

İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

- 81- Araştırma Makalesi / Research Article
Tümay KADAKÇI KOCA
Studying the Effects of Forest Fire on the Consistency Limits of Sandy Soils: A Case Study, Kozağaç, Muğla
Orman Yangının Kumlu Zeminlerin Kıvam Limitleri Üzerindeki Etkisinin Çalışılması: Bir Vaka İncelemesi, Kozağaç, Muğla
- 99- Araştırma Makalesi / Research Article
Hasan KOLAYLI, Muhammet Oğuz SÜNNETÇİ, Murat KARAHAN, Hakan ERSOY
Yangın Sonrası Soğuma Koşullarında Karbonat Yapı Taşlarındaki Mineralojik ve Mikro-Yapısal Değişimlerin Değerlendirilmesi
An Evaluation of Mineralogical and Micro-Structural Changes in Carbonate Building Stones under Post-Fire Cooling Conditions
- 121- Araştırma Makalesi / Research Article
Onur GÜVEN, Cüneyt GÜLER, Mehmet Ali KURT, Ümit YILDIRIM
Tarsus Kıyı Akiferi'nde (Mersin) Meydana Gelen Tuzlanmanın Nedenlerinin Araştırılması
An Investigation into the Causes of Salinization in the Tarsus Coastal Aquifer (Mersin)
- 139- Araştırma Makalesi / Research Article
Muhammet NURDUHAN, Hidayet TAĞA
Silifke-Mut (Mersin) Karayolunda Meydana Gelen Kargıcak Heyelanının Değerlendirilmesi
An Assessment of the Kargıcak Landslide on the Silifke-Mut (Mersin) Highway



EDİTÖR / EDITOR

Tolga ÇAN
tolgacan@cu.edu.tr

YARDIMCI EDİTÖRLER / ASSOCIATE EDITORS

Nihat Sinan IŞIK
nihatsinan@gazi.edu.tr

Mustafa Kerem KOÇKAR
mustafakockar@hacettepe.edu.tr

TEKNİK EDİTÖR / TECHNICAL EDITOR

Müge AKIN
muge.akin@agu.edu.tr

Senem TEKİN
senemtekin@adiyaman.edu.tr

İNGİLİZCE EDİTÖRÜ / ENGLISH EDITOR

Cecile POPP

Makale Gönderim Adresi:

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK. 464 Yenışehir, 06410 Ankara
Tel : (0312) 434 36 01
Faks : (0312) 434 23 88
E-Posta : jmo@jmo.org.tr
URL : www.jmo.org.tr

Yayın Türü: Yaygın Süreli Yayın
Yayın Şekli: Yılda 2 kez (6 ayda bir)
Türkçe ve İngilizce

Yayın Sahibi: TMMOB JMO Adına
Hüseyin ALAN

Yayının İdare Adresi: Kocatepe Mah.
Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

Baskı: ERS Matbaacılık,
Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı
No:87/7 İskitler/Ankara
Tel : (0312) 384 54 88
Baskı Tarihi : Mart 2023
Baskı Adedi : 500

Yayın Kurulu / Editorial Board

Dr. Mutluhan AKIN (Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi)
Dr. Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)
Dr. Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)
Dr. Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Dr. Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)
Dr. Mümtaz ÇOLAK (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Dr. Özcan DUMANLILAR (Demir Export)
Dr. Nusret EMEKLİ (İller Bankası)
Dr. Murat ERCANOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Dr. Nazan Yalçın ERİK (Cumhuriyet Üniversitesi)
Dr. Ünsal GEMİCİ (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Dr. Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Dr. Reyhan Kara GÜLBAY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Dr. Nilgün GÜLEÇ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Dr. Leyla KALENDER (Fırat Üniversitesi)
Dr. Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Dr. Nurkan KARAHANOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Dr. Ali KAYABAŞI (Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi)
Dr. Recep KILIÇ (Ankara Üniversitesi)
Dr. Cem KINCAL (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Dr. Mehmet Yalçın KOCA (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Dr. Ayhan KOÇBAY (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)
Dr. Mustafa KORKANÇ (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)
Dr. Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)
Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Dr. Harun SÖNMEZ (Hacettepe Üniversitesi)
Dr. Mehmet Lütfi SÜZEN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Dr. Gültekin TARCAN (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Dr. Atiye TUĞRUL (İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa)
Dr. Dilek TÜZER (Hacettepe Üniversitesi)
Dr. Asuman TÜRKMEÑOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Dr. Taner ÜNLÜ (Ankara Üniversitesi)
Dr. Ali Bahadır YAVUZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Dr. Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Dr. Koray YILMAZ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Dr. Murat YILMAZ (İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa)

Jeoloji Mühendisliği Dergisi makale ve dizin özleri
Scopus, Google Scholar, TR Dizin, indeksleri tarafından taranmaktadır.

*Journal of Geological Engineering is indexed and abstracted by Scopus,
Google Scholar, TR Dizin.*

**Jeoloji Mühendisleri Odası
Chamber of Geological Engineers
Yönetim Kurulu / Executive Board**

Hüseyin ALAN	Başkan / President
M. Emre KIBRIS	İkinci Başkan / Vice President
Buket YARARBAŞ ECEMİŞ	Yazman / Secretary
Seçkin GÜLBUDAK	Sayman / Treasurer
Hüseyin AKKUŞ	Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Işık ŞENER AYDEMİR	Yayın Üyesi / Member of Publication
Özgür DEĞİRMENCİ	Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs

Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.



Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 46

Sayı - Number 2

Aralık / December 2022

İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

- 81- Araştırma Makalesi / Research Article
Tümay KADAKCI KOCA
Studying the Effects of Forest Fire on the Consistency Limits of Sandy Soils: A Case Study, Kozağaç, Muğla
Orman Yangınının Kumlu Zeminlerin Kıvam Limitleri Üzerindeki Etkisinin Çalışılması: Bir Vaka İncelemesi, Kozağaç, Muğla
- 99- Araştırma Makalesi / Research Article
Hasan KOLAYLI, Muhammet Oğuz SÜNNETÇİ, Murat KARAHAN, Hakan ERSOY
Yangın Sonrası Soğuma Koşullarında Karbonat Yapı Taşlarındaki Mineralojik ve Mikro-Yapısal Değişimlerin Değerlendirilmesi
An Evaluation of Mineralogical and Micro-Structural Changes in Carbonate Building Stones under Post-Fire Cooling Conditions
- 121- Araştırma Makalesi / Research Article
Onur GÜVEN, Cüneyt GÜLER, Mehmet Ali KURT, Ümit YILDIRIM
Tarsus Kıyı Akiferi'nde (Mersin) Meydana Gelen Tuzlanmanın Nedenlerinin Araştırılması
An Investigation into the Causes of Salinization in the Tarsus Coastal Aquifer (Mersin)
- 139- Araştırma Makalesi / Research Article
Muhammet NURDUHAN, Hidayet TAĞA
Silifke-Mut (Mersin) Karayolunda Meydana Gelen Kargıcak Heyelanının Değerlendirilmesi
An Assessment of the Kargıcak Landslide on the Silifke-Mut (Mersin) Highway

Research Article / Araştırma Makalesi

Studying the Effects of Forest Fire on the Consistency Limits of Sandy Soils: A Case Study, Kozağaç, Muğla

*Orman Yangınınun Kumlu Zeminlerin Kıvam Limitleri Üzerindeki Etkisinin Çalışılması:
Bir Vaka İncelemesi, Kozağaç, Muğla*

Tümay KADAKCI KOCA 

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye

Received (Geliş): 20 December (Aralık) 2022, Revised (Düzeltilme): 17 January (Ocak) 2023, Accepted (Kabul): 23 January (Ocak) 2023

ABSTRACT

The changes in physical, chemical, and mineralogical properties of topsoil after forest fires, and their effect on erosion risk, have been previously studied in different geographical regions and ecosystems. It is well known that the risk of erosion increases after fire due to the loss of shear strength and the changes in hydraulic properties. Consistency limits are strongly related to the shear strength of the soil. Nevertheless, few studies have evaluated the consistency limits of naturally burned soils. In addition, determining the consistency limits of sandy soils can be very challenging due to their low plasticity. The temperatures produced by the forest fire that occurred on the left flank of an irrigation dam in Muğla, Kozağaç village, affected the topsoil. Therefore grain size distribution, soil organic content (SOM), and Atterberg limits of 24 soil specimens collected from the burned and unburned locations were studied. It was found that the grain size distribution of the burned soil did not significantly change, whereas clay content and Atterberg limits increased, and SOM decreased. The methodology followed in this study and the results can serve as a base for future studies of the effect of fire on sandy soils.

Keywords: Atterberg limits, sandy soil, forest fire, clay content, organic matter

ÖZ

Orman yangınlarının ardından toprağın üst katmanında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve mineralojik değişimler ve bunların erozyonla ilişkisi bugüne kadar farklı coğrafik bölge ve ekosistemler için çalışılmıştır. Yangın sonrası erozyon riskinin, yangın sonrasında makaslama direnci kaybı ve zeminin hidrolik özelliklerinin değişmesi nedeniyle arttığı bilinmektedir. Kıvam limiti değerleri toprağın makaslama dayanımıyla doğrudan ilişkilidir. Buna karşın, sınırlı sayıda çalışmada doğal yollarla yanmış toprakların kıvam limitleri irdelenmiştir. Buna ek olarak, kumlu zeminlerin kıvam limitlerinin belirlenmesi düşük plastisiteye sahip olmaları nedeniyle oldukça güçtür. Muğla'nın Kozağaç mahallesinde bulunan sulama barajının sol sahilindeki yamaçlarda meydana gelen yangında oluşan sıcaklıklar üst toprağı etkilemiştir. Bu nedenle, yanmış ve yanmamış alanlardan toplanan 24 adet örneğin tane boyu dağılımı, organik madde içeriği (SOM) ve kıvam limitleri belirlenmiştir. Yanmış toprağın tane boyu dağılımında anlamlı bir değişiklik olmadığı ancak kil içeriği ve Atterberg limitlerinin arttığı, SOM'nin ise azaldığı belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan yöntemler ve sonuçlar ileride yangının kumlu topraklar üzerindeki etkisinin araştırılacağı çalışmalar için bir temel olarak kabul edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Atterberg limitleri, kumlu zemin, orman yangını, kil içeriği, organik madde

INTRODUCTION

Forest fires are becoming more intense and frequent in Turkey and the world due to human activities and/or extreme climatic conditions. During a forest fire, the topsoil layer is exposed to high temperatures. As a result, soil structure and texture can be destroyed, water-repellent layers can be formed, and accordingly, water infiltration rapidly decreases; all of which will increase the potential risk of erosion (Inbar et al., 1997; Fox et al., 2007; Cerdà & Doerr, 2008; Zavala et al., 2010; Dlapa et al., 2015; Thomaz, 2021). For these reasons, these studies have addressed the aggregate stability, water repellency, and chemical properties of soil after forest fires, which also promote erodibility of the topsoil layer. The relationship between erodibility and the plasticity of soil has been revealed in literature (Khoirullah et al., 2019; Lalitha et al., 2021; Wang et al., 2021). These studies have mainly focused on cohesive soils and their physical and chemical properties after a forest fire or laboratory heat treatment. However, the susceptibility of sandy soils to erosive processes is greater than that of cohesive soils (Mataix-Solera et al., 2011; Deng et al., 2017).

On the other hand, the consistency properties of sandy soils with a fine fraction higher than 5% can have a profound effect on the engineering behavior of the soil. Therefore, using the changes in plasticity of the topsoil layer while estimating the increasing erosion potential after forest fires may give new insight into understanding the effect of consistency data on erosion potential. To date, few studies have dealt with the changes in consistency limits of soils due to forest fires (Vacchiano et al., 2014; Haake, 2020).

The type of vegetation, the bedrock properties on which the residual soil is developed, and the primary or inherent particle size gradation and permeability of the soil layer play a great role in the degree of change in soil due to forest fires. For this reason, the parametric studies revealing the effect of forest fires on the selected soil parameters need to be evaluated separately for different regions of the world. This study, therefore, seeks to find an appropriate methodology to investigate the changes in the consistency of gravel-bearing sandy soil overlying limestones after the fire that occurred in a pine forest in Muğla. The changes in grain size distribution, clay content, and organic content of the soil due to forest fires were also linked to the consistency of burned and unburned soil. Indeed, this study was not specifically designed to evaluate the factors affecting the determination of consistency limits, or the organic and clay content of the soil. Rather, it demonstrated, for the first time, that consistency limits of naturally burned sandy soils significantly change in proportion to the changes in particle size and organic and clay content. The statistical evidence of the differences between burned and unburned variable data was revealed by post-hoc analyses. The relationships between the variations in consistency with the particle size, and organic and clay content were tested by correlation analyses. However, the generalizability of the findings will depend on the similarity of fire intensity and geographical features.

Study Area

The study area is located on a ridge neighboring an irrigation dam to the south, in Kozağaç, Muğla on the 1/25000 scale N20-b4 map (Figure 1).

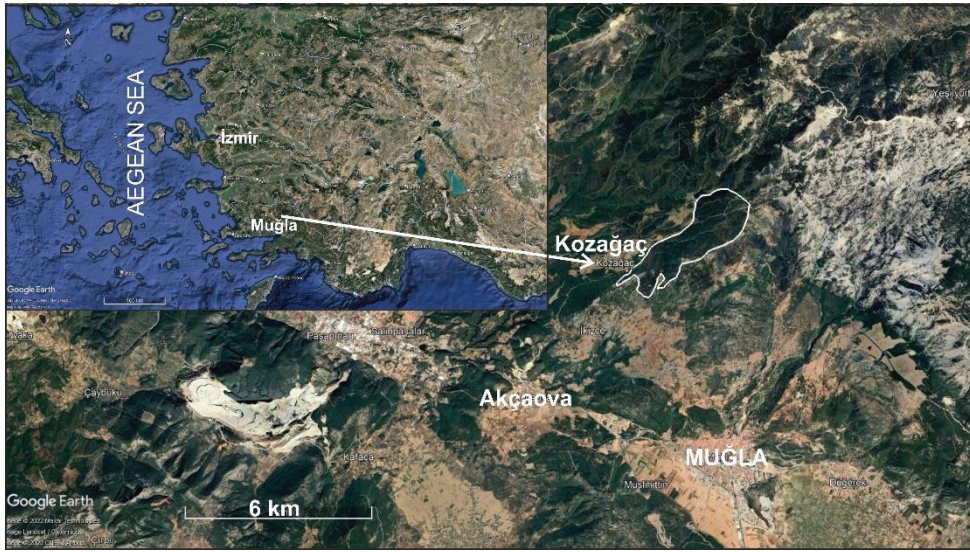


Figure 1. Location map of the study area.

Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

The lowest and highest elevations are 967m and 1235m, respectively. The highest slope angle is 33°. The forest fire that occurred in August 2021 caused flame heights of 3-5m along the black pine (*Pinus nigra* L.) and red pine (*Pinus brutia* Ten.) overstory (General Directorate of Forestry, 2022). The hot and dry winds with a speed of 27km/h provided favorable conditions for the fire to spread and increase in intensity. The annual mean temperature and precipitation in the Muğla city center are 15.2°C and 120.91mm, respectively (TSMS, 2022). The bedrock is Jura-Cretaceous aged, grey-colored fractured limestone (Göktaş, 1998; Gürer et al., 2013; Gül, 2015). The area is referred to as having moderate chemical weathering, according to the classification proposed by Peltier (1950) based on the annual temperature and precipitation. The highly fractured and karstic limestone is overlaid by calcareous regosols (FAO, 2015). The regosols that developed over the soluble rocks such as limestone, constitute weakly-consolidated sand-sized grains, and therefore

have slight wettability. These soils are known to be poor in organic content, which does not allow for aggregation.

MATERIALS AND METHODS

Soil Sampling and Field Observations

The burned and unburned pairs of soil sampling locations on the edges of the fire perimeter were selected from the south-facing slopes with similar elevations (Figure 2). During a forest fire, temperatures reach a maximum at the surface (0 cm) and decrease progressively with depth (DeBano et al., 1979; Campbell et al., 1995; Robichaud and Hungerford, 2000). Accordingly, the effect of burning on soil properties becomes indistinct below 2 or 3cm, principally for low or moderate-intensity fires. For this reason, the soil specimens were extracted from the top 3cm of topsoil within a 30cm x 30cm area. Overall, 2-3kg of soil was gathered from each location. The top 3cm of topsoil contains relatively higher

organic content and facilitates discrimination between burned and unburned samples. The area is a tended forest stand. Field observations on the destruction of vegetation, the degree of charring, and the thickness of ash development have been carried out for additional evidence of the intensity of the fire.

Sieve Analysis and Soil Classification

Sieve analyses were performed following ASTM D6913/D6913M-17 (2021) standards to obtain the grain size distribution of the soil samples. Prior to sieve analyses, the collected soil samples were dried at 65°C in the oven for 24 hours, contrary to the recommended temperature in the standard. The 65°C drying temperature was selected to maintain the organic content, not to alter the calcite and clay minerals, principally for unburned samples. Afterward, No.40, No.10, No.4, and No.200 sieves depending on the grain size observations were used to perform mechanical sieving with a sieve shaker. The percentage of gravel (>4.75mm) and sand size (< 4.75mm) particles, as well as the percentage

of fines (< 0.075 mm), were determined. In conjunction with the Atterberg limit tests, the soil samples were classified according to the USCS classification (ASTM D2487-17e1, 2017).

Sedimentation Analyses

Twenty-four samples having a particle size smaller than 75 microns were used for the sedimentation analysis based on Stokes' law. Glass columns with a diameter of 63 mm were used in this test. 2gr of sodium hexametaphosphate were added to each column filled with distilled water, to separate clay and silt particles. The soil suspension was mixed and was allowed to stand for 22 hours and 10 minutes. Afterward, the suspended clay-sized material was removed with a vacuum-operated siphon. This procedure was repeated until the suspension became clear and purified of clay particles. Afterward, the settled silt-size particles were dried in an oven at 65°C and weighed. Equations 1 and 2 were used to calculate the clay fractions in the total soil weight.

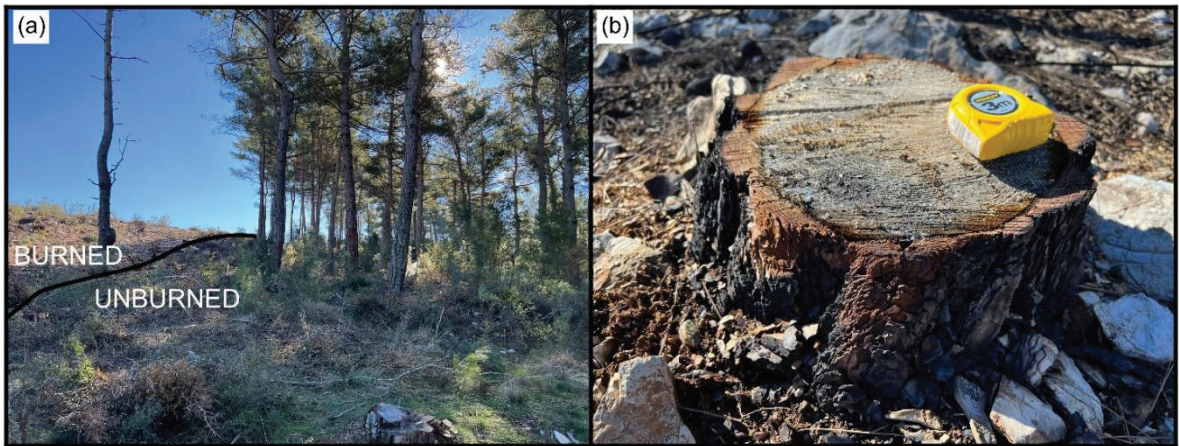


Figure 2. Sampling locations from (a) adjacent burned and unburned areas; (b) near burned tree roots.

Şekil 2. (a) Birbirine komşu olan yanmış ve yanmamış alanlardan; (b) yanmış ağaç köklerinin yakınından örnekleme lokasyonları.

Clay in fines fraction (Cf, %) =

$$\frac{\text{Initial weight} - \text{dried weight after siphoning}}{\text{Initial weight}} \times 100 \quad (1)$$

Clay in total weight (C, %) =

$$\frac{Cf (\%) \times \text{Fines in sieve analysis} (\%)}{100} \quad (2)$$

Loss on Ignition

Loss on ignition (LOI) values, typically determined at 1000°C, represent the amount of organic and inorganic carbon in soil. On the other hand, there have been several attempts to estimate soil organic content (SOM) between temperatures of 200 and 550°C with the loss on ignition method (Schulte et al., 1996; Konare et al., 2010; Salehi et al., 2011; Hoogsteen et al., 2015; Chase, 2022). However, the temperature, duration, sample size, and pre-treatment temperature of soil samples are of great importance in gathering accurate data from LOI. Therefore, a temperature of 350°C, which was also recommended by Salehi et al. (2011), seems to be optimal, as it burns the most organic carbon, destroys less inorganic carbon, and causes less clay or calcite structural water loss. In addition, a sample mass of 20g was used to minimize the variation in LOI values, as suggested earlier by Hoogsteen et al. (2015). The samples were oven dried at 65°C and weighed before they were combusted at 350°C in a Protherm Laboratory Furnace for 3 hours. After combustion, the samples were cooled in a desiccator and weighed again. Finally, the percentage SOM was estimated by Equation 3.

$$\text{SOM} (\%) = \frac{\text{soil weight after combustion} - \text{initial oven dried soil weight}}{\text{initial oven dried soil weight}} \times 100 \quad (3)$$

Atterberg Limits Test

The term consistency refers to the degree of cohesion of the soil particles and to the resistance against forces that deform or rupture the soil

aggregate (Terzaghi et al., 1996). This property is typically attributed to clayey soils. However, non-cohesive soils, which have a considerable amount of fines (5%-50%), should also be investigated in terms of the behavior of their fines fraction.

Atterberg limit tests were performed to determine the liquid limit (LL) and plastic limit (PL) of the soil samples. The LL determination of clayey soils with the Casagrande test was declared to have more sources of error in the operation than the fall-cone method because their principles are different (Dipova, 2011; Haig, 2012). On the other hand, sandy soils have a lower amount of clay in their composition, and the material passing the 0.425mm sieve that is used in the experiment includes more fine sand. The percentage of the sand and silt portion of the soil significantly affects the LL and PL values (Gündüz & Dağdeviren, 2009; Wagner, 2013). As a result, samples are sometimes recorded by the Casagrande test as non-plastic. However, non-plasticity cannot be detected by the fall-cone method (Orhan et al., 2005). For these reasons, the liquid limit of the sandy soils was determined by the Casagrande test device and AASHTO T 89 (2022) Method B was followed. Method B was chosen because it allows the determination of the liquid limit of a greater number of soil samples in relatively less time than the standard method. The soil samples that passed the 0.425mm sieve were prepared for the test. Approximately 50g of the dry sample were hydrated using distilled water and profoundly stirred and chopped with a spatula until a uniform mass of a stiff consistency was achieved. After that, the soil sample was placed in the Casagrande cup and divided into two halves by the AASHTO grooving tool. It is necessary to note here that the AASHTO grooving tool is easier to use in low-plasticity soils such as sandy soils. A blow

number between 22 and 28 was assured to obtain closure of the two halves of the soil paste in the Casagrande cup at least 13mm. Finally, the soil remaining in the Casagrande cup was transferred to the mixing dish without adding any additional water and the test was repeated to ensure that the closure again occurred within the ± 2 blows of the initial test. Finally, a slice of 20gr of soil sample perpendicular to the direction of closure was extracted from the Casagrande cup to obtain water content. The water content obtained from the Casagrande test to determine the liquid limit was later corrected for the number of blows (N), as shown in Equation 4. LL (%) =

$$(\%) = \text{Water content } (\%) \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad (4)$$

On the other hand, the plastic limit of the soil was determined according to the ASTM D4318-17e1 (2018) standard. The wet samples were rolled by palm on a glass plate with adequate pressure to produce a soil thread of 3mm diameter throughout its length. Fissures developed right before the thread reached a diameter of 3.0mm, representing the plastic limit for the soil sample. The average of three tests performed on the same sample was assumed to be the plastic limit. Following this, the plasticity index (PI= LL-PL) was calculated.

Texture classification

According to the USDA (2017), soil texture can be defined by considering the fractions of sand, silt, and clay in the soil. Some researchers have argued that this classification lacks adequate representation of the engineering properties of soils (Das & Sobhan, 2017) because the plasticity of the soil, which is a well-known classifier of soils in terms of engineering behavior, is not considered in the USDA classification. Until

now, the ratio of PI to LL proposed by Moreno-Maroto & Alonso-Azcàrate (2018) was termed the clay factor (CF) by Moreno-Maroto & Alonso-Azcàrate (2022). They used CF with the sand fraction of the soil on the XY chart to classify the texture of soils more precisely. In this study, both the USDA and Moreno-Maroto & Alonso-Azcàrate classifications were utilized to classify the textures of unburned and burned samples before comparing.

Statistical Analyses

Statistical analyses involve tests of normality, correlation, and comparison. The data set consists of 12 burned and 12 unburned samples and both data analyses were performed separately for burned and unburned samples. Since the sample size (n) is 12, initially, the distribution of the dataset, whether it is normally distributed or not, was determined by the Shapiro–Wilk normality test. If the dataset is not normally distributed and/or the sample size is less than 30 ($n < 30$), non-parametric correlation and post-hoc tests are recommended because non-parametric tests are less sensitive to the outliers in the dataset, as they consider the median values, not the mean values. Nevertheless, they are less robust than parametric statistical analyses. That is why, even though the sample size is less than 30 in this study, normality tests were carried out to ensure that non-parametric tests are obligatory. As all the data sets obey normal distribution terms (mod=mean=median), parametric correlation and comparison tests were applied to the dataset. In this context, paired samples t-tests were carried out to compare each paired group (unburned-burned) and quantify the difference and the significance between them. Subsequently, the statistical differences between burned and unburned liquid limit (LL), plastic limit (PL),

plasticity index (PI) values, fines (F), sand (S), clay (C), and soil organic content (SOM) were revealed. Following this, Pearson correlation analyses were carried out to investigate the strength and significance of the relationships between dependent and independent variables. The dependent variables were the percentage changes in LL (ΔLL), PL (ΔPL), and PI (ΔPI). The independent variables were the percentage changes in the sand (ΔS), fines (ΔF), clay (ΔC), and soil organic content (ΔSOM). The percentage changes due to forest fire were calculated as in Equation 5.

$$\Delta (\%) = \frac{\text{Burned data} - \text{Unburned data}}{\text{Unburned data}} \times 100 \quad (5)$$

RESULTS AND DISCUSSION

Changes in Soil Properties After the Forest Fire

The study area is not wide and one geological unit is exposed; furthermore, the fire intensity was observed to be uniformly distributed. Thus, the test data is not largely scattered. Since the Shapiro-Wilk tests yielded $p > 0.05$, indicating the datasets are normally distributed, the parametric statistical analyses were employed on the datasets.

The sandy soils showed a variety of behaviors under rolling for plastic limit; for example, some of them were split into small aggregations of particles in lengths of approximately 10mm, principally from the ends of the soil thread. The others required relatively more pressure to deform the thread, and they almost reached the plastic limit. These experimental observations indicated a low plasticity soil that confirmed the PI values presented in Table 1 and Table 2.

Table 1. Laboratory test results of unburned (UL) samples.

Çizelge 1. Yanmamış (UL) örneklerin laboratuvar deney sonuçları.

SAMPLE	LL (%)	PL (%)	PI (%)	G (%)	S (%)	F (%)	C (%)	CF	SOM (%)	USCS	MA
UL-1	37.1	27.0	10.1	17.6	72.5	9.90	4.2	0.272	5.040	SM	SL
UL-2	37.3	27.4	9.9	18.2	71.7	10.1	4.9	0.265	4.902	SM	SL
UL-3	38.4	26.9	11.5	16.9	69.5	13.6	5.3	0.299	5.102	SM	SL
UL-4	39.9	31.2	8.7	19.6	66.3	14.1	5.9	0.218	2.027	SW-SM	SL
UL-5	38.5	31.8	6.7	18.3	68.3	13.4	5.5	0.174	2.014	SW-SM	SL
UL-6	39.8	28.9	10.9	16.4	69.1	14.5	6.1	0.274	3.456	SM	SL
UL-7	37.1	26.9	10.2	19.4	68.2	12.4	4.3	0.275	4.985	SM	SL
UL-8	37.5	26.1	11.4	17.1	72.2	10.7	5.1	0.304	4.832	SM	SL
UL-9	39.1	28.0	11.1	18.2	68.7	13.1	6.2	0.284	3.856	SM	SL
UL-10	38.6	26.8	11.8	16.8	69.3	13.9	5.8	0.306	5.025	SM	SL
UL-11	40.1	30.5	9.6	20.1	65.4	14.5	6.4	0.239	3.023	SW-SM	SL
UL-12	42.6	31.3	11.3	19.6	64.5	15.9	6.6	0.265	4.125	SW-SM	SL

G: Gravel, F: Fines, S: Sand, C: Clay, CF: Clay Factor, SOM: Soil Organic Matter, USCS: Unified Soil Classification System, MA: Texture classification of Moreno-Maroto & Alonso-Azcarate (2018), SL: Sandy Loam

Kadakci Koca

Table 2. Laboratory test results of burned (BL) samples.

