., 2016; Lucheva vd., 2015) amonyaklı tiyosülfat liçi çözeltilerinden altın/gümüş kazanımını araştırmışlardır. Lucheva vd. (2015), çinko kekinin amonyaklı tiyosülfat

liçi sonrası elde edilen yüklü liç çözeltisinden (26 mg/L Ag, 70 mg/L Cu, 4,65 g/L Zn, 0,64 g/L Pb ve 1,81 g/L Fe), Na₂S ile uygun koşullarda (ΣMetal:S oranı ≤0,74) gümüşün ve çinkonun tamamını çöktürmüştür. Yeni bir çalışmada, Ahlatcı vd. (2016) piritik bir altın/gümüş cevherlerinin amonyaklı tiyosülfat liçinden (0,1 M S₂O₃, 1,5 M NH₃, pH 9,5-10) elde ettiği yüklü liç çözeltisinden (9,5 mg/L Au, 2,24 mg/L Ag, 269 mg/L Cu, 636 mg/L Zn) altın ve gümüşün Na₂S (2,0-24,2 mM) ile kazanımını araştırmışlardır. Test edilen en yüksek Na₂S konsantrasyonunda (24,2 mM) gümüşün tamamının, altının ise %35'inin kazanılabileceğini göstermişlerdir. Aynı koşullarda bakırın %83,7, çinkonun ise %36,6'sının çöktüğünü bildirmişlerdir.

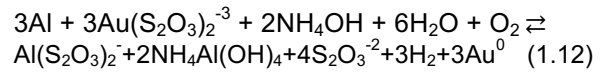
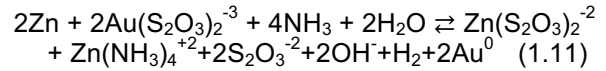
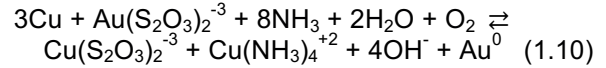
1.2. Metal Tozları ile Çöktürme (Sementasyon)

Sementasyon işleminde, çözeltide bulunan metale göre daha aktif (yükseltgenmeye daha yatkın; aktif) bir metal toz/granül halinde eklenir. Çözeltideki metal (örn. Au/Ag) indirgenerek metal tozunun yüzeyine metalik halde çöker ve aynı zamanda daha aktif olan metal de çözünür (yükseltgenir) (Gupta ve Mukherjee, 1990). Altının sementasyon ile kazanımında, indirgenme potansiyelleri altından düşük (yükseltgenmeye daha yatkın) olan bakır, demir, çinko ve alüminyum tozları (Eşitlik 1.5-1.9) kullanılabilir (Eşitlik 1.10-1.12) (Arima vd., 2002 ve 2004; Gámez ve de la Torre, 2015; Guerra, 1997; Hiskey ve Lee, 2003; Karavasteva, 2010; Navarro vd., 2004; Wan vd., 1994).



Sementasyon yönteminin en önemli dezavantajı aktif metalin çözünmesi nedeniyle çözeltinin safsızlık içeriğinin artmasıdır. Tiyosülfat liçinde ba-

kır katalizör olarak rol aldığı için sementasyon işleminde metalik bakır kullanılması avantaj olabilir. Metal tozlarının yüzeyinde oluşan oksit tabakası sementasyon etkinliğini azalttığı için asitle muamele edildikten sonra kullanılmalıdır (O'Malley, 2002; Wan vd., 1994). Alüminyum diğer metallerle göre en düşük indirgenme potansiyeline sahip olmasına rağmen tiyosülfat ortamındaki düşük çözünürlüğünden dolayı sementasyon etkinliği düşüktür (Karavasteva, 2010; O'Malley, 2002). Karavasteva (2010), amonyaklı tiyosülfat çözeltilerinden altının Mg, Zn, Al, Fe ve Cu ile sementasyonunu karşılaştırmış ve alüminyumun en düşük sementasyon hızına ve çözünme oranına sahip olduğunu belirlemiştir (Çizelge 1). Bu araştırmacılar, sementasyon hızı en yüksek metalin bakır olmasına rağmen metal sarfiyatları da göz önüne alındığında sementasyon için en uygun metalin çinko olduğunu belirtmiştir (Çizelge 1). Tiyosülfat çözeltilerinden altının bakır, çinko ve alüminyum ile sementasyon tepkimeleri Eşitlik 1.10-1.12'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi (Eşitlik 1.10-1.12) 1 mol altını çöktürmek için 3 mol Cu ve 1 mol Zn/Al gerekmektedir (Arima vd., 2002).



Berezowsky ve Sefton (1979) yüklü tiyosülfat liçi çözeltisinden (2,20 mg/L Au, 36,8 mg/L Ag ve 6,76 g/L Cu, pH 10,2) Au/Ag kazanımı için çinko tozu (2-10 g/L Zn) ile sementasyon yöntemini doğrudan ve ön işlem (SO₂ ile indirgeme) sonrası test etmiştir. Doğrudan sementasyon uygulandığında yüksek Zn ilavesiyle (≥6 g/L) yüksek metal kazanımları (<%98 Au, %94,8 Ag ve %99,9 Cu) elde edilmiştir. Bununla beraber, SO₂ ile indirgeme (pH 8) sonrası sementasyon uygulandığında düşük

Çizelge 1. Amonyaklı tiyosülfat liç çözeltilerinden altının sementasyonu (0,4 M (NH₄)₂S₂O₃; 1 M NH₄OH; 24 mg/L Au; 30°C; pH 9,5-9,7; metal tane boyutu: -100+50 µm) (Karavasteva, 2010)

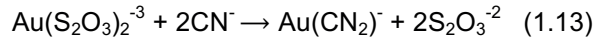
| Bulgular | Metaller | | | | |
|--|----------|------|------|------|------|
| | Cu | Zn | Mg | Fe | Al |
| Sementasyon Hızı (10 ³ , dk ⁻¹) | 3,30 | 2,92 | 2,19 | 1,03 | 0,10 |
| Çözünme Oranı (%) | 30,3 | 22,4 | 18,6 | 10,2 | 0,3 |
| Metal sarfiyatı (mol metal/mol Au) | 50,0 | 36,6 | 31,7 | 22,2 | 3,8 |

Zn ilavesinde (2 g/L) bile yüksek Au (>%98) ve Ag (%94,8) kazanımları elde edilmiştir (%49 Cu). Bu durum, çözeltide büyük oranda kuprik (Cu(II)) halinde bulunan bakırın kuprus (Cu(I)) formuna indirgenmesi ve kuprusun ($E_{\text{Cu(I)/Cu}} = +0,52 \text{ V}$) kuprike ($E_{\text{Cu(II)/Cu}} = +0,34 \text{ V}$) göre daha yüksek indirgenme potansiyeline bağlı olarak bakırın sementasyonunun engellenmesine (ve Zn tüketiminin azalmasına) bağlanmıştır (Berezowsky ve Sefton, 1979). Navarro vd. (2004) amonyaklı tiyosülfat çözeltilerinden altının çinko ile sementasyonunda tiyosülfat, Cu(II) ve Zn(II) konsantrasyonlarının artışının sementasyonu olumsuz etkilediğini, pH, sıcaklık ve amonyak konsantrasyonundaki artışın ise altın kazanımını arttırdığını göstermişlerdir.

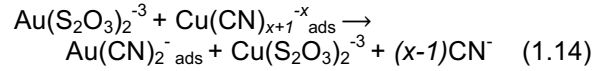
Potansiyel metaller arasında sadece bakır, pilot ölçekte yığın liçi çözeltilerinden altının sementasyonunda kullanılmıştır (Dunne vd., 2009; Wan ve LeVier, 2003). Bakırın tercih edilmesinin önemli bir nedeni, liç sisteminde katalizör olarak kullanıldığı için çözeltinin bakır dışında bir metal ile kirlenmesini önlemektedir. Ancak, yüksek miktarda bakır kullanımı proses ekonomisi ve liç verimine olumsuz yönde etki etmektedir. Yüksek bakır konsantrasyonu tiyosülfatın bozunmasını/tüketimini artırmakta ve boş çözeltinin liç aşamasında tekrar kullanımını sınırlamaktadır (Arima vd., 2002).

1.3. Aktif Karbon Adsorpsiyonu

Aktif karbonun farklı altın-ligand komplekslerini adsorpsiyon eğilimi $\text{AuCl}_4^- > \text{Au}(\text{CN})_2^- > \text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-} > \text{Au}[\text{CS}(\text{NH}_2)_2]^- > \text{Au}_2(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}$ şeklinde sıralanmaktadır (Marsden ve House, 2006). Altın-tiyosülfat kompleksinin aktif karbona adsorpsiyon eğilimi çok düşük olduğu için bu yöntem, tiyosülfat çözeltilerinden doğrudan altın kazanımı için uygun değildir. Abbruzzese vd. (1995) yüksek tiyosülfat çözeltisinden altının aktif karbon ile adsorpsiyonunu araştırmış ve çok yüksek karbon miktarında (60 g/L) yüksek altın kazanımına (%95 Au, 6 saat) ulaşabilmiştir. Gámez ve de la Torre (2015) tiyosülfat çözeltilerinden aktif karbon ile altın adsorpsiyonunun sınırlı (%40 Au) olduğunu bulmuşlardır. Altın-siyanür kompleksinin kararlılığı ($\text{Au}(\text{CN})_2^-$; $\log K=39,3$) altın-tiyosülfat'a ($\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}$; $\log K=24-28$) göre daha yüksek olduğu için (Marsden ve House, 2006; Zhang ve Senanayake, 2016) tiyosülfat çözeltisine siyanür ilave edilerek altının siyanür kompleksleri halinde (Eşitlik 1.13) aktif karbona etkin bir şekilde adsorpsiyonu sağlanabilmektedir (Yen ve Liu, 2014).

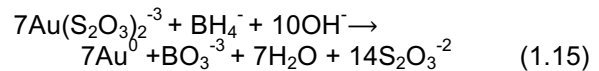


Yüksek tiyosülfat liçi çözeltilerinden altının kazanımında siyanür ilave ederek kolon içinde karbon (CIC) yöntemi uygulanabilir. Ancak, bu yöntemin, tiyosülfatın geleneksel siyanür liçine alternatif olarak kullanılabilmesi için uygulanması mümkün değildir (O'Malley, 2002). Aktif karbon adsorpsiyonunun tiyosülfat çözeltilerinde uygulanabilirliğini arttırmaya yönelik çalışmalarda (Parker vd., 2008; Young vd., 2008), bakır-siyanür adsorbe edilmiş aktif karbonlar ile daha yüksek altın kazanımlarına ulaşılabileceği bulunmuştur (Eşitlik 1.14).



1.4. İndirgeyici Çöktürme

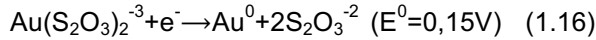
Bu yöntemin temel prensibi, tiyosülfat çözeltisine uygun indirgeyici bir reaktif ilave edilerek altının metalik halde çöktürülmesine dayanmaktadır. Tiyosülfat çözeltilerinden altın ve gümüşün indirgenmesi için ditiyonat (Juárez-López vd., 2017), sodyum (NaBH_4) veya potasyum (KBH_4) borhidrür kullanılabilir (Awadalla ve Ritcey, 1993; Groves ve Blackman, 1995). Altının tiyosülfat çözeltilerinden borhidrür ile metalik hale indirgenmesi Eşitlik 1.15 ile ifade edilmektedir (O'Malley, 2002). Awadalla ve Ritcey (1993) tiyosülfat, tiyosiyanat ve tiyosülfat çözeltilerinden altının NaBH_4 ile çöktürülmesini çalışmış ve tiyosülfat çözeltilerinden çöktürme için en uygun pH'nın 6 olduğunu belirlemiştir. Yöntemin önemli dezavantajı çözeltide bulunan demir(II), kobalt, nikel ve özellikle bakır gibi safsızlıkların da çökmesi ve altın kazanımını ve çökeleğin saflığını olumsuz yönde etkilemesidir. Çinkonun altının çökmesine bir etkisi olmadığı belirlenmiştir (Awadalla ve Ritcey, 1993). Tiyosülfat çözeltilerinden altını indirgemek için hidrojen gazı da (300-363 psi, 95°C) test edilmiştir (Deschenes ve Ritcey, 1990). Fakat bu işlem için kullanılan basınç reaktörlerinin maliyeti yüksektir. Çöktürme işleminde katalizör olarak nikel veya platin kullanılması gerekmektedir (Deschenes ve Ritcey, 1990).



1.5. Elektro-kazanım

Elektro-kazanım yöntemi geleneksel olarak siyanür liçi ve adsorpsiyon sonrası yüksek aktif karbon-

ların sıyırma çözeltilerinden (tipik 100-1000 mg/L Au) altın kazanımında kullanılmaktadır (Habashi, 1999; Marsden ve House, 2006; Yannopoulos, 1991). Bu yöntem tiyosülfat liçi ve takip eden çözelti saflaştırma ve metal kazanımı aşamalarından sonra yüklü çözeltiden altın kazanımında da kullanılabilir. Elektro-kazanım ile tiyosülfat çözeltilerinden altın kazanımı (Eşitlik 1.16), siyanür çözeltilerine göre daha hızlı gerçekleşmektedir (Abbruzzese vd., 1995; O'Malley, 2002). Yöntem, altın içeriği yüksek ve safsızlık içeriği düşük çözeltilerde daha iyi performans göstermektedir (Aylmore ve Muir, 2001). Yüklü tiyosülfat çözeltisindeki bakır katotta indirgenerek safsızlığı artırmakta ve altın kazanma verimini düşürmektedir (Andrew vd., 2003). Gümüş de altınla beraber katotta toplanmaktadır ($E^0(\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{-3}/\text{Ag}^0)=0,01 \text{ V}$) (Abbruzzese vd., 1995; O'Malley, 2002). Ayrıca tiyosülfatın anot-katot reaksiyonları sonucunda bozunması, akım verimini etkilemektedir (Aylmore ve Muir, 2001). Anotta tiyosülfatın oksitlenmesi ile oluşan ve çözeltide biriken tetratiyonatın yeniden tiyosülfata dönüştürülmesi gerekmektedir (Aylmore, 2016). Elektro-kazanım işlemi boyunca tiyosülfat sülfüre (S^{-2}) indirgenebilir ve altının sülfür bileşiği halinde katot yüzeyinde çökmesine neden olabilir (Aylmore, 2016; Dai vd., 2013; Gámez ve de la Torre, 2015).