Çizelge 2. Yanmış (BL) örneklerin laboratuvar deney sonuçları.

SAMPLE	LL (%)	PL (%)	PI (%)	G (%)	S (%)	F (%)	C (%)	CF	SOM (%)	USCS	MA
BL-1	42.3	30.7	11.6	17.7	72.3	10.0	4.4	0.274	3.123	SM	SL
BL-2	45.6	33.3	12.3	20.1	69.5	10.4	5.3	0.270	2.426	SM	SL
BL-3	47.8	33.2	14.6	18.7	67.3	14.0	5.9	0.305	2.245	SM	SL
BL-4	49.9	38.8	11.1	20.1	65.3	14.6	6.5	0.222	0.890	SW-SM	SL
BL-5	46.9	38.6	8.3	18.2	68.2	13.6	5.8	0.177	1.230	SW-SM	SL
BL-6	45.9	33.3	12.6	16.9	68.5	14.6	6.3	0.275	2.856	SM	SL
BL-7	43.8	31.7	12.1	19.4	68.1	12.5	4.5	0.276	3.540	SM	SL
BL-8	44.6	31.0	13.6	17.2	72.0	10.8	5.3	0.305	3.358	SM	SL
BL-9	48.9	34.8	14.1	20.6	65.9	13.5	6.8	0.288	2.023	SM	SL
BL-10	46.6	32.1	14.5	16.9	69.0	14.1	6.1	0.311	2.896	SM	SL
BL-11	49.9	37.7	12.2	20.5	64.5	15.0	7.1	0.244	1.056	SM	SL
BL-12	49.8	36.5	13.3	20.2	63.8	16.0	7.0	0.267	3.125	SW-SM	SL

G: Gravel, F: Fines, S: Sand, C: Clay, CF: Clay Factor, SOM: Soil Organic Matter, USCS: Unified Soil Classification System, MA: Texture classification of Moreno-Maroto & Alonso-Azcarate (2018), SL: Sandy Loam

It is also inferred from Table 1 and Table 2 that LL and PL values represent moderate plasticity silt, while the low PI value indicates a considerable amount of fine sand in the tested soil sample, similar to what was determined by Stanchi et al. (2013). A low PI means that soil consistency will change significantly even with a small change in water content, which is an unfavorable engineering property (Mitchell & Soga, 2005; Wagner, 2013). However, the higher the soil plasticity, the more erodible it is, as previously stated by several researchers (e.g. Khoirullah et al., 2019; Ngezahayo et al., 2019). However, much uncertainty still exists about the relationship between the erosion rate and plasticity index for sandy soils. Data from Table 2 can be compared with the data in Table 1, which shows that the LL, PL, and PI increased for burned samples. This finding is consistent with the results from Haake (2020) but contradicts the results of Vacchiano et al. (2014). However, the plasticity classification either changed to moderate plasticity (BL- 1, 2, 4, 7, and 11) or remained the same (BL-3, 5, 6, 8, 9, 10, and 12)

after the forest fire. On the other hand, as the soils have low clay content and relatively higher silt and sand-sized grains, a typical tendency to aggregation after the fire was not observed, which resulted in a slight increase in clay content due to heating.

It is also inferred from the comparison between Tables 1 and 2 that the USCS grain size classification was only changed for the UL-11 sample due to the forest fire. On the other hand, the texture classification on the texture plasticity classification chart by Moreno-Maroto & Alonso-Azcarate (2018) is sandy loam (Figure 3b). This means that the texture classification of the burned and unburned soil samples did not change. Both were classified as sandy loam. Nevertheless, Figure 3a shows that texture classification of the studied soil samples by USDA (2017) failed because the gravel content in the whole sample is up to 20.1%, classifying it as sand on the texture triangle. This finding supports the argument that a considerable amount of gravel content makes the USDA classification unfavorable for coarse-grained soil types.

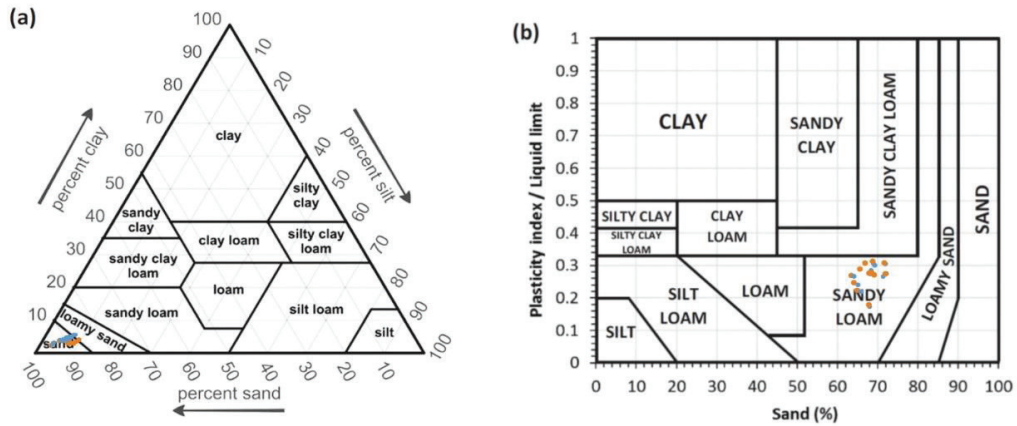


Figure 3. The texture classification of the burned and unburned specimens on (a) texture triangle (USDA, 2017); (b) texture plasticity classification chart by Moreno-Maroto and Alonso-Azcarate (2018).

Şekil 3. Yanmış ve yanmamış numunelerin (a) doku üçgeni (USDA, 2017); (b) Moreno-Maroto & Alonso-Azcarate (2018) tarafından önerilen doku-plastisite sınıflama kartı üzerindeki doku sınıflaması.

The relationships between the physical and consistency properties of unburned and burned samples were illustrated earlier in Figure 4 before the paired sample t-tests. The 1:1 line, which represents the equality between the parameters, was also drawn on the scatter plot graphs.

The paired samples t-tests were used to compare the burned and unburned soil properties and the results are presented in Table 3. The mean differences between groups, the standard deviation of the differences as well as the t and p-values of the statistical analyses, are presented in Table 3. The t-value is a measure of the size

of the difference relative to the variation in the dataset. Thus, as the t-value increases, it refers to a greater difference between the variables. On the other hand, if the p-value is lower than the confidence level (95% confidence level: 0.05 or 99% confidence level: 0.01), it means that there is a statistically significant difference between compared variables. However, it should be noted here that with a very low mean paired difference (low t-value), care must be taken. For example, even though the p-value is lower than 0.05 for the comparison of burned and unburned samples, F and C may not provide clear evidence for the difference between them (FB-F_U; C_B-C_U).

Table 3. The paired samples t-test results.

Çizelge 3. Eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları.

Paired samples	Paired Differences		t-value	p-value**
	Mean	Standard deviation		
LL _B -LL _U *	8	1.57	17.598	0.000
PL _B -PL _U	5.74	1.21	16.385	0.000
PI _B -PI _U	2.26	0.53	14.668	0.000
F _B -F _U	0.25	0.162	5.334	0.000
S _B -S _U	-0.94	0.94	-3.469	0.005
C _B -C _U	0.39	0.19	7.213	0.000
SOM _B -SOM _U	-1.63	0.69	-8.251	0.000

* LL_B: LL of burned samples; LL_U: LL of unburned samples; ** 95%confidence level

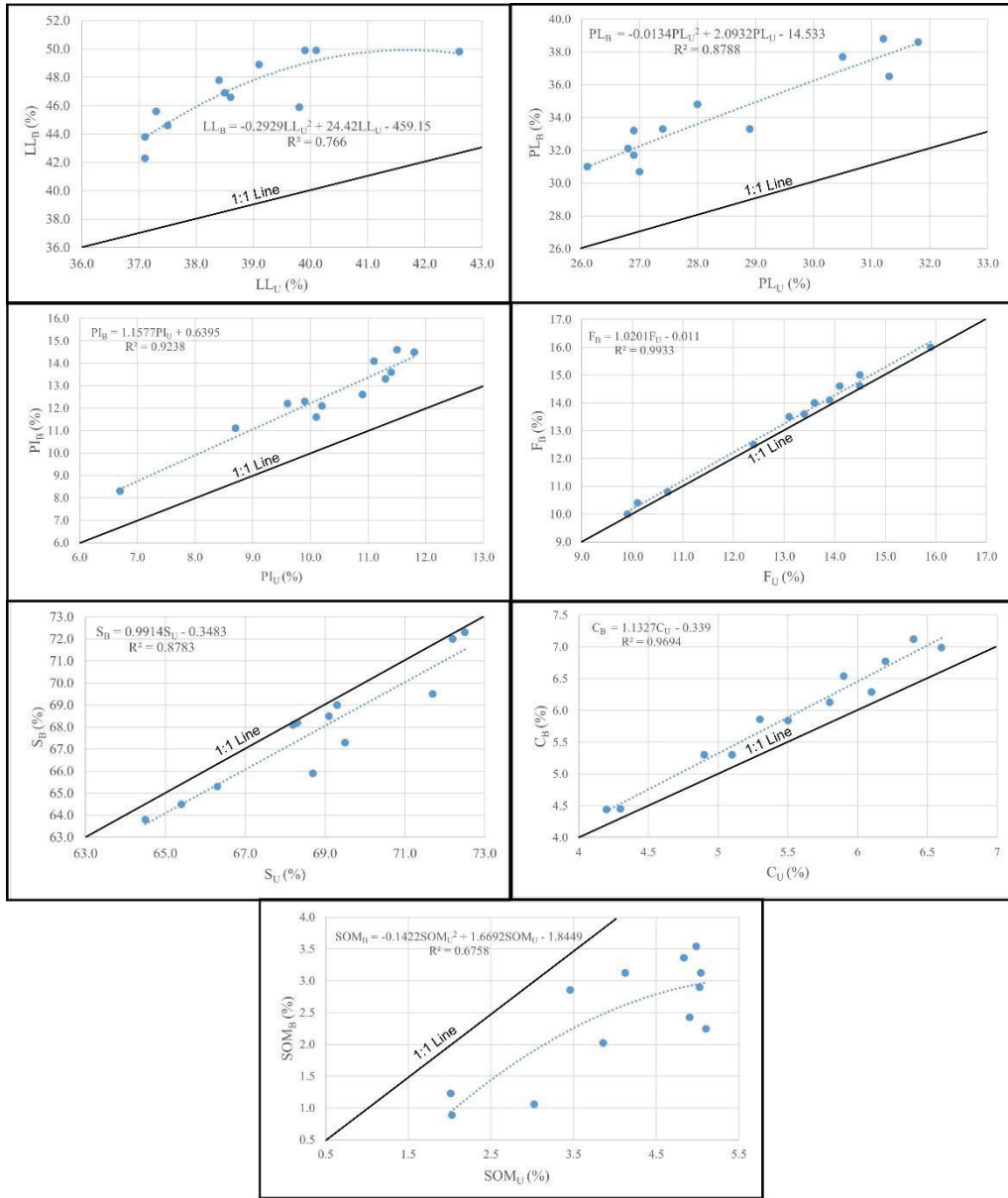


Figure 4. The scatter plot graphs of the physical and consistency parameters of unburned and burned samples.

Şekil 4. Yanmış ve yanmamış örneklerin fiziksel ve kıvam özelliklerinin dağılım grafikleri.

As Table 3 shows, there is a significant difference between the paired groups of LL, PL, PI, F, SOM, and C, except for S, considering the t and p values together. In other words, the consistency limits, clay, and soil organic

content showed statistically significant ($p < 0.05$) differences for the burned and unburned samples, while the sand fraction in burned and unburned samples are very similar (Figure 4, Table 3).

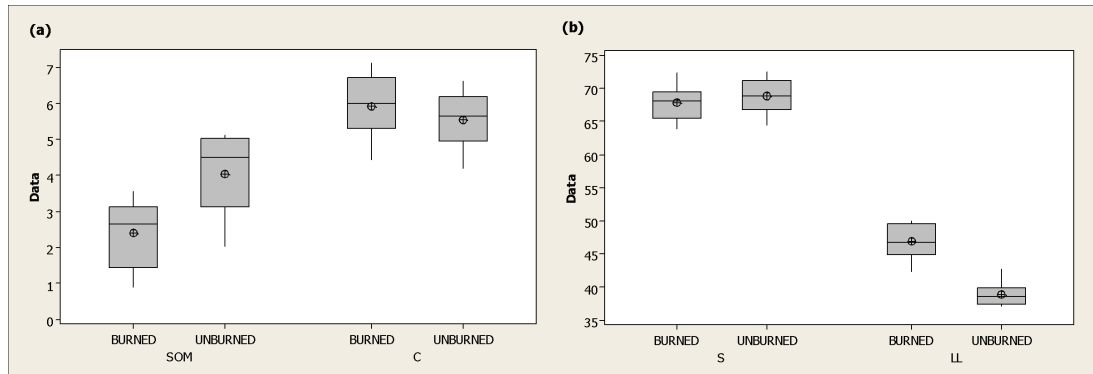


Figure 5. Boxplots showing the variations in (a) soil organic matter (SOM) and clay content (C); (b) the sand percentage (S) and liquid limit (LL) of unburned and burned samples.

Şekil 5. Yanmamış ve yanmış örneklerindeki (a) Toprak organik madde (SOM) ve kil içeriği (C); (b) Kum yüzdesi (S) ve likit limit (LL) değişimlerini gösteren kutu grafikleri.

The sand fraction in burned soils decreased by an average of 1.37%, and the paired sample t-test yielded a p-value of 0.005, both of which indicated an insignificant change. On the other hand, the fines fraction increased by an average of 1.91%, and accordingly, the clay content within the fines increased relatively by an average of 7%. Consequently, LL increased by 20.6 % on average, whereas the PI increased by 22.1% (Figure 5).

SOM in the topsoil decreased due to forest fires (17.36-65.07%). This decrease in SOM has been linked to moderate fire intensity or a heat treatment between 200°C and 400°C in the literature (Fernández et al., 1997; Badía & Martí, 2003; Agbeshi et al., 2022). In contrast to these studies, a slight increase in SOM has also been reported in low-intensity fires (Certini, 2005; Varela et al., 2010a). The findings of this study are consistent with the studies which found a significant decrease in SOM. Likewise, there are contradictory results for grain size because the low, moderate, and high-intensity

burning promotes variations. For example, soil aggregation has been observed to decrease at low-intensity fires (Fox et al., 2007; Varela et al., 2010b; Mataix-Solera et al., 2011), whereas contradictory results have been reported for high temperatures up to 500°C (Soto et al., 1991; Badía & Martí, 2003; Kavdir et al., 2005; Jordán et al., 2011). Previously, high-intensity fires have been argued to produce temperatures between 500 and 700°C, with short peaks of 1500°C (Countryman, 1969; Dunn and DeBano, 1977). On the other hand, field observations on the partial destruction of vegetation, the moderate degree of charring, and the 1.5-3cm of ash thickness, pointed out that the sampling points were subjected to low to moderate fire intensity. These observations are consistent with laboratory test results that indicated the changes in the soil parameters examined in this study likely represent a moderate fire intensity. Overall, it can be stated that forest fire has a remarkable effect on consistency limits as well as clay content and organic content.

Factors Affecting the Consistency Limits After the Forest Fire

The results of the correlation analysis are summarized in Table 4. The percentage changes in sand fraction showed a moderate negative correlation with the changes in consistency limits (Table 4). This means that as the sand fraction decreases, consistency limits increase. Apart from the clay content, the fraction of fines (silt + clay) was found to be more strongly correlated with the changes in consistency limits than the other parameters. It is surprising to find that the consistency limits of the burned samples can be evaluated accurately with the variations in fines content.

Even though the clay content increased 7% for burned samples, the average LL, PL, and PI increased by 20.6%, 20.0%, and 22.1%, respectively. This result is consistent with the findings of Vacchiano et al. (2014) that at a lesser degree of burn severity, there is an increasing trend in Atterberg limits. It is understood that the increase in clay content does not solely explain the increase in consistency limits. When the decrease in sand and clay content are considered together, it is apparent that the fine sand fraction in the sample passing the 0.425mm sieve

decreased. This finding can explain the increase in PI after the fire.

On the other hand, SOM decreased by maximum 65.07% with an average of 41.3%. A similar finding with a higher degree of organic combustion (90%), signifying temperatures of about 400°C, was found by Zavala et al. (2010). In contrast with this, the combustion of the organic content in samples BL 6, 7, and 12 (17%, 28%, 24%) is less than the rest of the samples. Since the field observations of all sampling points are similar, this finding indicates that the fire may have passed over these locations quickly, thereby not increasing the temperature high enough for greater combustion of organic matter. Another explanation for this could be the overestimation of SOM for these samples (BL 6, 7, and 12) from LOI due to the loss of CO₂ from carbonates and the loss of volatile constituents which may be present in non-clay mineral components, as suggested by Grim (1968). Vacchiano et al. (2014) revealed that at high burn severity, as the combustion of SOM increases, the Atterberg limits decrease. Accordingly, it can be argued that in the study area, the fire-induced heating of the topsoil layer was not enough to cause great SOM combustion and aggregation.

Table 4. Pearson correlation coefficients (R) matrix of the relationships between ΔLL , ΔPL , ΔPI , and changes in the sand (ΔS), fines (ΔF), clay (ΔC), and soil organic content (ΔSOM).

Çizelge 4. ΔLL , ΔPL , ΔPI ile kum (ΔS), ince taneler (ΔF), clay (ΔC), toprak organik madde (ΔSOM) içeriğindeki değişimler arasındaki Pearson korelasyon katsayısı (R) matrisi.

%Dependent variables	Independent variables (Pearson correlation coefficients, R)			
	ΔS (%)	ΔF (%)	ΔC (%)	ΔSOM (%)
ΔLL (%)	-0.632*	0.896**	0.836**	0.833**
ΔPL (%)	-0.622*	0.888**	0.822**	0.815**
ΔPI (%)	-0.618*	0.907**	0.862**	0.864**

**99% confidence level ($p < 0.01$); *95% confidence level ($p < 0.05$)

While the changes in SOM and C are evaluated together, it is seen that the small amount of change in ΔC (%) is strongly related to the decrease in ΔSOM (%) with a high coefficient of determination ($R^2 = 0.8567$) (Figure 6). As a result of correlation analyses, ΔF , ΔSOM , and ΔC could emerge as the predictors of the change in consistency limits after the fire. However, when the results of paired sample t-test and correlation analyses are interpreted together, the changes in SOM after the fire seem to be a major factor affecting the changes in consistency limits. This interpretation is in accordance with the significant positive relationship between aggregation and organic matter found in previous studies (Soto et al., 1991; Varela et al., 2010a). Overall, this leads to an increase in the plasticity of the soil.

CONCLUSIONS

This study investigates the effect of a forest fire that occurred in Kozağaç, Muğla, on the

consistency limits of sandy soil in terms of its particle size, organic matter, and clay content. The statistical analyses revealed that the forest fire burned the topsoil and led to disaggregation in the soil structure, which is strongly related to the destruction of organic matter because organic matter is the main agent that promotes aggregation in the soil. Accordingly, the fine sand and clay fractions in the soil increased. It is also necessary to note that particle size distribution, consistency, and organic matter determination techniques all have advantages and drawbacks that control the accuracy of the obtained data. For comparison purposes, it is convenient to use one accepted method for testing, which must remain consistent throughout all the samples tested. Therefore this finding, while preliminary, suggests that the methodology described and followed in this study can be a guide for comparing the burned and unburned specimens in terms of their consistency limits.

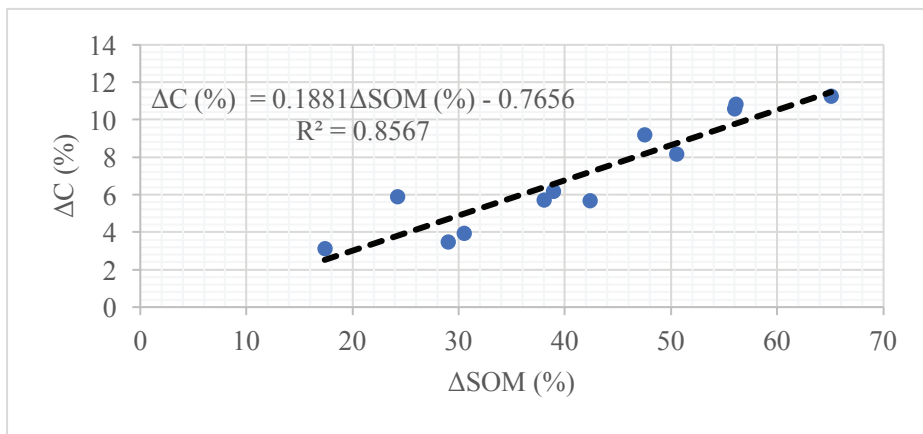


Figure 6. The relationship between the changes in clay and soil organic matter.

Şekil 6. Kil ve toprak organik maddesindeki değişimler arasındaki ilişki.

The degree of changes in the examined parameters also indicated a moderate intensity over the sampling area. This finding confirmed the field observations that the sampling locations in this study involve a very uniformly burned area. Consequently, strong correlations between variables and significant differences in consistency limits and other soil properties were obtained, whereas the texture of the soil did not show any change. However, it should be noted that while studying different fire intensity zones in the same fire-prone area, results may show some discrepancies and thus the findings of this study cannot be extrapolated to all sandy soils. Further studies to enhance the findings of this study may account for the sampling locations from a greater area with a variety of fire intensities.

References

- AASHTO T89 (2022). *Standard method of test for determining the liquid limit of soils method B*. American Association of State Highway and Transportation Officials, US.
- Agbeshi, A.A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, 33, 1419-1441.
- ASTM D2487-17e1 (2017). *Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D4318-17e1 (2018). *Standard test methods for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D6913/D6913M-17 (2021). *Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Badía, D., Martí, C. (2008). Fire and rainfall energy effects on soil erosion and runoff generation in semi-arid forested lands. *Arid Land Research and Management*, 22, 93-108. <https://doi.org/10.1080/15324980801957721>
- Campbell, G.S., Jungbauer, J.D., Bristow, K.L., Hungerford, R.D. (1995). Soil temperature and water content beneath a surface fire. *Soil Science*, 159(6), 363-374. <https://doi.org/10.1097/00010694-199506000-00001>
- Cerdà, A., Doerr & S.H. (2008). The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. *Catena*, 74, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.03.010>
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia*, 143, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8>
- Chase, A. (2022). *Using soil testing data to examine organic carbon changes during the past 27 years in Maine agricultural soils* [PhD thesis]. University of Maine, USA.
- Countryman, C. M. (1964). *Mass fires and fire behavior*. USDA Forest Service, Research Paper PSW-19. https://www.fs.usda.gov/psw/publications/documents/psw_rp019/psw_rp019.pdf.
- Das, B.M., Sobhan, K. (2017). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning, USA, 766 p.
- DeBano, L.F., Rice, R.M., Conrad, C.E. (1979). *Soil heating in chaparral fires: effects on soil properties, plant nutrients, erosion, and runoff*. USDA Forest Service Research Paper PSW-145. https://www.fs.usda.gov/psw/publications/documents/psw_rp145/psw_rp145.pdf.
- Deng, Y., Cai, C., Xia, D., Ding, S., Chen, J., Wang, T. (2017). Soil Atterberg limits of different weathering profiles of the collapsing gullies in the hilly granitic region of southern China. *Solid Earth*, 8(2), 499-513. <https://doi.org/10.5194/se-8-499-2017>.
- Dipova, N. (2011). Determination of liquid limit of soils using one point fall cone method. *Journal of Geological Engineering*, 35(1), 27-42.
- Dlapa, P., Bodi, M.B., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Doerr, S.H. (2015). Organic matter and wettability characteristics of wildfire ash from Mediterranean conifer forests. *Catena*, 135, 369-376. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.018>.

- Dunn, P. H., DeBano, L.F., (1977). Fire's effect on biological and chemical properties of chaparral soils. *Proceedings of Symposium on Environmental Conservation: Fire and Fuel Management in Mediterranean Ecosystems*, H.A. Mooney & C.E. Conrad (eds.), USDA Forest Service WO-3, Palo Alto, CA. Washington D.C., USA, pp. 75-84.
- FAO (2015). *World Reference Base for Soil Resources International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106*. <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf>.
- Fernández, I., Cabaneiro, A., Carballas, T. (1997). Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00289-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00289-1)
- Fox, D.M., Darboux, F., Carrega, P. (2007). Effects of fire-induced water repellency on aggregate stability, splash erosion, and saturated hydraulic conductivity for different size fractions. *Hydrological Processes*, 21, 2377-2384. <https://doi.org/10.1002/hyp.6758>
- General Directorate of Forestry (2022). *GIS based e-map application*. <https://cbs.ogm.gov.tr/vatandas/>
- Göktaş, F. (1998). Stratigraphy and sedimentology of Neogene sedimentation around Muğla (SW Anatolia). *Mineral and Research Institute of Turkey Report No: 10225*, Ankara, Turkey, 181 p.
- Grim, R.E. (1968). *Clay mineralogy*, 2nd edition. McGraw-Hill, 596 p.
- Gül, M. (2015). Lithological properties and environmental importance of the Quaternary colluviums (Muğla, SW Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 74, 4089-4108. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4506-4>
- Gündüz, Z., Dağdeviren, U. (2009). The effects of sand particles on the determination of consistency limits. *İMO Technical Journal*, 4701-4715.
- Gürer, Ö.F., Sanğu, E., Özburan, M., Gürbüz, A., Sarıca-Filoreau N. (2013). Complex basin evolution in the Gökova Gulf region: implications on the Late Cenozoic tectonics of southwest Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 102, 2199-2221. <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0909-1>
- Haake, S. (2020). *Burn severity and its impact on soil properties: a study of the 2016 Erskine fire in the southern Sierra Nevada* [MSc. Thesis]. California State University, Bakersfield.
- Haigh, S.K. (2012). Mechanics of the Casagrande liquid limit test. *Canadian Geotechnical Journal*, 49(9), 1015-1023. Corrigenda, 49(9), 1116 and 49(11), 1329. <https://doi.org/10.1139/t2012-066>
- Hoogsteen, M.J.J., Lantinga, E.A., Bakker, E.J., Groot, C.J., Tiftonell, P.A. (2015). Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss. *European Journal of Soil Science*, 66, 320-328. <https://doi.org/10.1111/ejss.12224>
- Inbar, M., Wittenberg, L., Tamir, M. (1997). Soil erosion and forestry management after wildfire in a Mediterranean woodland, Mt. Carmel, Israel. *International Journal of Wildland Fire*, 7, 285-294.
- Jordán, A., Zavala, L.M., Mataix-Solera, J., Nava, A.L., Alanís, N. (2011). Effect of fire severity on water repellency and aggregate stability on Mexican volcanic soils. *Catena*, 84, 721-726. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.10.007>
- Kavdir, Y., Ekinci, H., Yüksel, O., Mermut, A.R. (2005). Soil aggregate stability and 13C CP/MAS-NMR assessment of organic matter in soils influenced by forest wildfires in Çanakkale, Turkey. *Geoderma*, 129, 219-229. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.01.013>
- Khoirullah, N., Mufti, I.J., Sophian, I., Yan, T., Iskandarsyah, W.M., Muslim, D. (2019). Erosion potential based on erodibility and plasticity index data on Cilengkrang, Bandung, west Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 396, 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/396/1/012035>
- Konare, H., Yost, R.S., Doumbia, M., McCarty, G.W., Jarju, A., Kablan, R. (2010). Loss on ignition: Measuring soil organic carbon in soils of the Sahel, West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 5(22), 3088-3095.