Gámez ve de la Torre (2015) amonyaklı tiyosülfat liçi çözeltisinden elektroliz yönteminde (0,4 V, 1 saat) sodyum sülfür (0,1 M Na_2SO_3) ilavesinin altın-sülfür bileşiği oluşumunu engellediğini ancak altın kazanımını %28'den %25'e düşürdüğünü bulmuşlardır. Bu araştırmacılar, düşük altın kazanımlarını (%25-28), anot ve katotta meydana gelen yan reaksiyonlara bağlamışlardır. Abbruzzese vd. (1995) yüklü tiyosülfat çözeltisinden (15,8 mg/L Au ve 0,8 g/L Cu) %99 verimle altını katotta kazanmışlardır. Jeffrey vd. (2010) altın-tiyosülfat yüklü reçinenin sıyırma aşamasını takiben bu çözeltiden (317 mg/L Au, 7,32 mg/L Cu) altını %99,95 verimle katotta kazanmıştır. Altın ile beraber bakırın da büyük oranda (%98,6) katotta toplandığı belirlenmiştir (Jeffrey vd., 2010).

1.6. Solvent Ekstraksiyon

Solvent ekstraksiyon yöntemi ile yüklü tiyosülfat çözeltisinden altın kazanımı ancak berrak ve yüksek altın/gümüş konsantrasyonuna sahip çözeltilere uygulanabilmektedir (Aylmore, 2016). Zhao

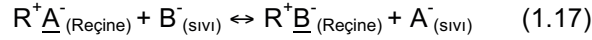
vd. (1997) sentetik altın-tiyosülfat çözeltisinden alkali fosfor ester (tribütilfosfat, TBP) ile alkali koşullarda (pH 10-12) yüksek altın kazanımları elde etmişlerdir. Tiyosülfat konsantrasyonundaki artışın (0,2 M'dan 0,8 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 'a kadar) olumlu etkisinin olduğu; ancak, daha yüksek konsantrasyonlarda altın kazanımını olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Kejun vd. (2004) sentetik tiyosülfat çözeltisinden (4,9-325 mg/L Au) altın kazanımında trioktilmetilamonyum klorür (TOMAC) reaktifini farklı seyrelticiler (*n*-oktan, kerosen ve benzen) ile beraber kullanmışlardır. pH 5,5-10,5 aralığında normal koşullarda yüksek altın kazanımlarına (%99) ulaşmışlardır. Çözeltide Ag, Cu ve Pb bulunması durumunda düşük pH'larda (pH 3) yüksek Au/Ag kazanımı (%99) gerçekleşir iken, pH'nın artmasıyla seçiciliğin arttığı gözlenmiştir. İdeal pH'da (10,2) altının %99,9 verimle, gümüş (kazanım yok) ve bakırdan (%3,6 Cu) seçimli olarak kazanıldığı; ancak kurşunun %72,6'sının organik faza transfer edildiği bildirilmiştir. Fujita vd. (2003) ise aynı reaktif ve seyrelticileri kullanarak yaptığı çalışmada (0,180 M TOMAC) tiyosülfat konsantrasyonundaki artışın (0,2 M'dan 1 M'a) ve çalkalama süresinin altın kazanımına etkisini incelemiştir. Buna göre tiyosülfat konsantrasyonunun artışı altın kazanma verimini olumlu yönde etkilerken, çalkalama süresinin artması ile 30 dk.'da bütün koşullarda maksimum (%100) altın kazanımına ulaşıldığını tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada, seyreltici reaktiflerin (*n*-oktan, kerosen ve benzen) ve karıştırma süresinin altın kazanımına etkileri incelenmiş ve ilk 10 dk.'nın sonunda her üç seyrelticinin de bulunduğu koşullarda %99 altın kazanımına ulaşılmıştır. Ancak yaklaşık 15. dk'dan sonra benzen içeren testte altının zamanla çöktüğünü ve 60 dk.'nın sonunda verimin sıfır olduğunu tespit etmişlerdir.

1.7. İyon Flotasyonu

İyon flotasyonu da alternatif olarak yüklü liçi çözeltilerinden altın-tiyosülfat komplekslerinin kazanılması için kullanılabilir (Gámez ve de la Torre, 2015; Zouboulis, 1995). Gámez ve de la Torre (2015) toplayıcı olarak Aliquat (quaterner amin) kullanarak yüklü tiyosülfat çözeltisinden iyon flotasyonu ile altını %84 verimle (pH 10, 40 dk.) kazanmışlardır. Zouboulis (1995) sentetik ve gerçek tiyosülfat çözeltilerinden gümüşün iyon flotasyonu ile kazanımında dodesilamin (katyonik yüzey aktif madde) ve etanol (köpürtücü) kullanmış ve pH 4'de uygun koşullarda gümüşün tamamının kazanılabileceğini göstermişlerdir.

1.8. İyon Değişimi

İyon değişimi, katı ve sıvı faz arasındaki iyonların değişimi esasına dayanır. Reçineler, gözenekli ve çözünmez bir yapıya sahiptirler. İyon değişimi, yapılarında kalıcı değişikliğe neden olmaz. Reçinenin boyutları aktif karbondan daha incedir ve adsorpsiyon kapasiteleri daha yüksektir. İyon değişimi reaksiyonu Eşitlik 1.17'de gösterilmiştir (Atluri, 1987; O'Malley, 2002):



Burada; $R^+ \underline{A}^-$: Anyonik reçinelerdeki fonksiyonel grup, R^+ : Fonksiyonel gruptaki sabit iyon, \underline{A}^- : Reçine içerisindeki değişebilir anyon, B^- : Çözelti içerisindeki değişebilir anyon (karşı iyon), \underline{B}^- : Reçineye adsorbe olan iyon ve A^- : Çözelti içerisine geçen iyonur.

İyon değiştirici reçineler temelde anyonik ve katyonik olmak üzere iki gruba ayrılır. Anyonik reçineler, yüklü çözeltilerde anyonik kompleksler ($Au(CN)_2^-$, $Au(S_2O_3)_2^{3-}$ vb.) halinde bulunan metallerin adsorpsiyonu için kullanılırlar. Tiyosülfat çözeltilerinden altın kazanımı için anyonik reçine grubunda bulunan zayıf ve kuvvetli bazik reçineler kullanılmaktadır. Genellikle geniş pH aralığında çalışma imkanından ve yüksek adsorpsiyon kapasitelerinden dolayı kuvvetli bazik reçineler tercih edilmektedir (Nicol ve O'Malley, 2002). Tiyosülfat çözeltilerinden altın kazanımında test edilen bazı anyonik reçinelerin türleri ve ticari isimleri Çizelge 2'de verilmiştir. İyon değişimi yöntemi, RIP (pulp içinde reçine) ve RIL (liç içinde reçine) olarak iki şekilde uygulanabilmektedir (Grosse vd., 2003; Zhang ve Dreisinger, 2002). İyon değişimi yöntemi, potansiyel yöntemler içinde tiyosülfat liç çözeltilerinden altın kazanımı amacıyla endüstriyel uygulama alanı bulan tek yöntemdir (Gorain vd., 2016; McKown, 2015). Bununla beraber, iyon değişimi önemli teknik dezavantajlara (özellikle sıyırma aşamasında vd.) sahiptir (Jeffrey vd., 2010).

Çözeltide bulunan iyonlar adsorpsiyon işlemini etkileyebilmektedir. Tiyosülfat ve sülfat iyonlarının reçineler üzerinde fazla etkisi yoktur. Ancak, çözeltilerde tiyosülfatın bozunma ürünü olarak bulunan tritiyonat ($S_3O_6^{2-}$) ve tetratyonat ($S_4O_6^{2-}$) gibi politiyonatlar, altın-tiyosülfat kompleksi ($Au(S_2O_3)_2^{3-}$) ile yarışarak altının anyonik reçinelere adsorpsiyonunu zorlaştırmaktadır (Fleming vd., 2002; O'Malley, 2002; Yen ve Liu, 2014). Tipik tiyosülfat liç çözeltilerindeki politiyonat konsantrasyonu ~1 g/L'dir. Reçine üzerine etkin bir adsorpsiyon için politiyonat konsantrasyonunun 0,1 g/L'den düşük olması gerektiği belirtilmiştir (Zhang ve Senanayake, 2016). Bunun dışında, bakır-tiyosülfat kompleksleri ($Cu(S_2O_3)_3^{5-}$) dahil olmak üzere çözeltilerdeki diğer metal-tiyosülfat kompleksleri de altının adsorpsiyonunu olumsuz etkilemektedir (Fleming vd., 2001; O'Malley, 2002; Fleming, 2008).

1.8.1. Reçinelerden altının sıyırılması

İyon değişimi yönteminin uygulanmasında karşılaşılan en büyük zorluk, sıyırma aşamasında karşılaşılan sorunlardır (Jeffrey vd., 2010). Farklı araştırmacılar tarafından değişik sıyırma çözeltileri test edilmiştir. Çizelge 3'te sıyırma işlemi için test edilen farklı çözelti sistemleri ve özellikleri sunulmuştur.

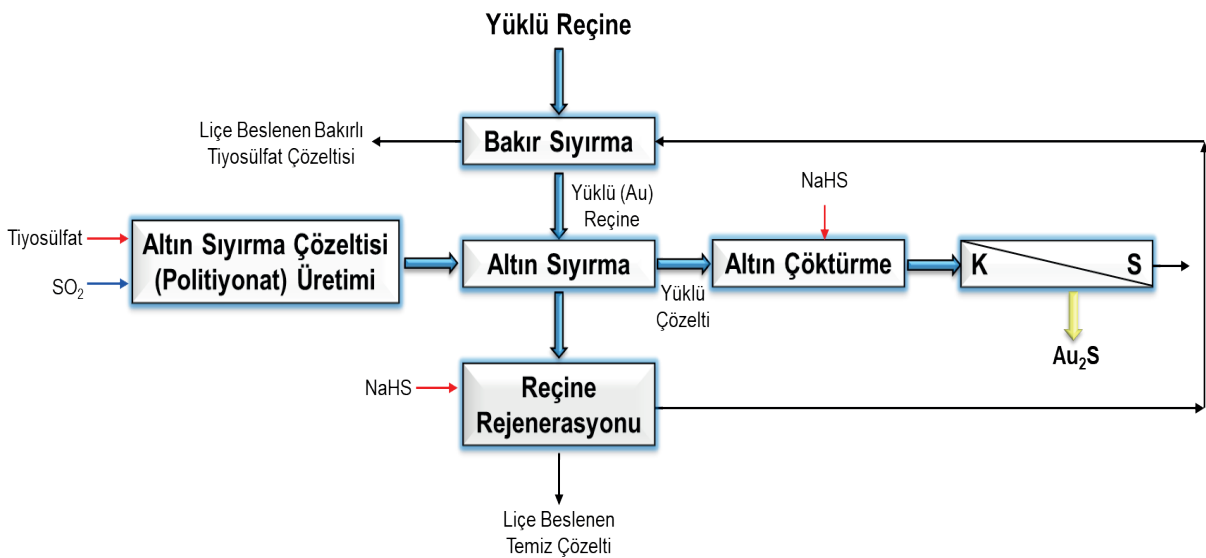
Yüklü reçineden ilk kademede bakırın tiyosülfat ve ikinci kademede altının tiyosiyanat ile sıyırıldığı bir proses geliştirilmiştir (Fleming vd., 2003). Ancak, tiyosiyanat kullanımı önemli dezavantajlara sahiptir (Çizelge 3). Barrick Gold firması, yüklü reçineden (Eşitlik 1.18-1.19, @:reçine matriksi) bakır ve altının iki kademede sıyırıldığı (Eşitlik 1.20-1.21) farklı bir iyon değişimi prosesinin patentini almıştır (Şekil 1) (Fleming vd., 2002, 2003). İlk kademede tiyosülfat çözeltisi ile bakır altından seçimli olarak reçineden sıyırılmaktadır (Eşitlik 1.20). İkinci kademede altının (Eşitlik 1.21) sıyırılması için politiyonat ($S_3O_6^{2-}$ ve $S_4O_6^{2-}$) çözeltisi kullanılmaktadır (Şekil 1).