- Lalitha, M., Anil Kumar, K.S., Nair, K.M., Dharumarajan, S., Koyal, A., Khandal, S., Kaliraj, S., Hegde, R. (2021). Evaluating pedogenesis and soil Atterberg limits for inducing landslides in the Western Ghats, Idukki District of Kerala, South India. *Natural Hazards*, 106, 487-507. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04472-0>
- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., Martínez-Zavala, L. (2011). Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth Science Reviews*, 109(1-2), 44-60. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.08.002>
- Mitchell, J.K., Soga, K., (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*, 3rd edition. John Wiley & Sons Inc., New York, 592 p.
- Moreno-Maroto, J.M., Alonso-Azcàrate, J. (2018). What is clay? A new definition of “clay” based on plasticity and its impact on the most widespread soil classification systems. *Applied Clay Science*, 161, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.04.011>
- Moreno-Maroto, J.M., Alonso-Azcàrate, J. (2022). Evaluation of the USDA soil texture triangle through Atterberg limits and an alternative classification system. *Applied Clay Science*, 229, 106689. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106689>
- Ngezahayo, E., Burrow, M.P.N., Ghataora, G.S. (2019). The advances in understanding erodibility of soils in unpaved roads. *Avestia Publishing International Journal of Civil Infrastructure*, 2, 18-29. <https://doi.org/10.11159/ijci.2019.002>
- Orhan, M., Özer, M., Işık, N.S. (2005). Comparison of Casagrande and cone penetration tests for the determination of the liquid limit of natural soils. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(4), 711-720.
- Peltier, L.C. (1950). The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. *Annals of the Association of American Geographers*, 40, 214-236. <https://doi.org/10.2307/2561059>
- Robichaud, P.R., Hungerford, R.D., (2000). Water repellency by laboratory burning of four northern Rocky Mountain forest soils. *Journal of Hydrology*, 231-232, 207-219. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00195-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00195-5)
- Salehi, M.H., Hashemi Beni, O., Beigi Harchegani, H., Esfandiarpour Borujeni, I., Motaghian, H.R. (2011). Refining soil organic matter determination by loss-on-ignition. *Pedosphere*, 21(4), 473-482. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60149-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60149-5)
- Schulte, E.E., Hopkins, B.G. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. *SSSA Special Publication; Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*, F.R. Magdoff, M.A. Tabatabai, E.A. Hanlon (eds.) Soil Science Society of America, USA, 21-31.
- Soto, B., Benito, E., Diaz-Fierros, F. (1991). Heat-induced degradation processes in forest soils. *International Journal of Wildland Fire*, 1, 147-152. <https://doi.org/10.1071/WF9910147>
- Stanchi, S., Freppaz, M., Godone, D., Zanini, E. (2013). Assessing the susceptibility of alpine soils to erosion using soil physical and site indicators. *Soil Use and Management*, 29, 586-596. <https://doi.org/10.1111/sum.12063>
- Terzaghi, K., Peck, R. B., Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*, 3rd edition. Wiley, New York, NY, USA, 592 p.
- Thomaz, E.L. (2021). Effects of fire on the aggregate stability of clayey soils: A meta-analysis. *Earth-Science Reviews*, 221, 103802. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103802>
- Turkish State Meteorological Service (TSMS) (2022). *Statistical precipitation and temperature records*. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MUGLA>.
- USDA (2017). Soil survey manual. *Soil Survey Division Staff; Soil Conservation Service Volume Handbook 18*. U.S. Department of Agriculture, 639 p.
- Vacchiano, G., Stanchi, S., Marinari, G., Ascoli, D., Zanini, E., Motta, R. (2014). Fire severity, residuals and soil legacies affect regeneration of Scots pine in the Southern Alps. *Science of the Total Environment*, 472, 778-788. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.101>
- Varela, M.E., Benito, E., Keizer, J.J. (2010a). Effects of wildfire and laboratory heating on soil

- aggregate stability of pine forest in Galicia: the role of lithology, soil organic matter content and water repellency. *Catena*, 83, 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.08.001>
- Varela, M.E., Benito, E., Keizer, J. (2010b). Wildfire effects on soil erodibility of woodlands in NW Spain. *Land Degradation & Development*, 21, 75-82. <https://doi.org/10.1002/ldr.896>
- Wagner, J.F. (2013). Mechanical properties of clays and clay minerals. *Developments in Clay Science*, 5, 347-381. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098258-8.00011-0>
- Wang, Q., Zhou, P., Fan, J., Qiu, S. (2021). Study on parameters of two widely used cohesive soils erosion models. *Water*, 13, 3621. <https://doi.org/10.3390/w13243621>
- Zavala, L.M., Granged, A.J.P., Jordan, A., Barcenas-Moreno, G. (2010). Effect of burning temperature on water repellency and aggregate stability in forest soils under laboratory conditions. *Geoderma*, 158 (3-4), 366-374. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.06.004>



Araştırma Makalesi / Research Article

Yangın Sonrası Soğuma Koşullarında Karbonat Yapı Taşlarındaki Mineralojik ve Mikro-Yapısal Değişimlerin Değerlendirilmesi

An Evaluation of Mineralogical and Micro-Structural Changes in Carbonate Building Stones under Post-Fire Cooling Conditions

Hasan KOLAYLI , Muhammet Oğuz SÜNNETÇİ* , Murat KARAHAN , Hakan ERSOY 

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

Gelis, (Received): 29 Aralık (December) 2022, Düzeltme (Revised): 24 Ocak (January) 2023, Kabul (Accepted): 01 Şubat (February) 2023

ÖZ

Bu çalışmada yangın sonrası farklı soğutma modellerinin etkisi incelenmiştir. Isıtılan kayalar; (1) doğal çevre koşullarını temsil etmek için oda sıcaklığında, (2) soğuk mevsimleri temsil etmek için sıfırın altında ve (3) yangına müdahale senaryosu göz önüne alınarak suda soğumaya maruz bırakılmıştır. Çalışmada yapı taşı olarak sıklıkla kullanılan traverten, mermer ve kireçtaşı türündeki karbonat kayaları kullanılmıştır. Kayaların mineralojik bileşimlerini ve ısıtma-soğutma işlemlerinden sonra mineralojik değişimleri belirlemek için ince kesit incelemeleri ve XRD analizleri yapılmış, mikro-kırık gelişimini ortaya çıkarmak amacıyla SEM görüntüleri kullanılmış, fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimleri belirlemek için jeomekanik deneyler uygulanmıştır. Soğuma sonrasında, yeni mikro-çatlakların oluşumundan ziyade, mevcut mikro-çatlakların büyüdüğü görülmüştür. Kayaların dayanım özellikleri, soğuma süreçlerinden fiziksel özelliklere göre daha fazla etkilenmiş ve en düşük dayanım değerleri suda soğuma sonrası gözlenmiştir. Ani soğuma sonrası traverten ve mermerlerin çekme dayanımı %70-80 arasında azalırken, kil içeren kireçtaşlarında bu değer %30'u geçmemiştir. Sonuçlar, mevcut mikro-çatlakların büyümesi nedeniyle ani soğumanın genellikle yavaş soğumaya göre daha fazla termal hasara neden olduğunu, soğumanın kayaların termal bozunması üzerinde ısıtmadan daha etkili olduğunu ve kil içeriğine bağlı olarak bu etkinin arttığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Soğuma şekli, karbonat kayalar, termal hasar, yangın sonrası, yapı taşı

ABSTRACT

This study investigated the effects of different post-fire cooling types. Heated rocks were cooled (1) at room temperature to represent natural environmental conditions, (2) below zero to represent cold seasons, and (3) in water to mimic fire fighting scenarios. The study used, 3 different carbonate rocks frequently used as building material; travertine, marble, and limestone. Thin section studies and XRD analyzes were carried out to determine the mineralogical composition of the rocks and the mineralogical changes after the heating-cooling processes; SEM images were used to reveal the microfracture development; and geo-mechanical experiments were conducted to determine the changes in physical and strength properties. After cooling, it was observed that, rather than the formation of new micro-cracks, existing micro-cracks grew. The strength properties of the rocks were more affected by cooling processes than the physical properties, and the lowest strength values were observed after cooling in water. While the tensile strength of travertine and marble decreased 70-80% after sudden cooling, this value did not exceed 30% in limestone containing clay. The results show that rapid cooling generally causes more thermal damage than slow cooling due to

the growth of existing micro-cracks; and that cooling has a greater impact on the thermal degradation of rocks than heating, and this effect increases depending on the clay content.

Key Words: *Cooling type, carbonate rocks, thermal damage, post-fire, building stones*

GİRİŞ

Erozyon, donma-çözülme ve ıslanma-kuruma döngüleri, oksidasyon ve hidroliz gibi kimyasal olaylar kayaçların mikro-yapısal özelliklerinin değişmesinde, dolayısıyla dayanımlarının azalmasında etkili olan doğal ve yavaş süreçlerdir. Bu süreçler statik ve dinamik yükler, asidik çözeltiler ve yüksek sıcaklıklar gibi çevresel koşulların etkisiyle hızlanabilir. Kayaçlar; jeotermal alanlar, radyoaktif atık barındıran derin jeolojik bariyerler, gömülü petrol/doğal gaz hatları ve yüksek voltajlı güç kabloları gibi mühendislik uygulamalarının yapıldığı bölgeler, sıkıştırılmış veya sıvılaştırılmış doğal gaz/petrol barındıran yeraltı depoları ve derin yeraltı madenleri gibi alanlarda yüksek sıcaklıklara maruz kalabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayaçların fiziksel, dayanım ve mineralojik özelliklerindeki değişime (Ersoy vd., 2019; Zhu vd., 2020; Ersoy vd., 2021a; Meng vd., 2021; Wang vd., 2022) veya kayaçların termal iletkenliklerinin belirlenmesine (Nasseri vd., 2013; Pei vd., 2018; Villagraga vd., 2018; Abdulagatova vd., 2020; Emirov vd., 2021) odaklanan birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunda bir standart mevcut olmayıp, ısınma oranı, uygulanacak maksimum sıcaklık, maruz kalma süresi ve soğuma şekli çalışmadan çalışmaya farklılık göstermektedir. Çalışmaların çoğunda uygulanacak deneysel prosedürün ne tür bir ortamı, karakterize ettiği belirsizdir. Popov vd. (2016) tarafından hazırlanan bir "ISRM Önerilen Yöntem" mevcut olsa da bu yöntem yalnızca termal iletkenlik, termal yayılma ve hacimsel ısı kapasitesi parametrelerinin ölçülmesine yönelik detaylı bir metodoloji sunmaktadır.

Önerilen bir yöntem mevcut olmadığı için çalışmalarda genel olarak, hızlı ısıtmanın neden olduğu termal hasarı önlemek için kayalar genellikle lineer artış oranları dikkate alınarak ısıtılmış ve ısıtma hızı genellikle 1-10°C/dak arasında tutulmuştur. Ayrıca, ani soğuma etkisini ortadan kaldırmak için kayaçlar oda sıcaklığında ve/veya fırında yavaşça soğutulmuştur. Bu yavaş ısıtma ve soğuma oranları jeotermal sahalar, derin maden sahaları ve nükleer atıkların depolandığı derin jeolojik bariyerler için kabul edilebilir olsa da bir yangın sırasında sıcaklık artışı ve çevresel koşullara bağlı olarak meydana gelecek soğuma şeklini simüle etmek için yetersizdir.

Diğer sıcaklık koşullarından farklı olarak yangın anında ortam sıcaklığı doğrusal olarak artmaz, aksine aniden yükselip 5 dakikada 500°C'ye, 30 dakika sonra 800 °C'ye ulaşabilir (Ersoy vd., 2021b). Bu artış çoğunlukla logaritmik veya üsteldir ve en yüksek artış oranı ilk 5 dakika içinde gerçekleşir. Bu nedenle, özellikle yangınların kayalar üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda, ısı artış oranının, maksimum sıcaklığın, maruz kalma süresinin ve soğuma şeklinin gerçeğe yakın bir şekilde simüle edilmesi gerekir (Biro vd., 2019; Wang vd., 2020). Yeraltı madenlerinde meydana gelen grizu patlamalarında veya taş binalarda meydana gelen yangınlarda kayaçlar çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarından, soğuma şekli kayaçların dayanımının değişmesinde en az çevre koşullarının değişmesi kadar etkili olmaktadır (Sha vd., 2019; Han vd., 2019; Wang vd., 2020).

Birçok çalışmada yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan kayaçlar oda sıcaklığında soğutulsa da son yıllarda sıcak kuru kaya (SKK) jeotermal

sahalarında meydana gelen yüksek iletkenliğe sahip ikincil çatlakların oluşması sürecini simüle eden çalışmalar önem kazanmıştır (Wu vd., 2019; Chen vd., 2020; Feng vd., 2020; Sha vd., 2020; Rong vd., 2021). Kumari vd. (2017) granit örneklerini 800 dereceye kadar yüksek sıcaklıklara tabi tutmuş ve örnekleri fırın içinde çok yavaş ve su içinde ani soğumaya bırakmıştır. Özellikle ısıtılmış örneklerde ani soğumanın dayanım özelliklerindeki değişimde çok etkili olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde Kara (2021) tarafından 700 dereceye kadar ısıtılan kireçtaşı örnekleri su püskürtmeye maruz bırakılmış, ani soğuyan örneklerde boyuna dalga hızının (V_p) %70, tek eksenli sıkışma dayanımının (UCS) ise %45'in üzerinde değer kaybettiği ortaya koyulmuş ancak farklı soğumanın etkisinin net olarak görülmediği belirtilmiştir.

Bazı çalışmalarda ise ani soğutma etkisi su ve/veya sıvı nitrojen (LN_2) kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır (Wu vd., 2019; Sha vd., 2020; Rong vd., 2021). Sha vd. (2020) 600 °C kadar ısıtılan granitleri farklı soğuma şekillerine maruz bırakmış; artan sıcaklıklara bağlı olarak dayanımın sürekli azaldığı ve bu azalmanın en fazla LN_2 'ye maruz kalan örneklerde en az ise havada soğuyan örneklerde olduğu belirlemiştir. Benzer şekilde Rong vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada granit örnekleri 300 dereceye kadar ısıtılarak havada LN_2 de olmak üzere farklı soğuma şekillerine maruz bırakılmış, bu süreç 24 döngü sürdürülmüştür. Özellikle soğumadan bağımsız olarak ısınma-soğuma döngülerinin kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde değiştirdiği belirlenmiştir. Çalışmada LN_2 ile soğumaya maruz kalan örneklerde dayanımın daha fazla azaldığı net olarak görülmüştür. Özellikle ani soğuma karşısında yeni çatlak oluşumundan çok var olan çatlakların büyümesi söz konusu olduğu savunulmuştur.

Araştırmacılar su veya sıvı nitrojen (LN_2) kullanarak ani soğumanın yüksek sıcaklıklara maruz kalmış kayaçların dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sıvı nitrojende soğutulmuş örneklerin en düşük dayanım değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanında, bu çalışmalarda 500 °C'ye kadar ısıtılan kayaçlarda soğuma şeklinin ve ısınma/soğuma hızlarının (hızlı veya yavaş) pek bir öneminin olmadığı, maksimum sıcaklığın ise dayanım üzerinde önemli bir rol oynadığı da yine bu çalışmalarda ileri sürülmüştür (Han vd., 2019; Wu vd., 2019; Shao, 2020).

Han vd. (2019) yeraltı madenciliğinde bir yangın çıkması durumunda müdahale sonrasında ani soğumanın söz konusu olacağını belirtmiş, 800 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan kumtaşı örneklerinde ani soğumanın 500 °C'den daha fazla ısınan örnekler üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Wu vd. (2019) (b) tarafından yapılan çalışmada 800 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz kalan granit örneklerinde farklı soğuma durumlarında dayanımın sürekli azaldığı, azalmanın en fazla suda soğuyan örneklerde en az ise fırın içinde soğuyan örneklerde olduğunu belirtilmiştir. Bununla birlikte soğuma şeklinin ve hızının 400 °C'ye kadar ısıtılan örneklerin dayanımı üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir. Shao (2020) tarafından granit örnekleri 1000 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra LN_2 ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Çalışmada 500 °C'ye altında soğuma etkisinin önemsiz olduğu vurgulanmış, bu sıcaklıktan sonra ise LN_2 ile soğuyan örneklerin dayanımlarında azalış net olarak görülmüştür. Bu çalışmaların sonuçları termal bozulmanın en önemli sebebinin sıvı nitrojen ile ani soğuma olduğunu ve kayacın mineralojik bileşiminin dayanımın azalması üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir.

Benzer şekilde Li vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada da suda soğuyan örneklerin havada soğuyan örneklere göre ani soğumadan daha fazla etkilendiği, ancak soğumanın 400°C sıcaklıktan sonra etkili olduğu belirtilmiştir. Shen vd. (2020) tarafından yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan granitler farklı sıcaklıklardaki sıvılara (-20, 0 ve 20 °C) maruz bırakılmış, özellikle Vp ve UCS değerlerinde her koşulda azalış kaydedilmiş, ancak en düşük dayanım değerleri ısınma sonrası -20 °C'ye maruz kalan örneklerde görülmüştür. Çalışmada öne çıkan en önemli sonuç soğuma şeklinin ancak 550 °C'den sonra önem kazandığı, daha düşük sıcaklıklarda soğuma şeklinin önemsiz olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte su ve hava sıcaklığının aynı olması durumunda soğuma şeklinin öneminin olmadığı belirtilmiştir.

Li vd. (2019) kumtaşlarını 600 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz bırakmış ve kayaçların fiziksel ve dayanım özellikleri üzerinde ani soğuma etkisini araştırmıştır. Çalışmada ani soğuma su ve LN₂ (sıvı nitrojen) ile gerçekleştirilmiş her iki durumda da kayaçların dayanımlarında sürekli azalma belirlenmiştir. Ani soğumaya bağlı gelişen kırıkların LN₂ ye maruz kalan kayaçlarda arttığı belirtilmiştir. Çalışmada yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan kumtaşı örneklerinin havada soğutulması durumunda dayanımlarının ilk 200-300 °C'ye kadar artabileceği belirtilmiş, ancak ani soğuma söz konusu ise dayanımın her sıcaklık kademesinde azaldığı belirlenmiştir. Benzer sonuç Ersoy vd. (2021b) tarafından karbonat kayaçlar üzerinde yapılan çalışmada da belirtilmiştir.

Browning vd. (2016) tarafından volkanik kayaçlar 1100 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak ve normal koşullarda soğumaya bırakılmıştır. Soğuma sırasında

eş zamanlı akustik emisyon ve Vp ölçümleri gerçekleştirilmiş mikro kırık oluşumunda soğumanın daha etkili olduğunu belirtilmiştir. Ancak ister ısınma ister soğuma olsun yeni kırık oluşumundan çok var olan kırıkların büyümesi daha fazla gözlenmiştir. Benzer şekilde Zhang vd. (2018), Sha vd. (2020) ve Rong vd. (2021) tarafından yapılan çalışmalarda mikro-kırık oluşumunda soğumanın daha etkin olduğunu savunulmuş, ani soğuma karşısında yeni çatlak oluşumundan çok var olan çatlakların büyümesi söz konusu olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte bazı çalışmalarda soğuma sırasında taneler arası kırıkların etkin olduğu belirtilmiştir (Feng vd., 2020; Li vd., 2020; Sha vd., 2020).

Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayaçların soğuma şeklinin termal hasar üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmalar değerlendirildiğinde aşağıda maddeler halinde sunulan sonuçlar ortaya çıkmıştır.

- (1) kayaçlar üzerinde ani soğuma yavaş soğumaya göre daha fazla termal hasara neden olmaktadır.
- (2) ani soğuma genellikle 400-500 °C'den daha yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayaçlarda etkilidir. Daha düşük sıcaklıklarda farklı soğuma şekillerinin önemi yoktur. Yani farklı soğuma etkisi tabii tutulan maksimum sıcaklıkla doğrudan ilişkilidir.
- (3) kayaçların termal bozunmasında ve özellikle mikro-kırık oluşumunda soğuma tipi ısıtma işlemine oranla daha etkilidir.
- (4) ani soğuma etkisi genellikle yeni çatlak/kırık oluşumu ile değil, var olan çatlak/kırıkların büyümesi ile kendini göstermektedir.
- (5) mineralojik bileşimin tüm çevre koşullarında (yükleme, asitli sular, yangın, vb.) kayaçların mühendislik davranışında en etkin parametredir.

Yukarıda özetlenen çalışmalardan elde edilen sonuçlar birçok çalışmanın ortak sonucu olarak genel bir kabul olarak görülebilir. Ancak bazı çalışmalarda farklı sonuçların elde edildiği de göz ardı edilmemelidir. Bu sonuçlardan farklı olarak birkaç çalışmada yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan granit örneklerinde ani soğuma sonrası üniform olmayan lokal plastik sertleşme olaylarından dolayı dayanımın bir miktar arttığı belirtilmiştir (Zhang vd., 2018; Zhang vd., 2020). Bu artışın yaklaşık 400 °C'ye kadar devam ettiği, ancak daha yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayaçların dayanımının her koşulda ani soğuma sonrası termal kırılmaya bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Zhang vd. (2020), termal sertleşme sebebiyle 500 °C'ye kadar ısıtılmış ve suda ani soğumaya bırakılmış granit örneklerinin dayanımının havada soğutulan örneklerden daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Bu nedenle araştırmacılar soğuma şeklinin kayanın dayanımı üzerinde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Li vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise dayanımın ani soğuma sonrası sürekli azaldığı, belli sıcaklık kademelerinde görülen dayanım artışının sadece yavaş soğuma sonrası meydana geldiği belirtilmiştir.

Wang vd. (2020) tarafından yangın sonrası farklı soğuma şekillerinin granitler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu nedenle çalışmada kayaçlar birçok çalışmadan farklı olarak 200-300 °C/dakika gibi yüksek bir ısıtma hızına tabi tutulmuştur. Çalışmada özellikle 400 °C'ye kadar kayaç özellikleri üzerinde soğumanın çok etkili olmadığı, ana etkinin maruz kalınan maksimum sıcaklık olduğu savunulmuştur (Zhu vd., 2020). Bununla birlikte mikro-kırık oluşumunda ısınmanın soğumadan daha etkili olduğu ortaya konulmuştur. Literatürdeki birçok çalışmadan daha farklı sonuçların elde edildiği bu çalışmalarda kayaç türünün ve mineralojik bileşimin sıcaklık karşısındaki davranışını

etkileyen en önemli faktör olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde Ersoy ve Acar (2016) tarafından farklı mineralojik bileşime sahip granitlerin dayanımlarındaki değişim araştırılmış, mineral yüzdesi ve kayaç dokusunun kayaç dayanımında en etkili parametreler olduğu ortaya konulmuştur.

Yüksek sıcaklıklara maruz kalmış kayaçlar üzerinde farklı soğuma etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda; genellikle (i) gerçek bir yangını simüle edecek sıcaklık-zaman eğrilerinin kullanılmadığı, (ii) bir yangında ani ısınma sonrasında farklı soğuma koşullarının gerçeğe yakın modeller dikkate alınarak tanımlanmadığı görülmektedir. Ersoy vd. (2021b) tarafından yapılan çalışmada yangın etkisi gerçeğe yakın modellenmiş ancak farklı soğuma etkileri dikkate alınmamış, Shen vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada yangın sonrasında kayaçlar farklı sıcaklıklardaki sıvılara (-20, 0 20 °C) maruz bırakılmış, gerçek atmosfer koşulları dikkate alınmamıştır. Yangına maruz kalan kayaçlar 3 farklı şekilde soğutulabilir: (1) ortam koşullarında kendi kendine soğuma, (2) soğuk mevsimlerde sıfırın altındaki sıcaklıklarda kendi kendine soğuma ve (3) yangına müdahale edilmesi durumunda suyla soğuma. Bu çalışmada, literatürdeki birçok çalışmanın aksine, oluşum ve köken bakımından farklı olan 3 karbonat kayaç gerçek bir yangını karakterize eden eksponansiyel ısınma oranları kullanılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış ve doğal koşullar dikkate alınarak 3 farklı şekilde soğutulmuş, son olarak soğuma şeklinin kayaçlar üzerindeki termal hasar etkisi araştırılmıştır.

MALZEME VE YÖNTEM

Örnekleme Lokasyonları ve Örnek Hazırlama

Türkiye'de en çok ihraç edilen yapı taşları karbonat kayaçlarıdır ve bunlar dünya doğal

taş endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte, bu kayaçlar geçmişte kaleler ve tapınaklar inşa etmek için kullanılmış ve halen Türkiye'deki tarihi yapıların restorasyonunda kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada ülkemizin farklı bölgelerinde bulunan ve doğal yapı taşı olarak kullanılan 3 farklı karbonat kayacı kullanılmıştır. Bunlar Marmara Bölgesi'nden mermer ve Karadeniz Bölgesi'nden traverten ve kireçtaşıdır.

Çalışmada kullanılacak kayaç grupları belirlendikten sonra kayaç örnekleri araziden toplanmış ve termal işlemde önce dikkatli bir şekilde incelenmiştir. Her bir kayaç grubu için 50-60 mm çapında ve 1:1 yarıçap/boy oranına sahip toplam 40 adet örnek hazırlanmış ve bu örneklerden 10'ar tanesi kayaçların ilksel durumdaki fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır. Kalan 30 örnek ısıtıldıktan sonra her bir soğuma şekli için (oda koşullarında soğuma, suda soğuma ve -20 °C'de soğuma) 10'ar adet örnek kalacak şekilde ayrılmıştır. Örnek hazırlama adımından sonra çalışma kapsamında uygulanacak olan yöntem 4 adımdan oluşmaktadır:

- (1) Kayaçların ilksel durumdaki (termal işlemde önce) mineralojik, mikro-yapısal ve jeomekanik özelliklerinin belirlenmesi,
- (2) Dış yangın eğrisi dikkate alınarak kayaçların 680 °C'ye kadar ısıtılması ve maksimum sıcaklığın sabit tutulması (toplam ısı işlem süresi 2 saat),
- (3) Kayaçların 3 farklı şekilde soğutulması (oda koşullarında, suda ve -20 °C'de),
- (4) Isıtma-soğutma döngüsüne maruz bırakılan kayaçların mineralojik, mikro-yapısal ve jeomekanik özelliklerinin belirlenmesi.

Termal Isıtma ve Soğutma Prosedürü

Çalışmada UTD-1462 model programlanabilir zamanlayıcıya sahip (6 lt, 1200°C maksimum sıcaklık) kül fırını kullanılmıştır. Bu fırının ayarlanan sıcaklıktan sapma miktarı 2°C'dir. Maksimum sürekli sıcaklığı 1050 °C olup bu sıcaklığa ulaşma süresi 65 dakikadır. 2000 W güce sahip olan fırın PID algoritması ile sıcaklık üzerinde hassas kontrol sağlayabilmektedir.

Birçok çalışmada termal şoktan kaynaklanan mikro-kırık oluşumunun önüne geçmek amacıyla 5 veya 10 °C/dk'lık ısınma oranları tercih edilmiştir. Bu yaklaşım jeotermal sahalar, derin maden kazıları ve nükleer depolama alanlarındaki kayaçlar için uygun olsa da yangına maruz kalan kayaçlar için pek uygun değildir çünkü yangın sırasında ortam ısısı lineer bir şekilde artmamaktadır. Tipik bina yangınlarında malzemelerin veya sistemlerin test edilmesinde yangın test eğrilerinin kullanılması daha uygundur. Yangına maruz kalan malzemelerin dayanımının belirlendiği çalışmalarda genellikle standart yangın eğrisi (ISO 834, 1999) kullanılırken, dış cephe yangınlarına maruz kalan malzemelerin dayanımının araştırıldığı çalışmalarda dış yangın eğrisi kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada bir dış yangın durumunda karbonat kayaçların mikro-yapısal ve jeomekanik özelliklerinin araştırılması amacıyla termal ısıtma adımında dış yangın eğrisi (BS EN 1991-1-2, 2002) kullanılmıştır (Şekil 1). Çalışmada uygulanan dış yangın sıcaklığına ait eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$Q_e = 660 (1 - 0.687e^{-0.32t} - 0.687e^{-3.8t}) + 20$$

Burada;

Q_e (°C) : Ortam sıcaklığı,

T (dk) : Hedef sıcaklığa ulaşma süresidir.

Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayaçlarda farklı soğuma şekillerinin etkilerinin

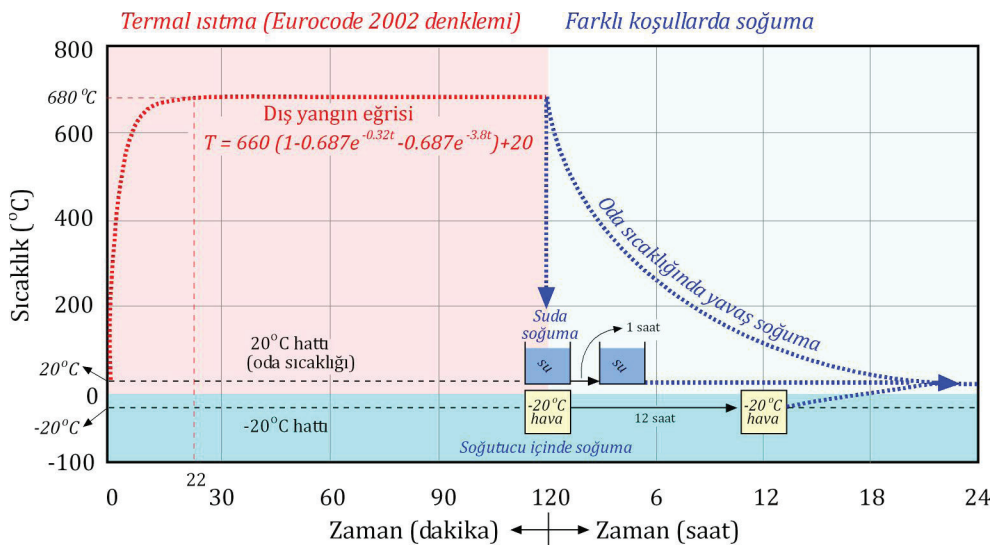
değerlendirildiği çalışmalarda genel olarak su ve LN_2 kullanılmaktadır. Bunlardan farklı olarak kademeli soğuma etkisinin veya ısınma-soğuma döngülerinin araştırıldığı çalışmalar da mevcuttur. Yangın etkinin araştırıldığı çalışmalarda da ani ısınma etkisi çoğu zaman Eurocode tarafından önerilen zaman-sıcaklık eğrileri kullanılarak belirlenmemekte, yangın sonrası farklı soğuma şekilleri ihmal edilmektedir. Oysaki bir yangın sonrasında ani ısınmaya maruz kalan kayalar, yangının zamana bağlı sönmesinden sonra yavaşça soğuyabilir, yangına müdahale edilmesi durumunda suyun etkisiyle ani olarak soğuyabilir veya soğuk iklimlerde sıfırın altındaki hava koşullarında yavaşça soğuyabilir. Bu nedenle çalışma kapsamında yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayalar ayrı ayrı

- (1) oda koşullarında 24 saat süre ile yavaş soğumaya,
- (2) $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki dondurucuda 12 saat süre ile soğumaya,
- (3) su içerisinde 1 saat süre ile ani soğumaya tabi tutulmuştur.

$-20\text{ }^\circ\text{C}$ 'de soğuyan örnekler 12 saat ve suda soğuyan örnekler ise 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiş ve bu süreçler sonrası tüm örnekler $105\text{ }^\circ\text{C}$ fırında 12 saat süre ile kurumaya bırakılmıştır (Şekil 1).

Mineralojik ve Mikro-Yapısal Analizler

Bu çalışmada, ince kesit gözlemleri ve taramalı elektron mikroskop (SEM) analizleri yardımıyla kayaların türleri belirlenmiş mikro-yapısal özellikleri ortaya konmuştur. Bu amaçla her bir kayaç grubundan 2 adet ince kesit hazırlanmış ve bu kesitler polarizan mikroskop (Nikon LV 100Pol) altında ISRM (1978) standartlarına uygun bir şekilde incelenerek kayaların ısı işlem öncesi petrografik özellikleri tayin edilmiştir. İnce kesit incelemelerine ek olarak 1 cm^3 hacme sahip kübik örnekler üzerinde 20 kV hızlandırma voltajında elektronik Everhart Thornley dedektörü ile yapılan analizlerle her bir kayaç grubu için 5 adet SEM görüntüsü elde edilmiştir. SEM analizlerinde çözünürlük ve büyütme sırasıyla $2\text{-}10\text{ }\mu\text{m}$ ve $1\text{-}5 \times 10^3$ olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada uygulanan zamana bağlı ısıtma ve soğutma süreçleri (BS EN 1991, 2002).

Figure 1. Time dependent heating and cooling processes applied in the study (BS EN 1991, 2002).

Çalışmada yüksek sıcaklık ve farklı soğuma etkilerinin mineralojik bileşimde bir değişime neden olup olmadığının araştırılması amacıyla X-ışını kırınımı (XRD) analizleri yapılmıştır. XRD analizleri için örnekler agat havan ile öğütülmüş ve Kunze (1965) tarafından önerilen kimyasal işlem, çökeltme ve santrifüjleme adımlarından geçirilerek kil fraksiyonları belirlenmiştir. Analizler Rigaku DMAX 2200 model difraktometre (Cu-K ve Ni filtreli) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve mineral kısaltmaları Whitney ve Evans'ın (2010) önerileri dikkate alınarak kullanılmıştır.

İndeks ve Dayanım Deneyleri

Yüksek sıcaklıklar karşısında karbonat kayaçların fiziksel ve dayanım özelliklerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amacıyla ısıtma işlemlerinden önce ve sonra yoğunluk, porozite, boyuna dalga hızı ve çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Yoğunluk değerleri ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemle silindirik örneklerin ağırlık ve boyut değerleri kullanılarak, özgül ağırlık değerleri ise toz haline getirilen örnekler üzerinde yine ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemle yapılan piknometre deneyi ile belirlenmiştir. Porozitenin değerleri, (1) örneklerin toplam hacimleri ve (2) özgül ağırlık ile katı birim hacim ağırlık arasındaki eşitlikten elde edilen katı hacmi değerleri kullanılarak ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemle belirlenmiştir. Boyuna dalga hızları ASTM (2008)'e uygun olarak 54 KHz frekansında çalışan piezoelektrik özelliklere sahip alıcı-verici çiftiyle donatılmış Pundit Plus ekipmanı kullanılarak belirlenmiştir. Brazilian deneyleri ise ISRM (2007)'ye uygun olarak 1:1 boy/yarıçap oranına sahip silindirik örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Brazilian deneyleri sırasında 15-30 saniye arasında

kırılma olacak şekilde örneklere 200-300 N/sn'lik yükler uygulanmış ve kırılma süresi not edilmiştir. Deney disk şekilli örnekler üzerinde gerçekleştirilebildiğinden bu çalışmada tercih edilmiştir.

BULGULAR

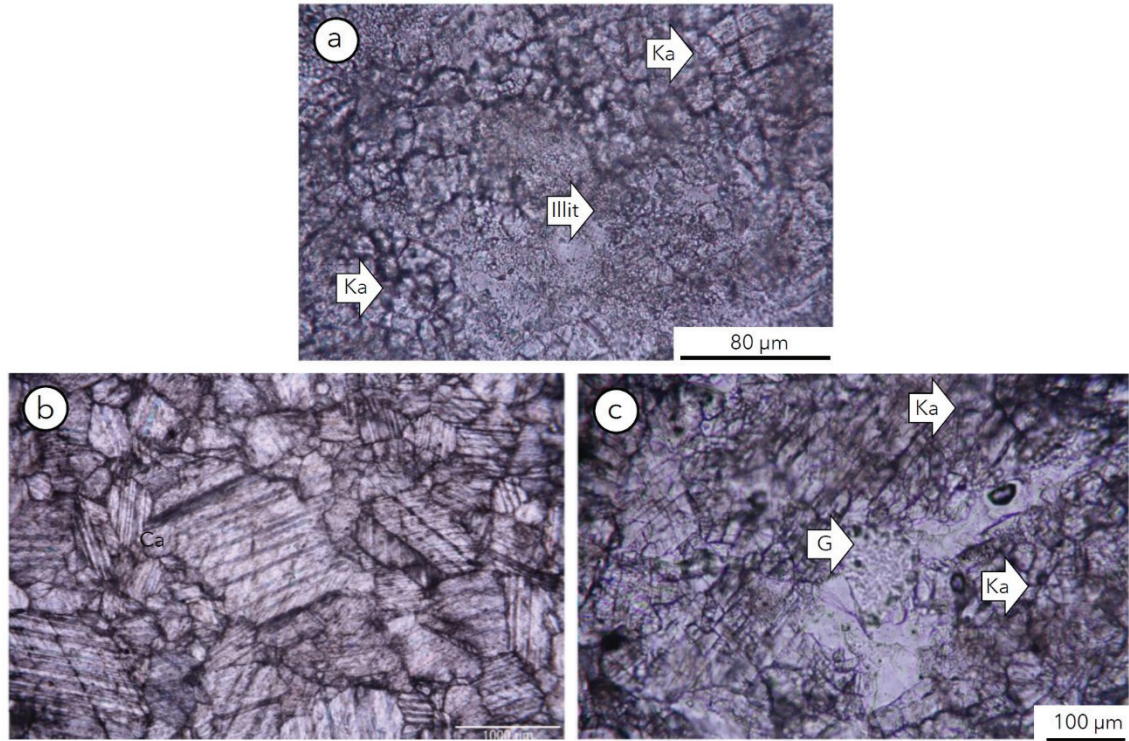
Kayaç Karakterizasyonu

Çalışma kapsamında yüksek sıcaklıklara maruz kalan karbonat kayaçların fiziksel, mineralojik ve dolaylı çekme dayanımı özelliklerinin soğuma şekline göre değişimi incelenmiş, bu amaçla traverten, kireçtaşı ve mermerden oluşan kayaç grupları çalışmaya dahil edilmiştir.

Kayaçların ilksel koşulda mineralojik ve mikro-yapısal özelliklerini tanımlamak için ince kesit görüntülerinden, XRD analiz sonuçlarından ve SEM görüntülerinden yararlanılmıştır. İnce kesit görüntüleri incelendiğinde, mermer ve traverten örneklerinin tamamen kalsitten oluştuğu ve monomineralik bileşimde olduğu görülmüştür. Kristal boyutları mermerlerde 100-2000 µm, travertenlerde 30-200 µm arasında değişmektedir. Sepiyolit her iki kaya grubunda da eser miktarda bulunmuştur. Kireçtaşı örnekleri başlıca kalsit (%70-80) ve daha az ölçüde illit (%20-30) içermektedir. Kalsit kristal boyutları 2-10 µm arasında değişirken, illit kristallerinin boyutları birkaç µm'dir (Şekil 2). Benzer olarak XRD analizleri sonucunda, traverten örneklerinde kalsit ve sepiyolit, kireçtaşı örneklerinde kalsit, illit ve kuvars, mermer örneklerinde kalsit, sepiyolit ve illit minerallerinin hâkim olduğu görülmüştür (Şekil 3). SEM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 4), traverten örneklerinde uzunlukları 10-50 mikron arasında mikrokırıkların hâkim, bu kırıklara göre daha az oranda boşlukların mevcut olduğu görülmüştür. Kireçtaşı örneklerinde ise genel olarak mikro-

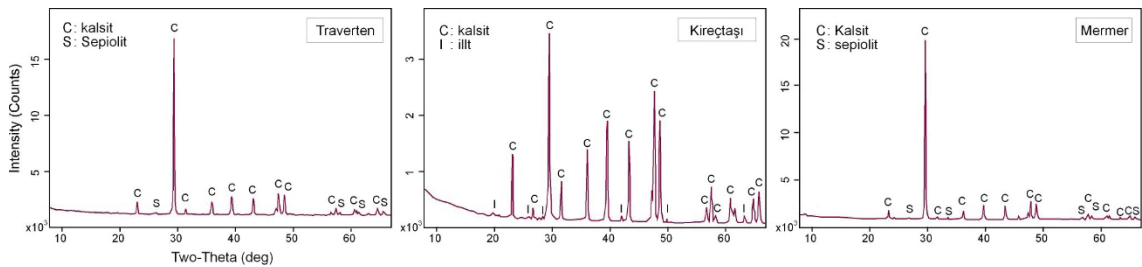
kırık gözlenmemiş, birincil boşlukların hâkim olduğu belirlenmiştir. Mermer örnekleri ise diğer kayaç gruplarına göre daha kompakt bir

yapı sunmaktadır. SEM görüntülerinde izlenen kırıklar ise genellikle kapalıdır.



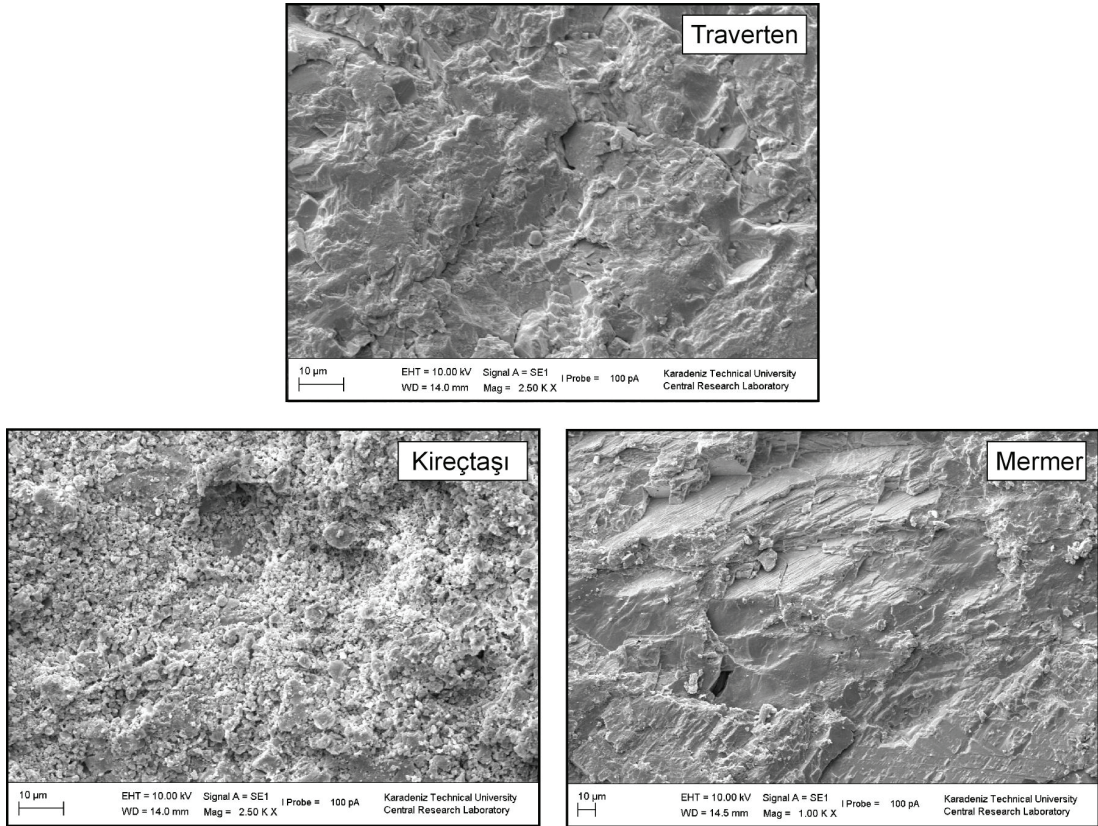
Şekil 2. Karbonat kayaç örneklerinin tek nikol mikroskop görüntüleri: (a) mermer, (b) traverten, (c) kireçtaşı (Ka: kalsit, Illit: illit, G: gözenek).