Çizelge 2. Tiyosülfat çözeltilerinden altın kazanımında kullanılan bazı anyonik reçineler (Fleming vd., 2001; Zhang ve Dreisinger, 2002)

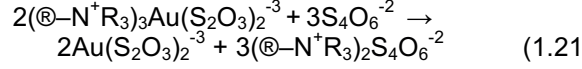
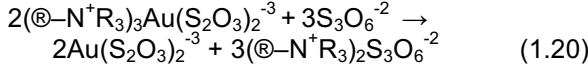
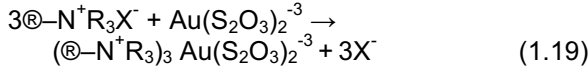
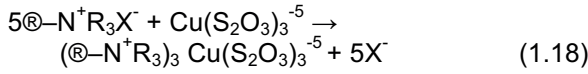
| Reçine türü (anyonik) | Ticari isimler |
|-----------------------|--|
| Zayıf bazik | Amberlite IRA-3, DiAnion CR20, Lewatit MP62 |
| Kuvvetli bazik | Amberlite IRA-400, Amberlite IRA-410, Amberlite IRA-910, Dowex G51, Dowex G55, Dowex 21K, Purolite A500/2788, Purolite A600U |

Çizelge 3. Reçineden altının sıyırılması için önerilen çözelti sistemleri (Aylmore, 2016; Dai vd., 2013; Fleming vd. 2001, 2003; Jeffrey vd., 2010; Nicol ve O'Malley, 2002; Zhang ve Dreisinger, 2002)

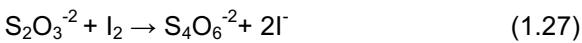
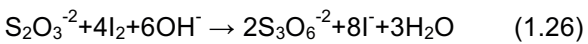
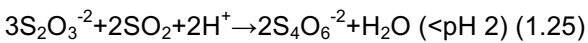
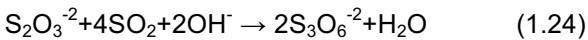
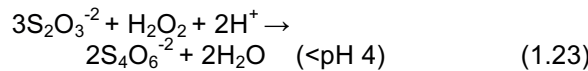
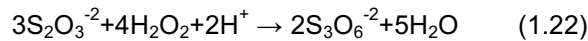
| Sıyırma çözeltisi | Özellikleri |
|---|--|
| Tiyosiyanat | <ul style="list-style-type: none"> Atıkta kaybolan tiyosiyanat (~%10) maliyeti yükseltiyor Tiyosiyanatın rejenerasyon aşaması karmaşık Reçinenin rejenerasyonu gerekli, aksi taktirde proses suyunda tiyosiyanat birikiyor Kuvvetli bazik reçinelere yüksek ilgi |
| Nitrat | <ul style="list-style-type: none"> Sıyırma işlemi çok yavaş Sıyırma çözeltisi yüksek konsantrasyonda nitrat içermeli Biriken nitrat altının adsorpsiyonunu olumsuz etkileyebilir Sıyırma sonrası reçine nitratı adsorbe ettiği için proses suyunda nitrat birikiyor |
| Politiyonat (tetratiyonat, tritiyonat) | <ul style="list-style-type: none"> Politiyonatın hazır temini zor ve pahalı Politiyonat üretimi için tiyosülfatın kontrollü oksitlenmesi gerekli Sıyırmada kullanılan konsantre tritiyonat çözeltisi kararlı değil Sıyırma sonrası boş reçine tritiyonat yüklü olacağı için yeniden RIL'da kullanılması altın adsorpsiyonunu düşürür Reçinenin rejenerasyonu gerekli, sülfür/sülfid içeren çözelti ile politiyonatlar tiyosülfata dönüştürülebilir Kuvvetli bazik reçinelere yüksek ilgi |
| Sülfid içeren tuz çözeltileri | <ul style="list-style-type: none"> Altın-tiyosülfat kompleksinin reçineye adsorpsiyonunu engelliyor Altın sıyırma verimi yüksek Elektro-kazanım sonrası boş sıyırma çözeltinin yeniden liç işleminde kullanılabilir |



Şekil 1. Barrick Gold firmasının patentini aldığı reçine sıyırma prosesi (Aylmore, 2016; Fleming vd., 2002, 2003)

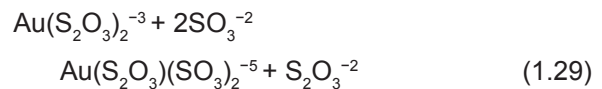
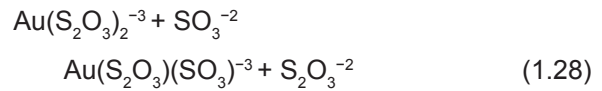


Sıyırma işleminde kullanılan tritiyonat ($\text{S}_3\text{O}_6^{2-}$) ticari olarak satılmamakta, tetratiyonat ($\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$) sadece saf halde ve çok yüksek fiyatlara satılmaktadır. Bu nedenle gerekli politiyonat çözeltisi, tiyosülfat çözeltisinin kontrollü olarak oksitlenmesi suretiyle özel olarak hazırlanmaktadır (Fleming vd., 2002). Yapılan araştırmalar bir tiyosülfat çözeltisine stokiometrik olarak %75-100 oranında oksitleyici ilavesinin yeterli olacağını göstermiştir (Fleming vd., 2001). Tiyosülfatın oksitlenmesi için hidrojen peroksit (H_2O_2) (Eşitlik 1.22-1.23), sülfür dioksit (SO_2 gazı) (Eşitlik 1.24-1.25), iyot (I_2) (Eşitlik 1.26-1.27) veya bromür (Br_2) kullanılabilir. Bromür ve iyotun yüksek maliyetinden dolayı H_2O_2 veya SO_2 kullanmak daha ekonomiktir (Fleming vd., 2001 ve 2002). Politiyonat sıyırma çözeltisi ile reçineden altın, yüksek verimle (>99%) birkaç saat gibi kısa sürede sıyırılabilir (Fleming vd., 2001). Yüklü politiyonat çözeltisinden altını kazanmak için sülfür (S^{2-}) ilave edilmektedir. Tiyosülfat liçi koşullarında sülfür iyonları bisülfide (HS^-) dönüşür ve altını indirgeyerek çöktürmektedir (Eşitlik 1.30) (Fleming vd., 2001 ve 2002; Marsden ve House, 2006).

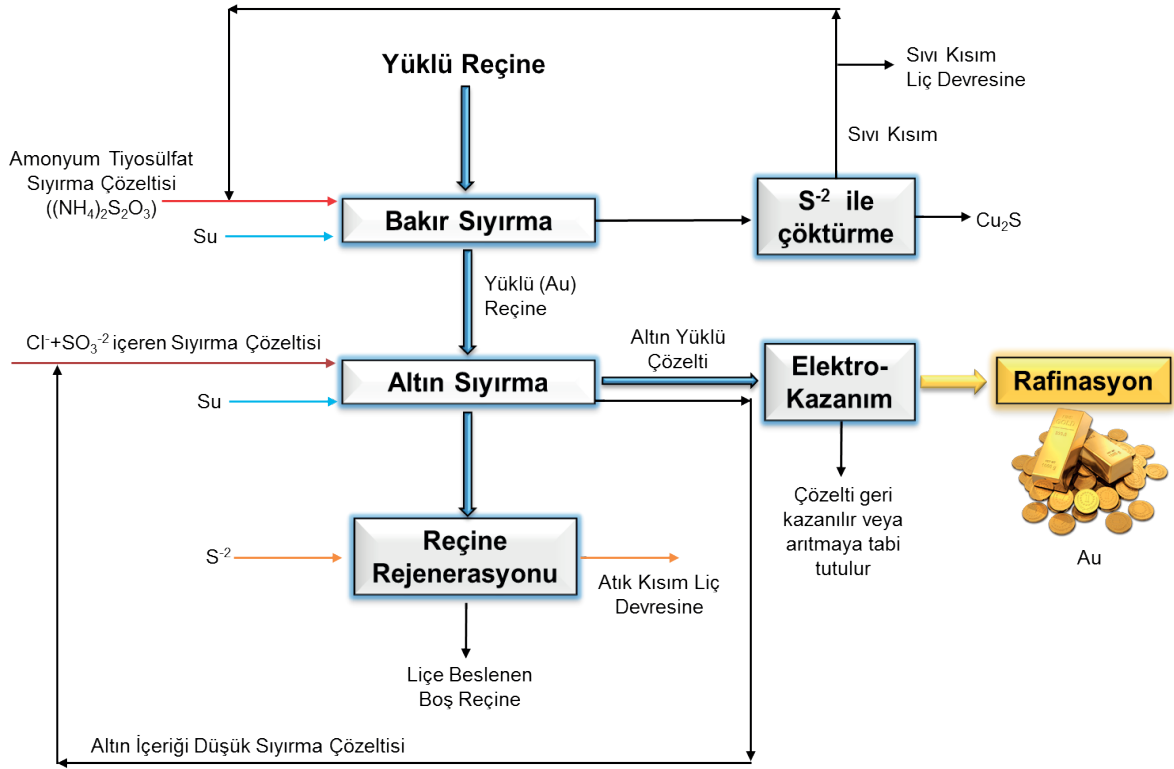


Politiyonatlar dışında altının reçineden sıyırılmasında tiyosiyanat ve nitrat başta olmak üzere farklı reaktifler de (klorür, sülfid) bu amaçla test edilmiştir (Zhang ve Dreisinger, 2003). Ancak,

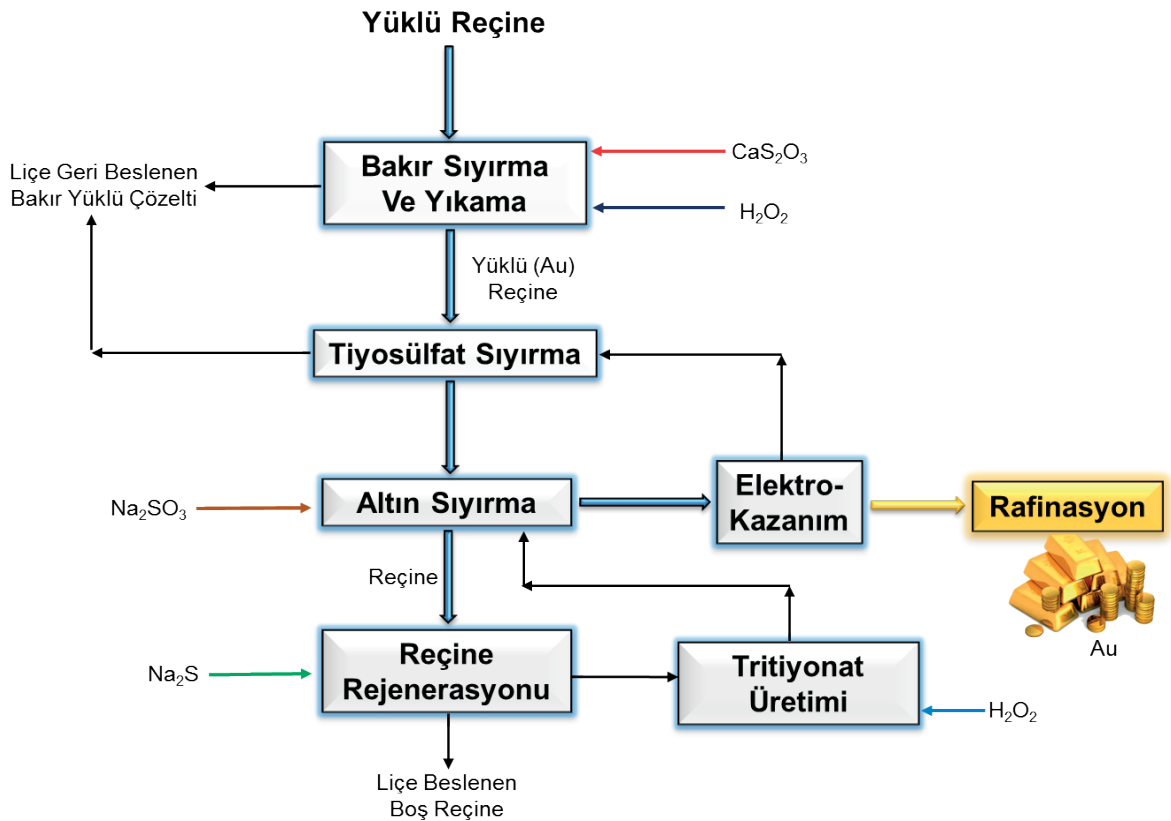
önerilen yöntemler önemli teknik zorluklara sahiptir (Çizelge 3) (Fleming vd., 2003; Jeffrey vd., 2010; O'Malley, 2002). Jeffrey vd. (2010) farklı sıyırma çözeltilerine (nitrat+tritiyonat ve klorür) sülfid (SO_3^{2-}) ilavesinin altının sıyırma performansına etkisini incelemişler ve sülfid (SO_3^{2-}) ilavesinin altının sıyırma verimini önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu durumu, altın-tiyosülfat-sülfid kompleksinin ($\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)(\text{SO}_3)^{-3}$) (Eşitlik 1.28-1.29) oluşumu ile altının reçineye adsorpsiyon eğiliminin azalmasına bağlamışlardır. Klorür+sülfid sisteminin; klorürün ucuz olması, tritiyonata göre daha kararlı olması ve sıyırma sonrası klorür yüklü reçinelerin adsorpsiyon devresinde nitrate göre daha az sorun oluşturması gibi nedenlere bağlı olarak daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Sülfid varlığında sıyırma işleminin en önemli avantajı, elektro-kazanım aşamasından sonra boş sıyırma çözeltisinin yeniden liçi işleminde kullanılabilmesidir. Diğer bir teknik avantaj da sülfid-tiyosülfat çözeltilerinin kararlı yapısına bağlı olarak elektro-kazanım aşamasında daha kaliteli bir katot elde edilebilmesidir (Jeffrey vd., 2010). Şekil 2'de klorür+sülfid sıyırma çözeltisinin kullanıldığı sıyırma devresi sunulmuştur. Gámez ve de la Torre (2015) yüklü tiyosülfat çözeltisine uyguladığı elektro-kazanım işleminde sodyum sülfid (0,1 M Na_2SO_3) ilavesinin altının sülfür formunda çökmesini engellediğini belirtmiştir.



Barrick Gold firmasının geliştirdiği bir proseste (Şekil 3) bakırın sıyırılması için kalsiyum tiyosülfat ($\text{Ca}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) ilave edilmektedir (Choi vd., 2012). Altın için sıyırma çözeltisi olarak tritiyonat+sülfid çözeltisi kullanılmaktadır. Reçine rejenerasyonu için Na_2S ilave edilerek reçineye yüklü tritiyonatın tiyosülfata dönüşmesi sağlanmaktadır (Şekil 3). Çizelge 4'te tiyosülfat çözeltilerinden altının kazanımı için önerilen yöntemlerin avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir.



Şekil 2. Klorür+sülfite çözeltisi ile sıyırma ve elektro-kazanım devresi (Dai vd., 2013; Jeffrey vd., 2010)



Şekil 3. Tritiyonat+sülfite çözeltisi ile sıyırma ve elektro-kazanım devresi (Choi vd., 2012)

Çizelge 4. Yüklü tiyosülfat çözeltilisinden altının kazanılması için kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları (Abbruzzese vd. 1995; Aylmore, 2016; Aylmore ve Muir, 2001; Choi vd., 2012; Fleming vd., 2001 ve 2002; Jeffrey vd., 2010; O'Malley, 2002)

| Yöntem | Özellikleri |
|--|--|
| İyon değişimi (Endüstriyel) | <p><u>Avantajlar</u> + Endüstriyel olarak uygulanmaktadır</p> <p><u>Dezavantajlar</u> - Sıyırma işlemi karmaşık ve zordur - İlk yatırım ve işletme maliyetleri yüksektir - Altın dışındaki metal-tiyosülfat kompleksleri de reçineye adsorbe olarak kapasite ve seçimliliği düşürmektedir - Tiyosülfatın bozunma ürünleri politiyonat iyonları da reçineye adsorbe olarak altın kazanımını azaltmaktadır - Metaller çökerek reçineleri tıkayabilmektedir</p> |
| Sementasyon (Pilot ölçekte test edilmiş) | <p><u>Avantajlar</u> + Bakır sementasyonunda kullanılan bakırın geri beslenen boş çözeltide katalizör görevi yapması</p> <p><u>Dezavantajlar</u> - Pilot ölçekte denenmiştir ancak endüstriyel uygulaması yoktur - Al ve Zn sementasyonunda bakırın altınla beraber çökmesi - Al, Zn ve Fe sementasyonunda çözeltinin safsızlık içeriğinin artması</p> |
| Sülfür tuzlarıyla çöktürme (Pilot ölçekte test edilmiş) | <p><u>Avantajlar</u> + Basit bir yöntem + Oksitlenen tiyosülfatın bir bölümü yeniden kazanılabilir + Elde edilen çökelek doğrudan ergitme işlemine tabi tutulabilir</p> <p><u>Dezavantajlar</u> - Seçimli değil, diğer metaller de çökebilir - Gümüş çökeleklerinin tane boyutu incedir</p> |
| Elektro-kazanım (Endüstriyel, RIL sonrası) | <p><u>Avantajlar</u> + İyon değişimi sonrası (RIL) çözeltiden altın kazanımında endüstriyel olarak uygulanmaktadır. + Yüksek konsantrasyonda altın içeren çözeltiler için uygundur</p> <p><u>Dezavantajlar</u> - Seyreltik altın çözeltileri için uygun değildir - Bakır varlığı akım verimini olumsuz etkilemektedir - Tiyosülfat anot ve katot reaksiyonlarında bozunmaktadır</p> |
| İndirgeyici çöktürme | <p><u>Dezavantajlar</u> - Seçimli değil, diğer metaller de çökebilir - Bazı koşullarda maliyet yüksek - Katalizör olarak ilave metal kullanımı gerekli - Ortam pH'sının düşürülmesi gerekmekte</p> |
| İyon flotasyonu | <p><u>Avantajlar</u> + Yüksek metal kazanma verimlerine ulaşılabilir</p> <p><u>Dezavantajlar</u> - Seçimli değil, diğer metaller de çökebilir - Maliyet yüksek - İlave reaktif tüketimi - Ortam pH'sının düşürülmesi gerekmekte</p> |
| Aktif karbon adsorpsiyonu | <p><u>Dezavantajlar</u> - Endüstriyel uygulaması yoktur - Tiyosülfat çözeltisine siyanür ilavesi gereklidir - Metal kazanma verimi düşük, saf aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesi nispeten düşüktür</p> |
| Solvent ekstraksiyon | <p><u>Avantajlar</u> + Yüksek seçimliliğe sahiptir</p> <p><u>Dezavantajlar</u> - Maliyeti yüksektir - Endüstriyel uygulaması yoktur - Sadece berrak çözeltilere uygulanabilir ve öncesinde filtrasyon gereklidir - Yüksek bakır varlığında düşük ekstraksiyon gerçekleşmektedir</p> |

2. TİYOSÜLFAT LIÇI UYGULAMALARI

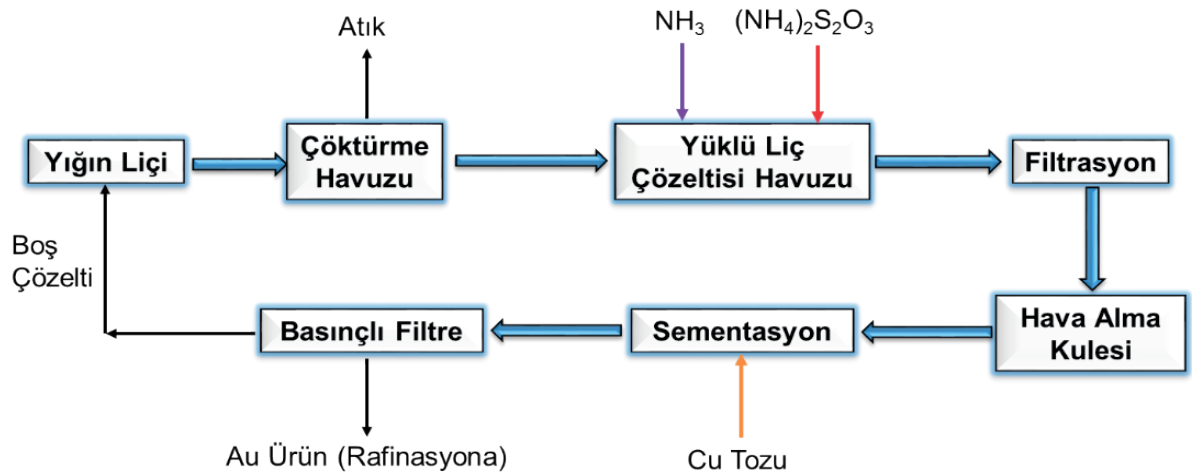
2.1. Newmont Yığın Liçi

Dünya'nın en büyük altın üreticisi firmalarından Newmont Mining Co. (ABD) düşük tenörlü (1,3-2,7 g/t Au, %72 kuvars) refrakter (adsorplayıcı karbon ve sülfürlü mineral içeren, %10 alunit, %7 serüzit, %4 kaolen, %3 barit, %3 demir) altın cevherleri için laboratuvar, pilot/demonstrasyon ölçekli yığın liçi testleri uygulamıştır (Çizelge 5) (Wan ve LeVier, 2003). Siyanür liçinde altın kazanma verimi %1,5'tur. Tiyosülfat liçi testlerinde (0,085 M S_2O_3 , 0,01 M Cu^{+2} , pH ~10, 72 saat) amonyum tiyosülfat ve sodyum tiyosülfat kullanımının altın kazanımına etkileri ayrı ayrı araştırılmıştır. Liç süresi (72 saat) sonunda amonyum tiyosülfat ile altın kazanma verimi %64,7 iken, sodyum tiyosülfatta %55,9'da sınırlı kalmıştır. Amonyum tiyosülfat ile doğrudan ve biyo-oksidasyon sonrası liç testleri gerçekleştirilmiştir. Çözeltilen metal kazanımı için bakır ve çinko tozları ile sementasyon testleri yapılmıştır (Wan vd., 1994). Bu çalışmalar

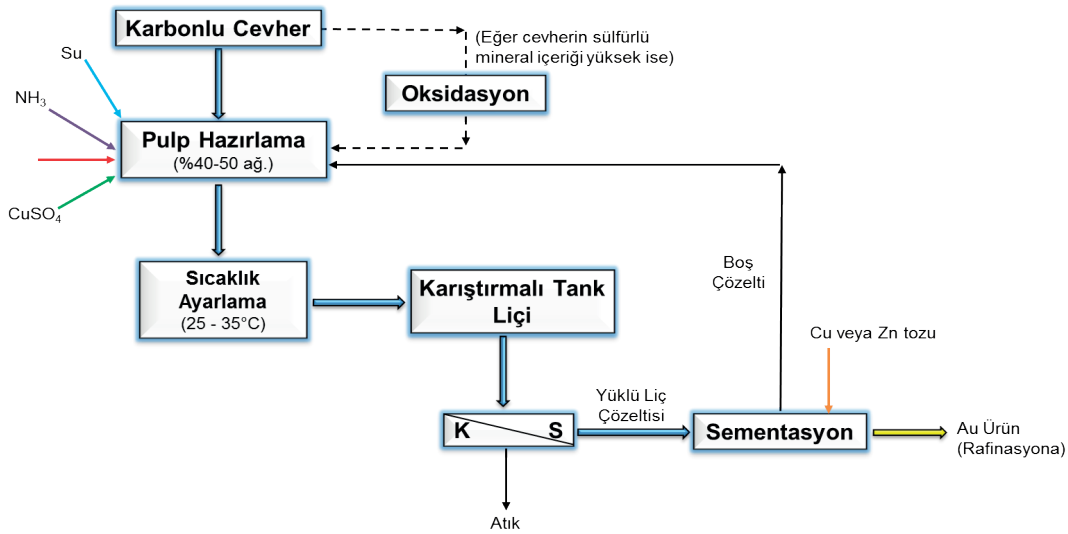
işığında doğrudan veya biyo-oksidasyon sonrası amonyum tiyosülfat liçinin uygulandığı pilot tesis, sınırlı bir süre (1996-1999) çalıştırılmış ve tesiste, toplam 1,24 milyon ton refrakter cevher yığın liçi işlemine tabi tutulmuştur (Çizelge 5). Yüklü çözeltilen altın kazanımında bakır tozu ile sementasyon yöntemi tercih edilmiştir (Dunne vd., 2009; Wan ve LeVier, 2003). Ön testler (1998-1999) için 259.800 ton cevher (d_{80} : 1,9 cm) (Şekil 4) kullanılarak 10 m yükseklikte yığınlar oluşturulmuştur. İlk olarak 40 g/L $(NH_4)_2S_2O_3$ (pH 9,2) çözeltisi ile yığınlar ıslatıldıktan sonra 10-13 g/L $(NH_4)_2S_2O_3$ olan çözelti yığınlara beslenmeye devam edilmiştir. Yığın liçi süresince yüklü çözeltideki bakır konsantrasyonu 30-60 mg/L ve çözelti pH'sı 8,8-9,2 seviyesinde tutulmuş ve 387,8 kg altın üretilmiştir. Amonyum tiyosülfat tüketimi 9,7 kg/ton cevher olarak belirlenmiştir. Proses, düşük altın fiyatları ve sınırlı rezerv nedeniyle endüstriyel ölçekte uygulama şansı bulamamıştır (Dunne vd., 2009; Wan vd., 1994, 2005; Wan ve LeVier, 2003).

Çizelge 5. Newmont firmasının tiyosülfat liçi tesisine ait veriler (1996-1999) (Biyo-oks: Biyo-oksidasyon, YTS: Yığın tiyosülfat liçi) (Wan ve LeVier, 2003)

| Uygulama Yılı | Liç Yöntemi | Rezerv, ton | Üretilen Altın | |
|-----------------------------|------------------|-------------|----------------|-------|
| | | | ons | kg |
| 1996 | Biyo sonrası YTS | 326.500 | 11.850 | 368,5 |
| 1997-1998 | Doğrudan YTS | 324.000 | 20.100 | 625,1 |
| 1998 | Biyo sonrası YTS | 331.100 | 11.370 | 353,6 |
| 1998-1999 | Doğrudan YTS | 259.800 | 12.470 | 387,8 |
| Toplam işlenen cevher/metal | | 1.241.400 | 55.790 | 1735 |



Şekil 4. Newmont şirketinin amonyum tiyosülfat yığın liçi prosesi akım şeması (Bhakta, 2003; Wan ve LeVier, 2003; Wan vd., 1994)



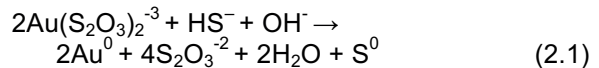
Şekil 5. Refrakter cevherlerden tiyosülfat liçi için önerilen proses (Wan vd., 1994)

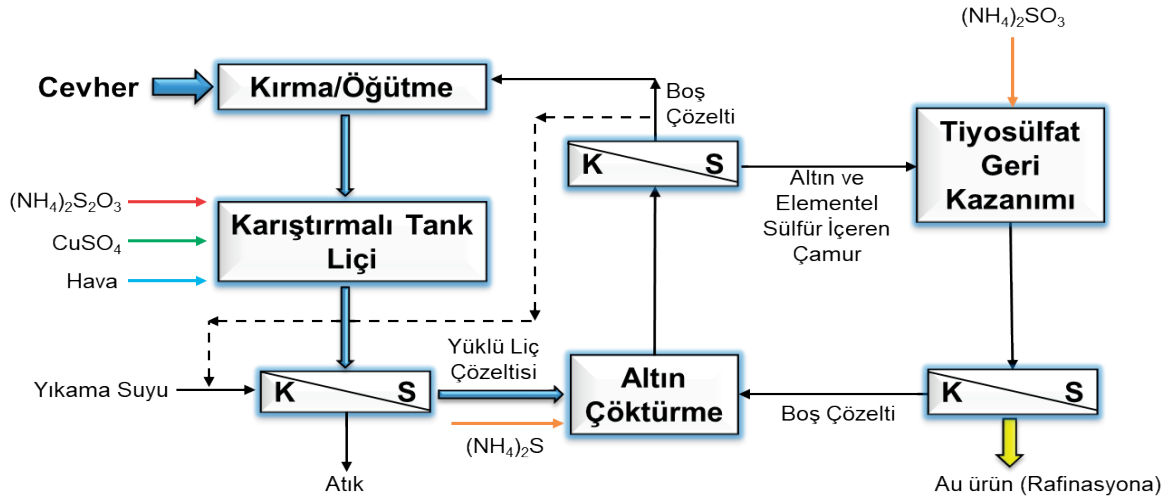
Wan vd. (1994) tarafından Newmont Gold bünyesinde yapılan çalışmalarda refrakter cevherler için karıştırmalı tank liçine dayalı alternatif bir proses önerilmiştir (Şekil 5). Proses, laboratuvar ölçekli testlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek geliştirilmiştir. Bu proses, cevherin sülfür içeriğine bağlı olarak doğrudan veya uygun bir ön işlemden (biyo-oksidasyon, nitrik asit liçi veya basınç oksidasyonu) sonra tiyosülfat liçini öngörmektedir. Testlerde ince öğütülmüş (<~75 µm) karbonlu (preg-robbing) bir cevher kullanılmıştır. Yüklü çözeltiden altın kazanımı için bakır veya çinko sementasyonu önerilmiştir.

2.2. Placer Dome Amonyum Tiyosülfat Liçi Prosesi (MATS/HATS)

Placer Dome Şirketi (Kanada) (2006 yılında Barrick Gold firması tarafından satın alınmıştır), karbonlu (preg-robbing) cevherler için Cu(II)-amonyak-tiyosülfat reaktif sisteminin kullanıldığı bir proses geliştirmiş ve 1998 yılında pilot ölçekte test etmiştir (West-Sells ve Hackl, 2005). Prosesin karıştırmalı tank liçi uygulaması MATS (Mill Ammonium Thiosulfate) ve yığın liçi uygulaması da HATS (Heap Ammonium Thiosulfate) prosesi olarak adlandırılmıştır. MATS prosesinin akım şeması Şekil 6'da görülmektedir (Aylmore, 2016; West-Sells ve Hackl, 2005). Pilot çaplı testlerde organik karbon (%1,5) içeren 7,5 g/t Au tenörlü (toplam sülfür: %0,35) bir refrakter cevher kullanılmış ve düşük işletme giderleri ile %75-78 altın kazanımına ulaşılmıştır (Aylmore, 2016). Liç işlemi 15 g/L amonyum tiyosülfat konsantrasyonunda,

bakır (50 mg/L) ve oksijen varlığında pH 9'da gerçekleştirilmiştir. Karıştırmalı tank liçi (24-48 saat) sonrasında katı/sıvı ayırımı ile elde edilen yüklü çözeltiye amonyum sülfür ((NH₄)₂S) ilave edilerek çözelti potansiyeli düşürülmekte ve altın metalik halde kazanılmaktadır (Eşitlik 2.1). Söz konusu koşullarda termodinamik açıdan altın-sülfür bileşiği de oluşabilmesine rağmen altının sadece metalik halde çöktüğü XRD ile tespit edilmiştir (West-Sells ve Hackl, 2005). Çöktürme aşamasında (15-60 dk., pH 9-10), çözeltide bulunan tri-tiyonat kısmen ve tetra-tiyonat ise büyük oranda yeniden tiyosülfata dönüştürülmektedir. Çöktürme ve filtrasyon işlemleri sonrası elde edilen çökeleğe amonyum sülfür ((NH₄)₂SO₃) ilave edilerek çökelekteki elementel sülfür amonyum tiyosülfata dönüştürülmekte (90-100°C'de 1 sa.) (Eşitlik 2.2) ve yeniden liç işleminde kullanılmaktadır (Şekil 6) (Aylmore, 2016; West-Sells ve Hackl, 2005). Geriye kalan altın içerikli çökelek ergitmeye tabi tutulmaktadır. Proseste, yüklü çözeltiden altın kazanımı için iyon değişimi tercih edilmemesinin nedeni, politiyonatların altın adsorpsiyonunu zorlaştırması olarak belirtilmiştir. Proses, yığın liçi uygulaması (HATS, Heap Ammonium Thiosulfate) için de test edilmiştir (Aylmore, 2016; West-Sells ve Hackl, 2005). Prosesin (MATS/HATS) şu an endüstriyel ölçekte bir uygulaması mevcut değildir.



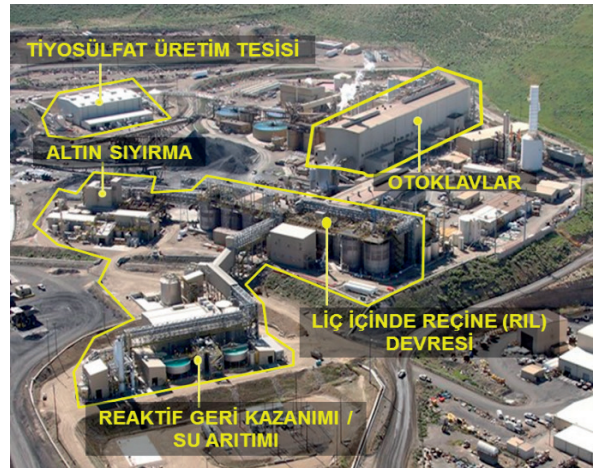


Şekil 6. Placer Dome şirketinin (şimdi Barrick Gold) amonyum tiyosülfat liçi prosesi (MATS) akım şeması (West-Sells ve Hackl, 2005)

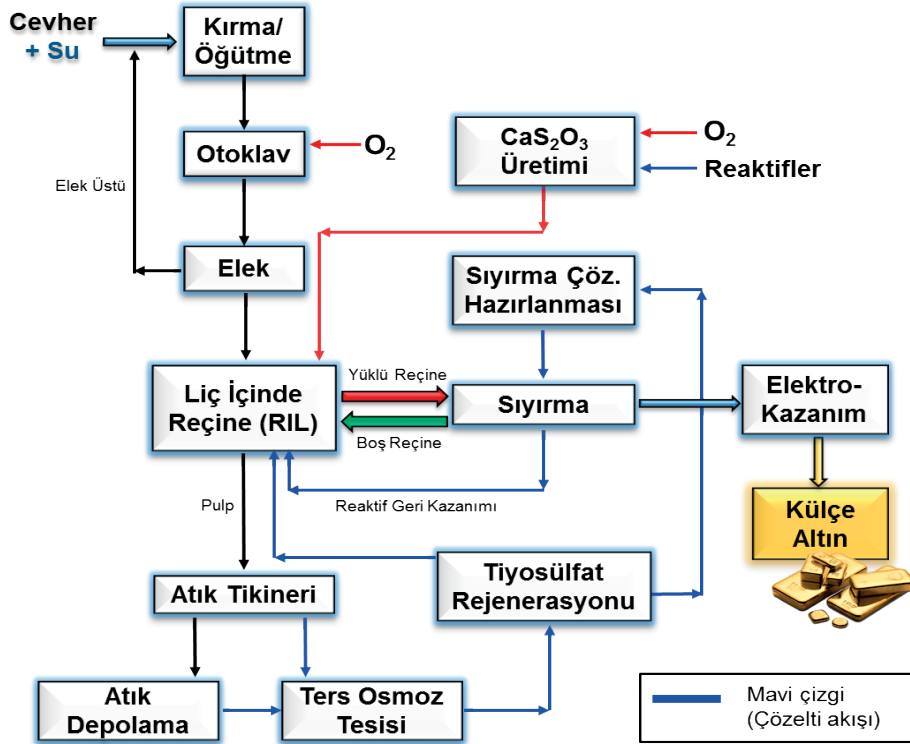
2.3. Barrick Gold Tiyosülfat Liçi Prosesi

Barrick Gold Şirketi 20 yıldan uzun bir süredir teknik ve ekonomik açıdan uygun bir tiyosülfat liçi prosesi geliştirmek için Ar-Ge çalışmaları yürütmektedir (Barrick Gold, 2015a). Bu faaliyetlerinde siyanür liçinin uygulanmasının teknik açıdan uygun olmadığı refrakter bir altın cevheri (Goldstrike, Nevada/ABD) kullanılmaktadır (Fleming vd., 2003). Bu cevher, "iki yönlü refrakter (double refractory)" olarak isimlendirilen, altının sülfürlü mineraller içerisinde kapanım halinde bulunduğu ve aynı zamanda adsorplayıcı özelliğe sahip karbonlu maddeler içeren (preg-robbing) bir altın cevheridir. Şirket, tiyosülfat liçi + pulp içinde reçine (RIP) yöntemlerini içeren bir proses geliştirmiş ve pilot ölçekte (1996-1997) test etmiştir (Fleming vd., 2002, 2003). Yüklü reçineden metallerin sıyırılması için Şekil 1'de sunulan yöntem önerilmiştir. Devam eden Ar-Ge faaliyetleri sonucunda Barrick Gold Şirketi, yeni bir tiyosülfat liçi prosesi geliştirerek bu prosesi endüstriyel ölçekte Goldstrike tesisinde (Nevada/ABD) uygulamıştır (Şekil 7-8) (Aylmore, 2016; Choi, 2016; Fleming vd., 2001 ve 2002). İlk aşamada tesise 3 yıl boyunca (2010-2013) yaklaşık 1500 ton farklı tip cevher beslenerek prosesin performansı test edilmiştir (Lakshmanan vd., 2016). Tesiste ilk altın külçe dökümü 2014 yılında gerçekleştirilmiştir. Günde 13 bin 400 ton cevher işleme kapasitesi olan tesiste 9,9-12,8 ton/yıl altın üretimi planlanmıştır. Ticari üretime 2015 yılında başlayan tesiste aynı yıl yaklaşık 30 ton altın üretilmiştir (Breuer, 2015; Barrick Gold, 2015b, 2016). Üretilen altın külçesinin ağırlığı yaklaşık 25 kg'dır (McKown, 2015).

Cevher, kırma/öğütme işlemlerini takiben 6 adet otoklav içeren asidik/alkali basınç oksidasyonu devresine ($225^{\circ}C$) beslenerek sülfürlü minerallerin ve karbonlu maddelerin oksitlenmesi sağlanmaktadır (Aylmore, 2016; Barrick Gold, 2015a). Basınç oksidasyonu sayesinde aynı zamanda elementel halde bulunan altın iyonik hale dönüşmektedir. Bu durum altının daha az agresif koşullarda çözünmesine yardımcı olmaktadır (Aylmore, 2016). Proseste amonyak içermeyen $Cu(II)-CaS_2O_3$ liç sistemi (pH 8) kullanılmaktadır (Adams, 2016). Çözeltiden altın kazanımı için iyon değişimi yöntemi (liç içinde reçine, RIL) uygulanmaktadır (Aylmore, 2016; Choi, 2016). Dolayısıyla, liç ve iyon değişimi işlemleri aynı tanklar (14 adet $15,2 \times 15,2$ m) içerisinde gerçekleştirilmektedir (Barrick Gold, 2015a; McKown, 2015).



Şekil 7. Barrick Gold Şirketine ait Goldstrike tiyosülfat liçi tesisi (Nevada, ABD) (Barrick Gold, 2016; Choi, 2016)



Şekil 8. Barrick Gold Şirketi'nin tiyosülfat liçi prosesi akım şeması (Aylmore, 2016'dan uyarlanarak)

Tiyosülfat çözeltilerinin yüksek korozif özelliği nedeniyle Barrick Gold firması liç tanklarının yapımında 2205 paslanmaz çelik kullanmıştır (Aylmore, 2016). Tesise beslenen cevherden altın kazanımı, siyanür liçinde %30 seviyesinde iken pilot çaplı testlerin sonuçlarına göre tiyosülfat liçinde %75-80 altın kazanımına ulaşılmıştır (Aylmore, 2016; Adams, 2016). Liç reaktifi olarak kullanılan kalsiyum tiyosülfat, maliyetleri düşürmek amacıyla tesiste üretilmektedir (Şekil 7-8).

RIL devresinde, politiyonatların altın adsorpsiyonuna etkisini azaltmak ve yüksek altın kazanımı için reçine hareketi hem düz hem ters akış halinde yapılmaktadır. RIL sonrası yüklü reçineden altının sıyırılmasında tritiyonat-sülfid sıyırma çözeltisi kullanılmaktadır (Choi ve Chefai, 2012). Ters osmoz ile konsantre hale getirilen çözelti, politiyonat miktarını azaltmak için tiyosülfat rejenerasyonu devresine beslenmektedir. Rejenere edilen çözelti yeniden RIL devresinde kullanılmaktadır (Şekil 8) (Aylmore, 2016). Barrick Gold yetkilileri, tesisteki en önemli teknik zorluğun reçinelerden metallerin sıyırılması aşamasında olduğunu belirtmiştir (Baş, 2015; Braul, 2013). Endüstriyel tiyosülfat liçi prosesinin (liç+iyon değişimi) siyanür liçi ile (liç+adsorpsiyon) karşılaştırıldığında, bu tür cevherler için çevresel açıdan sürdürülebilir ve maliyet yönünden karşılaştırılabilir olduğu bildirilmiştir (Fleming vd., 2001).

3. SONUÇLAR

Tiyosülfat liçinin endüstriyel bir proses olarak uygulanması önündeki en önemli teknik zorluklardan biri çözelti saflaştırma ve metal kazanımı aşamasında karşılaşılan zorluklar olmuştur. Yüklü tiyosülfat çözeltilerinden metal kazanımı için sülfür tuzları ile çöktürme, sementasyon, indirgeyici çöktürme, aktif karbon adsorpsiyonu, elektro-kazanım, solvent ekstraksiyon, iyon flostasyonu ve iyon değişimi gibi yöntemler önerilmiştir. Newmont ve Placer Dome (şimdi Barrick Gold) şirketlerinin geliştirdiği ve pilot ölçekte test ettiği tiyosülfat liçi proseslerinde sırasıyla sülfür tuzları ile çöktürme ve sementasyon yöntemleri kullanılmıştır. Barrick Gold şirketi tarafından adsorplayıcı özelliğe sahip karbon içeren refrakter bir altın cevheri için geliştirilen ve 2015 yılında üretime başlayan ilk endüstriyel tiyosülfat liçi (Cu(II)-CaS₂O₃) tesisinde, iyon değişimi yöntemi uygulanmaktadır. Ancak, yüklü reçinelerden metallerin sıyırılması aşamasının önemli teknik zorluklar içerdiği belirtilmektedir. Sıyırma işlemi iki kademe (bakır ve altın sıyırma) gerçekleştirilmekte ve her kademe farklı sıyırma çözeltileri kullanılmaktadır. Tiyosülfat liçi ile siyanür liçine (%30 Au) göre yüksek altın kazanımları (%75-80) sağlanabilmektedir. Ancak, mevcut tiyosülfat prosesinin her altın cevherine uygulanmasının teknik açıdan mümkün olmadığını ve tiyosülfat li-

çinin yaygınlaşabilmesi için Ar-Ge çalışmalarının devam etmesi gerektiği bildirilmektedir. Tiyosülfat liçinin altın/gümüş üretiminde yaygın olarak kullanılabilmesi için çözelti saflaştırma ve metal kazanımı aşamasında uygulanabilecek çevresel etkisi düşük, etkin ve ekonomik yöntemlerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Özellikle son yıllarda, tiyosülfat liçi ile ilgili önemli aşamalar kaydedilmesine rağmen siyanür liçi sahip olduğu önemli avantajlar ile halen önemini korumaktadır.

TEŞEKKÜR

Desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) (Proje no: 213M539) ve Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine (Proje no: 9200 ve FYL-2016-5583) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Azami, M., Lapidus, G.T., Azadeh, A., 2014. The Effect of Solution Parameters on The Thiosulfate Leaching of Zarshouran Refractory Gold Ore. *International Journal of Mineral Processing* 131, 43-50.

Abbruzzese, C., Fornari, P., Massidda, R., Vegliò, F., Ubaldini, S., 1995. Thiosulphate leaching for Gold Hydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, 39 (1-3): 265-276.

Adams, M.D., 2016. Summary of Gold Plants and Processes, *Gold Ore Processing*. 2nd Edition, Edited by Adams, M.D., Western Australia: Elsevier.

Ahlatcı, F., Koç, E., Yazıcı, E.Y., Celep, O., Devci, H., 2016. Sulphide Precipitation of Gold and Silver from Thiosulphate Leach Solutions. In: M.S.Çelik vd. (Eds.), XV. International Mineral Processing Symposium and Exhibition (IMPS), İstanbul, Turkey, 750-760.

Akçil, A., Çiftçi, H. ve Öztürk, T., 2007. Altın Kazanımında Tiyosülfat Liçi Uygulaması, *Madencilik*, 46, 4, 31-45.

Arima, H., Fujita, T., Yen, W.T., 2004. Using Nickel as A Catalyst in Ammonium Thiosulfate Leaching for Gold Extraction. *Materials Transactions*, 45, 2, 516-526.

Arima, H., Fujita, T., Yen, W.-T. 2002. Gold Cementation from Ammonium Thiosulfate Solution by Zinc, Copper and Aluminium Powders. *Materials Transactions*, 43,3, 485-493.

Atluri, V.P. 1987. Recovery of Gold and Silver from Ammoniacal Thiosulfate Solutions Containing Copper by Resin Ion Exchange Method. MSc Thesis, Arizona University.

Avrupa Birliği. 2013. Background Note on Cyanide in Gold Mining, Committee on The Environment, Public Health and Food Safety. 3 syf. http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/envi/dv/

envi20130925_info-cyanide_/envi20130925_info-cyanide_en.pdf Son erişim tarihi: 31 Ağustos 2015.

Awadalla, F.T., Ritcey, G.M., 1993. Recovery of Gold from Solution by Reduction-Precipitation with Stabilized Alkali Metal Borohydride. US Patent, US 5223023 A, 29 Haziran.

Aylmore, M.G. 2005. Alternative Lixiviants to Cyanide for Leaching Gold Ores. Editor: Adams, M.D. Western Australia: Elsevier, *Developments in Mineral Processing*, 15, 501-539.

Aylmore, M.G., 2016. Thiosulfate as an Alternative Lixiviant to Cyanide for Gold Ores. In: M.D. Adams (Ed.), *Advances in Gold Ore Processing*. Elsevier Science, 485-523.

Aylmore, M.G., Muir, D.M. 2001. Thiosulfate Leaching of Gold - A Review. *Minerals Engineering*, 14 (2), 135-174.

Barrick Gold, 2015a. There's A First Time for Everything. <http://barrickbeyondborders.com/mining/2015/04/theres-a-first-time-for-everything/>, Son erişim tarihi: 25 Ocak 2017.

Barrick Gold, 2015b. Annual Report. <http://www.barrick.com/files/annual-report/Barrick-Annual-Report-2015.pdf>, Son erişim tarihi: 25 Ocak 2017.

Barrick Gold, 2016. Processing Innovation Nets Metallurgy Award, <http://barrickbeyondborders.com/mining/2016/10/processing-innovation-nets-metallurgy-award/>, Son erişim tarihi: 25 Ocak 2017.

Baş, A.D. 2015. Barrick ile Altın Üretiminde Yeni Ufuklar, Barrick Gold Yöneticilerinden Dr. Yeonuk Choi ile Röportaj, *Madencilik-Türkiye Dergisi*, Temmuz (48), 74-75.

Berezowsky, R.M.G.S., Sefton, V.B., 1979. Recovery of Gold and Silver from Oxidation Leach Residues by Ammoniacal Thiosulphate Leaching. 108th AIME Annual Meeting, New Orleans, 17-34.

Bhakta, P., 2003. Ammonium Thiosulfate Heap Leaching. In: C.A. Young vd. (Eds.), *Hydrometallurgy 2003 - Fifth International Conference*. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 259-267.

Braul, P., 2013. Thiosulphate Going Commercial - Barrick's Goldstrike Pushes Research Forward on Cyanide alternative. *CIM Magazine*. <https://magazine.cim.org/en/February2013/upfront/Thiosulphate-going-commercial.aspx>, Son erişim tarihi: 30 Ağustos 2015

Breuer, P., 2015. Gold Strike with Thiosulphate. *CSIRO Journal - Resourceful*, 7, p. 8.

Choi, Y., Chefai, S., 2012. Co-Current and Counter Current Resin-in-Leach in Gold Leaching Processes. US Patent, US 20120183433 A1, 19 Temmuz.

Choi, Y., 2016. Selecting the Best Process for The Treatment of a Refractory Gold Ore - Barrick's Experience. ALTA Gold-PM Conference 2016, 21-18 May. ALTA Metallurgical Services, Melbourne, pp. 1-33.

- Choi, Y., Jeffrey, M.I., Wang, Q., Langhans, J.W., 2012. Method for Recovering Precious Metals and Copper from Leach Solutions. Patent No: WO 2012174349 A2, 20 Aralık.
- Dai, X., Breuer, P., Hewitt, D., Bergamin, A., 2013. Thiosulfate Process for Treating Gold Concentrates, World Gold 2013 Conference, Brisbane, pp. 61-70.
- Deschenes, G., Ritcey, G.M., 1990. Recovery of Gold from Aqueous Solutions. US Patent, US 4913730 A, 3 Nisan.
- DST, 2014, Cyanide-Free Process for Gold Extraction. Dundee Sustainable Technologies (DST), www.dundee-etechnologies.com
- Dunne, R., Levier, M., Acar, S., Kappes, R. 2009. Key-note Address: Newmont's Contribution to Gold Technology, World Gold Conference 2009, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Gauteng, South Africa, Proceedings: 221-230.
- E&MJ, 2012, The Current Status of Cyanide Regulations, http://www.e-mj.com/features/1656-the-current-status-of-cyanide-regulations.html#.VtA_Tp-Zu3lw, Son erişim tarihi: 2 Şubat 2016.
- Eugene, W.W.L., Mujumdar, A.S., 2009. Gold Extraction and Recovery Processes Minerals. Metals and Materials Technology Centre (M3TC), Faculty of Engineering, National University of Singapore.
- Euromines, 2015. EU Commission Confirms Sufficient Legislation in Place for Gold. European Association of Mining Industries, Metal Ores & Industrial Minerals. <http://www.euromines.org/news/eu-commission-confirms-sufficient-legislation-plac-e-gold>, Son erişim tarihi: 1 Eylül 2015.
- Fleming, C., 2008. Thiosulphate Leaching-An Alternative to Cyanidation in Gold Processing. SGS Mineral Services, T3 SGS 869, s. 2.
- Fleming, C., Wells, J., Thomas, K.G. 2002. Process for Recovering Gold from Thiosulfate Leach Solutions and Slurries with Ion Exchange Resin. US Patent, US 6344068 B1, 5 Şubat.
- Fleming, C.A., McMullen J., Thomas, K.G., Wells, J.A. 2001. Recent Advances in The Development of an Alternative to The Cyanidation Process - Based on Thiosulphate Leaching and Resin in Pulp. SGS Mineral Services, Technical Paper, March, 11.
- Fleming, C.A., McMullen, J., Thomas, K.G., Wells, J.A., 2003. Recent Advances in The Development of an Alternative to The Cyanidation Process: Thiosulfate Leaching and Resin in Pulp. Minerals and Metallurgical Processing, 20 (1): 1-9.
- Fujita, T., Kejun, L., Shibayama, A., Arima, H., Yen., W.T., 2003. Gold Leaching By Using Ammonium Thiosulfate Solution and Gold Recovery by Solvent Extraction and Cementation, Yawaza International Symposium, Editors: Kongoli, F., Itagaki, K., Yamauchi, C. ve Sahn H.Y., TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 293-305.
- Gámez, S., de la Torre, E., 2015. Treatment of a Poly-sulphide Ore by Ammoniacal Thiosulfate Solutions and Ion Flotation for Gold Recovery. Journal of Geological Resource and Engineering, 2: 82-88.
- Gorain, B.K., Kondos, P.D., Lakshmanan, V.I., 2016. Innovations in Gold and Silver Processing. In: V.I. Lakshmanan, R. Roy and V. Ramachandran (Eds.), Innovative Process Development in Metallurgical Industry. Springer, 393-428.
- Grosse, A.C., Dicoski, G.W., Shaw, M., Haddad, P.R. 2003. Leaching and Recovery of Gold Using Ammoniacal Thiosulfate Leach Liquors - A Review. Hydrometallurgy, 69 (1-3), 1-21.
- Groves, W.D., Blackman, L., 1995. Recovery of Precious Metals from Evaporite Sediments. US Patent, US 5405430 A, 11 Nisan.
- Guerra, E., 1997. A Study of the Factors Affecting Copper Cementation of Gold from Ammoniacal Thiosulphate Solution. MSc Thesis, The University of British Columbia, Canada.
- Gupta, C.K. Mukherjee, T.K., 1990. Hydrometallurgy in Extraction Processes. CRC Press, Boston.
- Habashi, F., 1999. A Textbook of Hydrometallurgy, Metallurgical Extractive Quebec Publications, Canada, 739.
- Hiskey, J.B., Lee, J., 2003. Kinetics of Gold Cementation on Copper in Ammoniacal Thiosulfate Solutions. Hydrometallurgy, 69 (1-3): 45-56.
- Jeffrey, M.I., Hewitt, D.M., Dai, X., Brunt, S.D., 2010. Ion Exchange Adsorption and Elution for Recovering Gold Thiosulfate from Leach Solutions. Hydrometallurgy, 100 (3-4): 136-143.
- Karavasteva, M., 2010. Kinetics and Deposit Morphology of Gold Cemented on Magnesium, Aluminum, Zinc, Iron and Copper from Ammonium Thiosulfate - Ammonia Solutions. Hydrometallurgy, 104 (1): 119-122.
- Kejun, L., Yen, W.T., Shibayama, A., Miyazaki, T., Fujita, T., 2004. Gold Extraction from Thiosulfate Solution Using Trioctylmethylammonium Chloride. Hydrometallurgy, 73 (1-2): 41-53
- Lakshmanan, V.I., Roy, R., Ramachandran, V., 2016. Innovative Process Development in Metallurgical Industry. Springer, 440.
- Lewis, A.E., 2010. Review of Metal Sulphide Precipitation. Hydrometallurgy, 104 (2): 222-234.
- Juárez-López, G., Rivera-Landero, I., Patiño-Cardona, F., Velazquez-Cruz, E.I., Yescas-Mendoza, E., Martínez-Martínez, R., 2017. The sodium dithionite influence during complex precipitation of $Au^+-S_2O_3^{2-}$. Gold Bulletin, 50, 25-32

- Lucheva, B.I., Iliev, P.K., Stefanova, V.P., 2015. Recovery of Silver from Zinc Cakes. *Bulgarian Chemical Communications*, 47: 112-117.
- Marsden, J., House, I., 2006. *The chemistry of Gold Extraction*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, USA, 688 pp.
- McKown, M.K., 2015. Chemical Innovations: Barrick Goldstrike Has A New Way to Process Ore, *Elko Daily Free Press*, http://elkodaily.com/mining/chemical-innovations-barrick-goldstrike-has-a-new-way-to-process/article_80e7341a-2e92-5a2e-9b85-809fdb463bd.html, Son erişim tarihi: 23 Mayıs 2017.
- Meng, Q., Cui, Y., Tong, X., Dong, P., Wang, K., 2013. Research Status of Gold Recovery from Thiosulfate Leaching Solution. *Advanced Materials Research*, 734-737, 977-981.
- Molleman, E., Dreisinger, D., 2002. The Treatment of Copper - Gold Ores by Ammonium Thiosulfate Leaching. *Hydrometallurgy* 66, 1-21.
- Navarro, P., Alvarez, R., Vargas, C., Alguacil, F.J., 2004. On The Use of Zinc for Gold Cementation from Ammoniacal-Thiosulphate Solutions. *Minerals Engineering*, 17 (6): 825-831.
- Nicol, M.J., O'Malley, G., 2002. Recovering Gold from Thiosulfate Leach Pulps via Ion Exchange. *The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society*, 54, 10, 44-46.
- O'Malley, G.P., 2002. Recovery of Gold from Thiosulfate Solutions and Pulps with Anion Exchange Resins. PhD Thesis, Murdoch University, Western Australia.
- Parker, G. K., Gow, R. N., Young, C. A., Twidwell, L. G., Hope, G. A. 2008. Spectroelectrochemical Investigation of the Reaction between Adsorbed Cuprous Cyanide and Gold Thiosulfate Ions at Activated Carbon Surfaces. *Hydrometallurgy 2008, Proceedings of the Sixth International Symposium*. Editors: Young, C.A., Taylor, P.R., Anderson, C.G., Choi, Y. Society for Mining Metallurgy, And Exploration, Inc.: Colorado, ABD, 779-790.
- Senanayake, G., 2004. Analysis of Reaction Kinetics, Speciation and Mechanism of Gold Leaching and Thiosulfate Oxidation by Ammoniacal Copper(II) Solutions. *Hydrometallurgy*, 75 (1-4): 55-75.
- Wan, R., LeVier, M., Clayton, R.B., 1994. Hydrometallurgical Process for the recovery of Precious Metal Values from Precious Metal Ores with Thiosulfate Lixiviant. US Patent, US 5354359 A, 11 Eylül.
- Wan, R.Y., LeVier, K.M., 2003. Solution Chemistry Factors for Gold Thiosulfate Heap Leaching. *International Journal of Mineral Processing*, 72 (1-4): 311-322.
- Wan, R.Y., Miller, J.D., Li, J. 2005. Thiohydrometallurgical Processes for Gold Recovery, *Innovations in Natural Resource Processing*. Proceedings of The Jan. D. Miller Symposium, Society for Mining Metallurgy & Exploration, Editörler: Young, C.A., Kellar, J.J., Free, M.L., Drelich, J., King, R.P. Colorado/ABD.
- West-Sells, P.G., Hackl, R.P., 2005. A Novel Thiosulfate Leach Process for the Treatment of Carbonaceous Gold Ores. In: G. Deschenes, D. Hodouin and L. Lorenzen (Eds.), *Treatment of Gold Ores*. The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Canada, pp. 209-223.
- Xia, C., 2008. Associated Sulfide Minerals in Thiosulfate Leaching of Gold: Problems and Solutions. PhD Thesis, Queen's University Kingston, Ontario, Canada.
- Xu, B., Yang, Y., Jiang, T., Li, Q., Zhang, X., Wang, D., 2015. Improved Thiosulfate Leaching of a Refractory Gold Concentrate Calcine with Additives. *Hydrometallurgy*, 152, 214-222.
- Yen, W.T., Liu, K.J., 2014. Method of Gold Recovery from Thiosulfate Solution. *International Mineral Processing Congress*, Santiago, Chile, 2801-2807.
- Yannopoulos, J.C., 1991. *The Extractive Metallurgy of Gold*. Van Nostrand Reinhold, New York, 281.
- Young, C.A., R.N. Gow, L.G. Twidwell, G.K. Parker, G.A. Hope. 2008. Cuprous Cyanide Adsorption on Activated Carbon: Pretreatment for Gold Take-Up from Thiosulfate Solutions. *Hydrometallurgy 2008, Proceedings of the Sixth International Symposium*. Editors: Young, C.A., Taylor, P.R., Anderson, C.G., Choi, Y. Society for Mining Metallurgy, And Exploration, Inc.: Colorado, ABD, 269-276.
- Zhang, H., Dreisinger, D. B. 2002. The Adsorption of Gold and Copper onto Ion-Exchange Resins from Ammoniacal Thiosulfate Solutions. *Hydrometallurgy*, 66, 67-76.
- Zhang, X.M., Senanayake, G., 2016. A Review of Ammoniacal Thiosulfate Leaching of Gold: An Update Useful for Further Research in Non-Cyanide Gold Lixiviants. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 37 (6): 385-411.
- Zhao, J., Wu, Z., Chen, J., 1997. Extraction of Gold from Thiosulfate Solutions with Alkylphosphorus Esters. *Hydrometallurgy*, 46, 363-372.
- Zouboulis, A.I., 1995. Silver Recovery from Aqueous Streams Using Ion Flotation. *Minerals Engineering*, 8 (12): 1477-1488.

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ'NE MAKALE GÖNDERİLMESİ, YAZIM KURALLARI VE YAYINA KABUL İLKELERİ

1. DERGİNİN AMACI VE KAPSAMI

Bilimsel Madencilik Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın bir yayını olup, 1960 yılından bu yana yayımlanmaktadır.

Dergide; yeraltı ve açık ocak işletmeciliği, cevher/kömür hazırlama ve zenginleştirme gibi madenciliğin tüm alanlarında yapılan özgün çalışmalar, eleştirel derlemeler, kısa teknik notlar ve dergide yayımlanmış yazılara ilişkin tartışmalar yer almaktadır.

Derginin yazım dili Türkçe ve İngilizcedir. Yılda dört kez (Mart, Haziran, Eylül ve Aralık) yayımlanır.

Derginin amacı, maden mühendisliği mesleğinin ulusal ve uluslararası düzeyde gelişimine katkı sağlamaktır.

2. MAKALELERİN GÖNDERİLMESİ

Bilimsel Madencilik Dergisi'ne makale gönderilmesi ve/veya gönderilen makalelerin takibi sadece elektronik ortamda, <http://www.madencilik.org.tr> URL adresinden erişebileceğiniz internet sitesindeki "Makale Gönder" sekmesi üzerinden yapılmaktadır. Makale göndermeden önce yeni bir hesap açmanız ya da zaten üyeyseniz var olan hesap bilgilerinizle sisteme yazar olarak giriş yapmanız gerekmektedir. Aşağıda tanımlanan yazım kurallarına uygun olarak hazırladığınız makalenizi "Makale Yönetim Sistemi" üzerinden "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** olup, aşağıda sıralanan yazı kategorilerinden birinde yer almalıdır.

Özgün Yazılar: Madenciliğin herhangi bir alanında ilk kez yazarı tarafından açıklanan kuramsal ve/veya uygulamalı araştırmaları ortaya koyan yazılardır.

Derleme Yazılar: Madenciliğin herhangi bir alanında daha önce yapılmış çalışmaları eleştirel bir yaklaşımla derleyip o konuda yeni bir görüş ortaya koyan yazılardır.

Teknik Notlar: Madencilik alanında devam eden ya da planlanan bir çalışmaya ilişkin ve araştırmacılar için yararlı olabilecek tanıtıcı notlardır.

Tartışma Yazıları: Dergide daha önce yayımlanan yazılara ilişkin eleştirileri, katkıları ya da bu eleştirilere yazar tarafından verilen yanıtları içeren yazılardır.

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

3. YAZIM KURALLARI

Makalenizi; aşağıda tanımlanan yazım kurallarına uygun olarak kendiniz oluşturabileceğiniz gibi, <http://www.madencilik.org.tr> URL adresindeki "Yazarlar için rehber" sekmesinin altında yer alan "**Örnek Şablon**"dan da yararlanabilirsiniz.

3.1. Yazı Karakteri

Yazılar bilgisayar ortamında Microsoft Word Programı kullanılarak **Arial 10** yazıtipi ile ve tek aralıklı yazılmalıdır. Makalenin başlığında ise **Arial 12** yazıtipi kullanılmalıdır. Başlıklar hariç koyu karakter kullanılmamalıdır.

3.2. Sayfa Düzeni

A4 kağıdı boyutlarına (21,0x29,7 cm) ayarlanmış Microsoft Word sayfası üzerindeki yazı alanı; üstten 3,5 cm, alttan 3,2 cm, soldan 2,5 cm ve sağdan 2,4 cm boşluk bırakılarak düzenlenmelidir.

Makalenin ön sayfası tek sütun olarak düzenlenmelidir. Ön sayfada, makalenin büyük harflerle yazılmış Türkçe ve İngilizce başlıkları, yazar adları ve adresleri, iletişime geçilecek yazarın e-posta adresi, Türkçe ve İngilizce öz bölümleri yer almalı, Türkçe ve İngilizce anahtar sözcükler yazılmalıdır. Yazının başlığı, kısa (en fazla 2 satır) ve konuyu en iyi yansıtacak şekilde seçilmelidir. Yazarların hepsi aynı kurum/kuruluştan ise adresleri yazar adlarının altına tek bir satır halinde yazılabilir. Eğer yazarlar farklı kurum/kuruluştan ise yazar adları a, b, c gibi üst simgelerle ayrılıp ilgili adres bilgileri verilmelidir. Yazar adresleri sadece kurum/kuruluş ismi, şehir ve ülke olarak verilmeli, cadde/sokak ismi ya da numarası gibi bilgiler yer almamalıdır. İlgili yazar mutlaka "*" üst simgesiyle tanımlanmalıdır.

Türkçe öz, uzunluğu 150 kelimeyi geçmeyecek şekilde yazının amacını, içeriğini ve sonuçlarını kısa ve öz olarak aktarmalıdır. Öz içinde kaynak bilgisi verilmemelidir. İngilizce öz, Türkçe öz ile uyum içerisinde olmalıdır. Anahtar kelime sayısı 5'ten fazla olmamalıdır.

Yazının ana metni iki sütun olarak, sütun genişlikleri 77 mm, sütunlar arası 7 mm olacak şekilde yazılmalıdır. Yazıda yer alan bölüm başlıklarından önce iki satır ve sonrasında ise bir satır boşluk, ayrıca paragraf araları ile alt başlıklarda da bir satır boşluk bırakılmalıdır. Paragraf başları sayfa kullanım alanlarının en solundan başlamalıdır. Çizelgeler ve şekiller, yazıdan 1 satır boşlukla ayrılmalıdır. Yazının toplam uzunluğu 14 sayfayı geçmemelidir. Başlangıç sayfası da dâhil olmak üzere tüm sayfalar numaralandırılmalıdır.

3.2.1. Bölüm Başlıkları

Tamamı büyük harflerle, sayfa kullanım alanının en solundan başlayarak koyu karakterler ile yazılmalıdır. Bölüm başlıkları sayısal sisteme göre numaralandırılmalıdır. Örneğin; **1.**, **2.**, ..gibi

3.2.2. Alt Başlıklar

Yazı alanının en solundan başlayarak sözcüklerin ilk harfleri büyük olmak üzere küçük harflerle koyu olarak yazılmalıdır. Alt başlıklar da sayısal sisteme göre numaralandırılmalıdır. Örneğin; **1.1.**, **1.2.**, **3.1.1.**, **3.1.2.**, ..gibi. Üçüncü derece alt başlık numaralandırılmadan italik ve koyu yazılmalıdır.

3.3. Eşitlikler

Yazının içinde eşitlik verilmek isteniyorsa Microsoft Word programında tanımlanan Ekle/Eşitlik adımlarıyla gerçekleştirilmelidir. Eşitliklerde geçen simgeler, birimleri ile birlikte açıklanmalıdır. Ayrıca, her eşitliğe yazı alanının en sağ kenarında gösterilecek bir numara verilmeli ve yazı içinde eşitliğe bu numara ile değinilmelidir. Bağlantılar, paragraf başlangıç çizgisinden başlamalıdır. Örneğin;

$$= 10 \times W_i \times \left(\frac{1}{P_{80}} - \frac{1}{F_{80}} \right) \dots \dots \dots (3.6) \text{ gibi}$$

3.4. Çizelge, Şekil ve Fotoğraflar

Şekil ve fotoğraflar renkli konulabilir ancak çözünürlüğü en az 300 dpi olacak şekilde ayarlanmalı, çizelgeler de resim olarak eklenmemelidir. Çizelgede sadece yatay çizgiler kullanılmalıdır. Çizelgeler belirtilen yazı alanının dışına taşmayacak büyüklükte olmalı ve çizelgede yer alan değerlerin birimleri (kg, m, C° gibi) verilmelidir. Çizelge, şekil ve fotoğraflar makalede verilmeden hemen önce metin içinde atıfta bulunulmalıdır. Çizelge üst yazılarının sadece baş harfi büyük olmalı ve çizelge numarası verilmelidir. Şekil ve fotoğraf alt yazıları da aynı şekilde ilk harfi büyük yazılmalıdır. Çizelge, şekil ve fotoğraf yazılarının sonuna noktalama işareti konulmamalıdır. Başka bir kaynaktan olduğu gibi alınan çizelge, şekil ya da fotoğraf varsa, alıntının yapıldığı kaynak, ilgili çizelge veya şeklin üst ya da alt yazısının

sonunda parantez içinde belirtilmelidir. Çizelge, şekil veya fotoğraf tek sütuna sığmayacak büyüklükte ise sayfayı ortalarak ve sayfanın başında ya da sonunda verilmesi tercih edilmelidir.

3.5. Birimler ve Kısaltmalar

Yazılarda Uluslararası Birimler (SI) kullanılmalıdır. Kısaltmalar ilk kullanımda parantez içinde büyük karakterle yazılmalı ve karakterlerin arasına nokta konulmamalıdır.

Örneğin; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) gibi.

Yazı içindeki ya da çizelgelerdeki ondalık sayılarda “,” , bin hanelerini ayırmada ise “.” kullanılmalıdır.

3.6. Kaynaklar

Yazıda değinilen bütün kaynaklar yazının sonunda “KAYNAKLAR” başlığı altında verilmelidir. Yazı tipi olarak Arial 9 kullanılmalıdır. Kaynaklar yazar soyadlarına göre alfabetik sırada yazılmalıdır. Yazı içinde kaynaklara değinme, soyad ve yıl biçiminde yapılmalıdır. Ancak kaynak internet ortamından alınmışsa ve/veya yazarı verilmemişse Anon ve yıl şeklinde olmalıdır. Birden fazla yazarı belli olmayan kaynak varsa Anon (a), Anon (b), Anon (c), ...olarak verilmelidir. Yazı içinde kaynaklara gönderme örnekleri ise şunlardır: (Garner, 1980), (Pekin ve Konuk, 1999), (Gaudin ve Fuerstenau, 1955), (Watson vd, 1997), (Madrigal, 1998), (Watson vd, 1997; Madrigal, 1998), (Anon (a), 1999).

Kaynaklar aşağıdaki örneklere (APA formatı) uygun biçimde yazılmalıdır.

Pekin, A., Konuk, A., 1999. Jeostatistiksel Tahmin İçin Uygun Tenör Dağılım Modelinin Belirlenmesi. Madencilik, 38 (4), 21-28.

Gaudin, A. M., Fuerstenau, D. W., 1955. Quartz Flotation with Anionic Collectors. Trans. AIME, 202, 958-964.

Watson, R. T., Kelly, G. G. , Galliers, R. D., Branncheau, J. C., 1997. Key Issues in Information Systems Management: An International Perspective. Journal of Management Information Systems, 13 (4), 91-116.

Yersel, K., 1970. Türk Madenciliğinin Sorunları. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, s. 69.

4. YAZILARIN YAYIMA KABUL EDİLMESİ

Yazarlar tarafından <http://www.madencilik.org.tr> adresinden girişi yapılan makaleler, değerlendirilmek üzere Yayın Kurulu'nca belirlenen ve o konuda uzman en az iki hakeme gönderilir. Hakem değerlendirmeleri doğrultusunda yazının doğrudan ya da bazı düzeltmeler yapılarak yayımlanmasına ya da yayımlanmamasına Yayın Kurulu'nca karar verilir. Sonuç e-posta ile yazara bildirilir. Düzeltme sürecindeki yazar-editör-hakem döngüsü, yazı içerik ve biçem olarak dergide yayımlanabilir hale gelinceye kadar tekrar ettirilebilir.

GUIDE FOR AUTHORS & PUBLICATION RULES

1. SCOPE AND AIM

Scientific Mining Journal, a publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey, has been published since 1960.

The journal is a medium for the publication of original research papers, critical comprehensive reviews, and technical notes in all fields of mining engineering such as underground and surface mining, and mineral/coal processing. The journal also publishes discussion of papers which have been already published in the journal.

The languages of the journal are Turkish and English. It is published quarterly (March, June, September and December).

The objective of the journal is to contribute to the development of the profession of mining engineering at national and international levels.

2. SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Submission of new articles to Scientific Mining Journal and/or tracking of submitted articles can only be done electronically via the "Submit Your Paper" tab on the internet site, which can be accessed at <http://www.mining.org.tr>.

Before submitting your article, you are required to register with a new account or, if you are already a member, sign in as an "author" with your existing account information.

You have to submit your article prepared in accordance with the following writing instructions as a "Microsoft Word document" with "doc" or "docx" extension via "Online Paper Management System".

Papers 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. GUIDELINE FOR PREPARATION OF PAPERS

You have to create your paper according to the writing instructions described below, and the "Template" under the "Guide for Authors" section at <http://www.mining.org.tr> may help you.

3.1. Font

Manuscripts should be written in Microsoft Word Program with **Arial 10** font and single spaced. **Arial 12** font should be used in the title of manuscript. Bold texts should not be used except headings.

3.2. Page Layout

Text area on Microsoft Word page should be set to A4 paper size (21.0x29.7 cm); top margin: 3.5 cm, bottom margin: 3.2 cm, left margin: 2.5 cm, right margin: 2.4 cm.

The front page of the manuscript should be organized as a single column. In the front page, the title of the manuscript in uppercase, author names and addresses, corresponding author's e-mail address and the abstract with keywords should be written. The title of the manuscript should be chosen to be short (max 2 lines) and to best reflect the subject. If all the authors are from the same institution/organization, affiliation can be written in a single line under the author names. If the authors are from different institutions/organizations, the author names should be separated by superscripts such as a, b, c and address information should be given accordingly. Corresponding author should be necessarily defined by "*" superscript.

The abstract should briefly and concisely convey the purpose, content and the results of the study, not exceeding 200 words in length. References should not be cited in the abstract. Number of the keywords can be up to 5.

The main text of the manuscript should be written as two columns, with column widths of 73 mm and space between columns of 5 mm. Two lines should be left before the main headings in the manuscript, and one line after the headings. In addition, a line space should be left between the paragraphs and the subheadings.

Paragraphs should start at the very left of the text usage area. Tables and figures should be separated from the text by a single space. The total length of the manuscript should not exceed 14 pages. All pages, including the front page, must be numbered.

3.2.1. Headings

All headings should be written in uppercase, with the characters beginning with the leftmost of the text usage area. Headings of each section should be numbered according to the numerical system, such as **1.**, **2.**, etc.

3.2.2. Sub-headings

Subheadings should be written in bold and sentence case (only first letter is capital) beginning from the leftmost 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. The tertiary subheadings should be written in italics and bold without being numbered.

3.3. Equations

If the manuscript involves any equation, then it should be placed by using Insert/Equation steps defined in Microsoft Word. 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. The equations should start from the paragraph beginning line, e.g.,

$$= 10 \times W_i \times \left(\frac{1}{P_{80}} - \frac{1}{F_{80}} \right) \dots\dots\dots (3.6)$$

3.4. Tables, Figures and Photos

Figures and photos can be inserted in color, but resolution should be set to at least 300 dpi, and tables should not be added as images. Only horizontal lines should be used on the tables. The size of the tables should not exceed the specified text area, and the units of values (such as kg, m, C°) in the table should be given. Tables, figures and photos should be referred in the text just before they placed. Table captions should be in sentence case and numbered at the top of the table. Figure and photo captions should be in sentence case, and also numbered just below of them. Punctuation marks should not be placed at the end of the captions. If a table, figure or photo is quoted as it is from any reference, the cited reference should be indicated in parentheses at the end of relevant captions. If the table, figure or photo is too large to fit in a single column, it should be preferred to center the page and give it at the beginning or end of the page.

3.5. Units and Abbreviations

International units (SI) should be used. 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)).

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

3.6. References

All references cited in the manuscript should be listed under the title "REFERENCES" at the end of the text. Arial 9 font should be used. References should be written in alphabetical order by author surnames. Citation to any reference within the text should be made in author surname and year format. However, if the reference is taken from internet and/or the author is not specified, it should be in the form of Anon and year. If there is more than one unspecified reference, then they can be stated as Anon (a), Anon (b), Anon (c), ... Examples of citation to references in the text include: (Garner, 1980), (Gaudin and Fuerstenau, 1955), (Watson et al., 1997), (Madrigal, 1998), (Watson et al., 1997; Madrigal, 1998), (Anon (a), 1999).

References should be written in accordance with the APA format such as:

Gaudin, A. M., Fuerstenau, D. W., 1955. Quartz Flotation with Anionic Collectors. *Trans. AIME*, 202, 958-964.

Watson, R. T., Kelly, G. G. , Galliers, R. D., Branncheau, J. C., 1997. Key Issues in Information Systems Management: An International Perspective. *Journal of Management Information Systems*, 13 (4), 91-116.

Smith, R., 1994. *Principles of Gold Processing*. 2nd Edition, McGraw Hill, pp. 400.

4. ACCEPTANCE OF MANUSCRIPTS TO PUBLISH

Manuscripts are sent to at least two peer-reviewers by the Editorial Board to be evaluated, whom are the experts on that relevant subject. The editorial board decides whether the manuscript can be published or not published directly or through some revisions in accordance with the peer-reviewers' evaluations. The decision is reported to the author via e-mail. The author-editor-reviewer cycle in the revision process can be repeated until the revision becomes publishable as editorial content and style.

2017 YILI HAKEM LİSTESİ

List of Reviewers in 2017

| İsim / Name | | Üniversite / University |
|-----------------|-------------|---------------------------------------|
| Dr. İlker | ACAR | Atatürk Üniversitesi |
| Dr. Ata Utku | AKÇİL | Süleyman Demirel Üniversitesi |
| Dr. Ufuk Gökhan | AKKAYA | İstanbul Üniversitesi |
| Dr. Özgür | AKKOYUN | Dicle Üniversitesi |
| Dr. İbrahim | ALP | Karadeniz Teknik Üniversitesi |
| Dr. Hüseyin | ANKARA | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi |
| Dr. Fatma | ARSLAN | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Vedat | ARSLAN | Dokuz Eylül Üniversitesi |
| Dr. Eşref | ATABEY | Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü |
| Nadir | AVŞAROĞLU | Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü |
| Dr. Nuran | AY | Anadolu Üniversitesi |
| Dr. Mustafa | AYHAN | Dicle Üniversitesi |
| Dr. Alper | BABA | İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü |
| Dr. Cemal | BALCI | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Hakan | BAŞARIR | The University of Western Australia |
| Dr. Ataç | BAŞÇETİN | İstanbul Üniversitesi |
| Dr. Oktay | BAYAT | Çukurova Üniversitesi |
| Dr. Birgül | BENLİ | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Hakan | BENZER | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Sunay | BEYHAN | Dumlupınar Üniversitesi |
| Dr. Nuh | BİLGİN | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Niyazi | BİLİM | Selçuk Üniversitesi |
| Dr. Feridun | BOYLU | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Fırat | BURAT | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. N. Metin | CAN | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Yakup | CEBECİ | Cumhuriyet Üniversitesi |
| Dr. Oktay | CELEP | Karadeniz Teknik Üniversitesi |
| Dr. Kemal | CENGİZ | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Atilla | CEYLANOĞLU | Cumhuriyet Üniversitesi |
| Dr. Mustafa | ÇINAR | Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi |
| Dr. Mustafa | ÇIRAK | Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi |
| Dr. Hanifi | ÇOPUR | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Ahmet | DAĞ | Çukurova Üniversitesi |
| Dr. Ahmet Hamdi | DELİORMANLI | Dokuz Eylül Üniversitesi |
| Dr. Uğur | DEMİR | Dumlupınar Üniversitesi |
| Dr. Nuray | DEMİREL | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |
| Dr. Felat | DURSUN | Dicle Üniversitesi |
| Dr. İ. Göktay | EDİZ | Dumlupınar Üniversitesi |

| | | |
|-------------------|---------------|---------------------------------------|
| Dr. Bayram | ERÇIKDI | Karadeniz Teknik Üniversitesi |
| Dr. Bülent | ERDEM | Cumhuriyet Üniversitesi |
| Dr. Murat | ERDEMOĞLU | İnönü Üniversitesi |
| Dr. Metin | ERSOY | Afyon Kocatepe Üniversitesi |
| Dr. Ömürden | GENÇ | Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi |
| Dr. Tevfik | GÜYAGÜLER | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |
| Dr. Hasan | HACIFAZLIOĞLU | İstanbul Üniversitesi |
| Dr. Mehmet Ali | HİNDİSTAN | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Çetin | HOŞTEN | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |
| Dr. Türker | HÜDAVERDİ | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Bayram | KAHRAMAN | Dokuz Eylül Üniversitesi |
| Dr. Sair | KAHRAMAN | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Kaan | KALKAN | Tübitak |
| Dr. Mehmet | KARADENİZ | Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü |
| Dr. Abdülkadir | KARADOĞAN | İstanbul Üniversitesi |
| Dr. Cengiz | KARAGÜZEL | Dumlupınar Üniversitesi |
| Dr. Doğan | KARAKUŞ | Dokuz Eylül Üniversitesi |
| Dr. Celal | KARPUZ | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |
| Dr. Orhan | KAVAK | Dicle Üniversitesi |
| Dr. Özlem | KAYA | Cumhuriyet Üniversitesi |
| Dr. Ayhan | KESİMAL | Karadeniz Teknik Üniversitesi |
| Dr. Sait | KIZGUT | Bülent Ecevit Üniversitesi |
| Dr. Mustafa | KUMRAL | McGill University |
| Dr. Erkin | NASUF | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Abdullah | OBUT | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Turgay | ONARGAN | Dokuz Eylül Üniversitesi |
| Dr. Ahmet Hakan | ONUR | Dokuz Eylül Üniversitesi |
| Dr. Eren Caner | ORHAN | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Gündüz | ÖKTEN | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Gülhan | ÖZBAYOĞLU | Atılım Üniversitesi |
| Dr. İhsan | ÖZKAN | Selçuk Üniversitesi |
| Dr. Şafak Gökhan | ÖZKAN | İstanbul Üniversitesi |
| Dr. Cüneyt Atilla | ÖZTÜRK | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Okan | SU | Bülent Ecevit Üniversitesi |
| Dr. Ercan | ŞAHİNOĞLU | Karadeniz Teknik Üniversitesi |
| Dr. Sezai | ŞEN | Dokuz Eylül Üniversitesi |
| Dr. Cem | ŞENSÖĞÜT | Dumlupınar Üniversitesi |
| Dr. Celalettin | ŞİMŞEK | Dokuz Eylül Üniversitesi |
| Dr. Şakir | ŞİMŞEK | Hacettepe Üniversitesi |

| | | |
|----------------|-------------|------------------------------------|
| Dr. Tuba | TAŞDEMİR | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi |
| Dr. Erhan | TERCAN | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Öner Yusuf | TORAMAN | Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi |
| Dr. Deniz | TUMAÇ | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Dr. Ayşenur | TUNCUK | Süleyman Demirel Üniversitesi |
| Dr. Levent | TUTLUOĞLU | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |
| Dr. Mustafa | TÜRKER | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Mehmet | TÜRKMENOĞLU | Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Dr. Yaşar | UÇBAŞ | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi |
| Dr. Uğur | ULUSOY | Cumhuriyet Üniversitesi |
| Dr. Suphi | URAL | Çukurova Üniversitesi |
| Dr. Tuncay | USLU | Karadeniz Teknik Üniversitesi |
| Dr. Bahtiyar | ÜNVER | Hacettepe Üniversitesi |
| Dr. Mahmut | YAVUZ | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi |
| Dr. Mehmet | YILDIRIM | Çukurova Üniversitesi |
| Dr. Osman | YILMAZ | Karadeniz Teknik Üniversitesi |
| Dr. Emre | YILMAZKAYA | Hacettepe Üniversitesi |