Figure 2. Parallel Nicol microscope images of carbonate rock samples: (a) marble, (b) travertine, (c) limestone (Ka: calcite, Illite: illite, G: pore).



Şekil 3. Karbonat kayaçların ilksel durumdaki difraksiyon paternleri.

Figure 3. Diffraction patterns of carbonate rocks in their initial state.



Şekil 4. Karbonat kayaçların ilksel durumdaki SEM görüntüleri.

Figure 4. SEM images of carbonate rocks in their initial state.

Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirildiğinde traverten, kireçtaşı ve mermer örneklerinin birim hacim ağırlık değerlerinin sırasıyla 23.6, 23.2 ve 26.4 kN/m³, porozite değerlerinin sırasıyla %13.1, 14.6 ve 2.7, boyuna dalga hızı değerlerinin sırasıyla 4111, 2703 ve 5673 m/s, dolaylı çekme dayanımı değerlerinin ise 4.8, 3.3 ve 5.4 MPa olduğu belirlenmiştir (Tablo 1).

Mikro-Yapısal Değişiklikler

Çalışma kapsamında, mikro-yapısal değişimler SEM görüntüleri ile yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda farklı soğuma

şekillerinde farklı ölçeklerde SEM görüntüleri alınmıştır (Şekil 5). SEM görüntüleri değerlendirildiğinde travertenlerde, havada soğuyan örneklerde mevcut çatlakların uzadığı ve açıklıklarının arttığı görülmüştür (Şekil 5b). Suda soğuyan örneklerde kristallerde topaklaşma görülmüş, çatlak açıklıkları artmıştır (Şekil 5c). -20 °C'de havada soğuyan örneklerde ise diğer soğuma şekillerine göre belirgin bir değişim izlenmiş, çatlaklardan bağımsız olarak boşluklar kısmen artmış ve kayaç yapısı süngerimsi bir görüntü kazanmıştır (Şekil 5d). Bu durum soğuma süreçlerinin kayaç özelliklerinde etkin bir rol oynadığını göstermektedir.

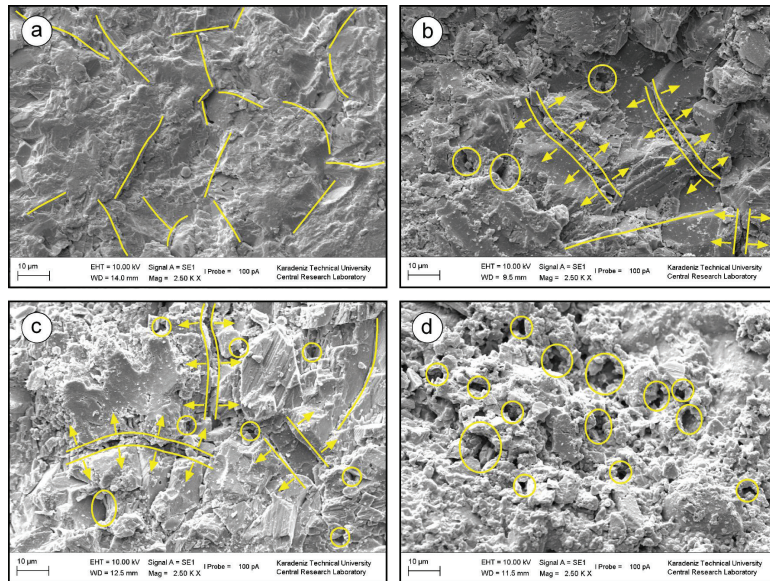
Kireçtaşı örneklerine ait SEM görüntülerinde ısınma-soğuma döngüsü sonrasında çok belirgin bir fark gözlenmemiştir. Özellikle ısınma sürecinden sonra havada soğumanın çok etkili olmadığı, suda ve $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de havada soğuyan örnekler için SEM görüntülerinde kısmen yeni çatlakların geliştiği ve porozitenin bir miktar arttığı görülmüştür. Bu sonuç kayaç dayanımının azalmasında ani soğumanın etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 6).

Mermer örneklerinde ısınma sonrası havada soğuyan örneklerin yüzey pürüzlülüğünün arttığı, suda soğuyan örneklerde çok yönlü çatlaklar ve kayaçta topaklaşma olduğu görülmüştür. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuyan örneklerde ise çatlaklar uzamış, çatlak açıklıkları artmış ve kayacın yapısal bütünlüğü bozulmuştur (Şekil 7).

Çizelge 1. Çalışılan karbonat kayaçların bazı indeks ve dayanım özellikleri.

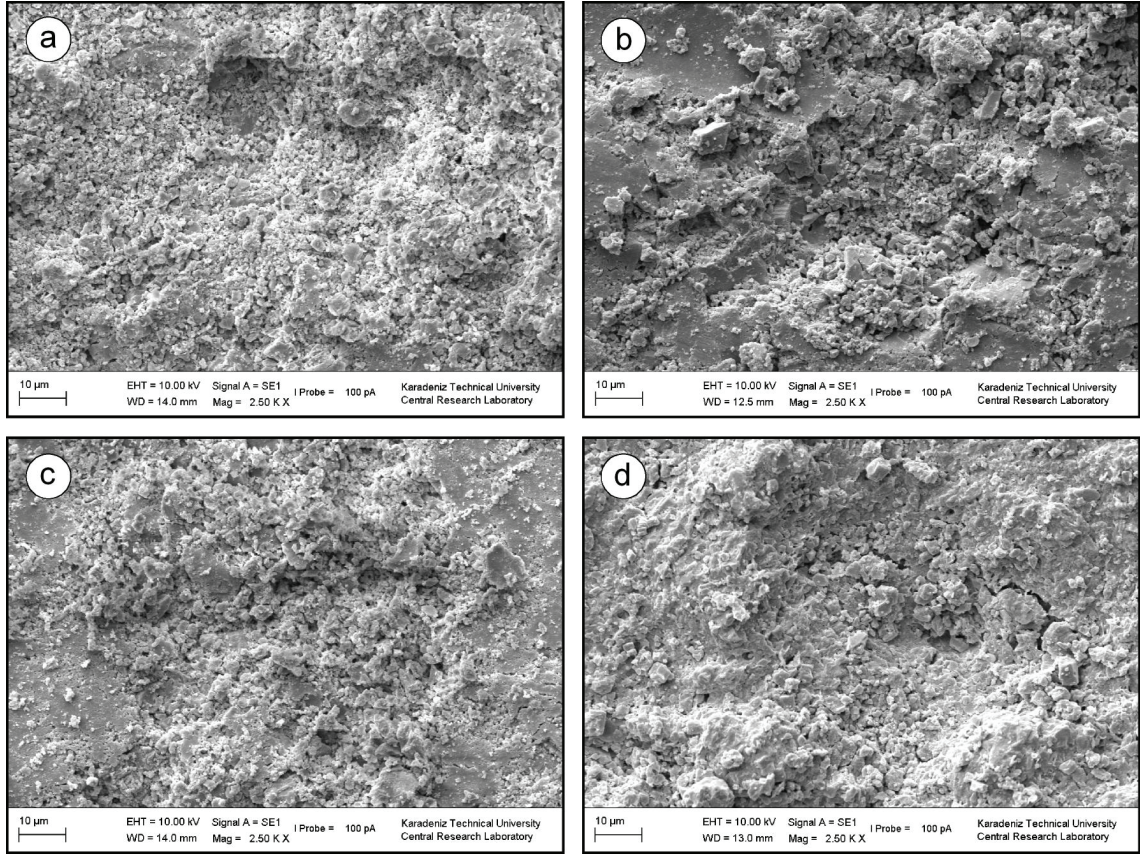
Table 1. Some index and strength properties of the studied carbonate rocks.

Özellik		Traverten	Kireçtaşı	Mermer
Birim hacim ağırlık (kN/m^3)	Maks.	24.4	24.0	26.6
	Min.	22.9	22.2	26.1
	SS.	0.4	0.5	0.1
	Ort.	23.6	23.2	26.4
Porozite (%)	Maks.	15.6	18.4	4.0
	Min.	10.1	11.8	2.1
	SS.	1.6	1.9	0.5
	Ort.	13.1	14.6	2.7
P-dalga hızı (m/s)	Maks.	4702	3507	6191
	Min.	3726	2106	5348
	SS.	282	376	227
	Ort.	4111	2703	5673
Çekme dayanımı (MPa)	Maks.	5.9	3.5	7.0
	Min.	3.2	3.0	4.4
	SS.	1.0	0.3	0.8
	Ort.	4.8	3.3	5.4



Şekil 5. Traverten örneklerinin farklı soğuma şekillerine ait SEM görüntüleri. Sarı renkli düz çizgiler kırık/çatlakları, daireler gözenekleri, iki çizgi ve oklarla gösterilen alanlar ise açıklık artışını ifade etmektedir (a: ilksel durum, b: havada soğuma, c: suda soğuma, d: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuma).

Figure 5. SEM images of travertine samples for different cooling types. Yellow solid lines indicate fractures/cracks, circles indicate pores, and areas marked by two lines and arrows indicate increased aperture (a: initial condition, b: cooling in air, c: cooling in water, d: cooling at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Şekil 6. Kireçtaşı örneklerinin farklı soğuma şekillerine ait SEM görüntüleri (a: ilksel durum, b: havada soğuma, c: suda soğuma, d: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuma).

Figure 6. SEM images of limestone samples for different cooling types (a: initial condition, b: cooling in air, c: cooling in water, d: cooling at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimler

Tüm kayaçlarda, ısınma ve soğuma döngüsünde kütle kaybı olmadığı için porozite ve birim hacim ağırlık değerlerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir. Ancak suda ve $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de havada soğuma, oda sıcaklığında soğumaya göre kayaç özellikleri üzerinde biraz daha etkili olmuş ve bu koşullarda az da olsa BHA değerlerinde azalma, porozite değerlerinde artış kaydedilmiştir. Sonuçlar, ilksel değerlere göre normalize edilmiş şekilde Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8 değerlendirildiğinde yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan traverten ve mermerlerde

havada soğumanın etkili olmadığı, bu nedenle soğuma şeklinin ısınmaya oranla biraz daha etkili olduğu görülmüştür. Fiziksel özellikler dikkate alındığında traverten ve mermerler en çok suda soğumadan, kireçtaşları ise $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de havada soğumadan etkilenmiştir.

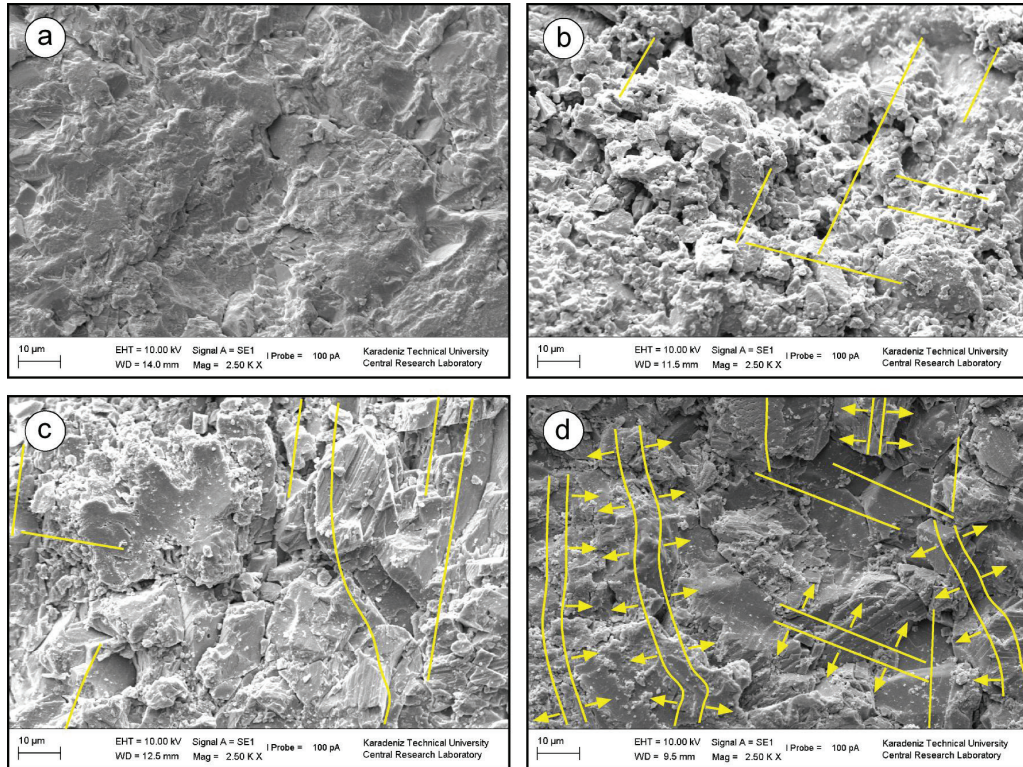
Fiziksel özelliklerden farklı olarak P-dalgı hızı ve çekme dayanımı değerleri ısınma-soğuma döngüsünden etkilenmiş ve farklı soğuma şekillerin hepsinde bir hayli azalmıştır. Bu durumun kayaç yapısında bulunan killerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Killer ısıtıldıklarında $80\text{-}160\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında

adsorpsiyon sularını, 400-600 °C arasında ise yapı sularını kaybederler. 600 °C sıcaklıktan sonra ise bünyelerinde yıkıcı prosesler başlar. Bu nedenle çalışma konusu kayalarda birim hacim ağırlık ve porozite değerlerinde çok fazla değişim izlenmezken, boyuna dalga hızları ve dayanımları azalmıştır. Azalma eğilimi traverten ve mermerlerde kireçtaşlarına oranla daha fazladır. SEM görüntüleri bu durumu çok net olarak göstermektedir.

Mineralojik değişimler

Kayaçların mineral bileşimlerinin belirlenmesi ve ısınma-soğuma sürecinde mineralojik bir değişimin olup olmadığının

anlaşılması amacıyla XRD analizlerinden yararlanılmıştır. Analizlerde, travertenlerde ilksel koşullarda ve ısınma-soğuma döngüsü sonrasında mineralojik bileşimde bir değişimin olmadığı, genel olarak kalsit mineralinin hâkim olduğu, buna sepiyolitlerin eşlik ettiği belirlenmiştir. Mermerlerde ilksel koşullarda görülen kalsit, sepiyolit ve illit mineralleri farklı soğumalardan sonra da görülmüş, gerek ısıtma gerekse soğutma sonrası mineralojik bir değişim izlenmemiştir. Kireçtaşlarında ise benzer şekilde kalsit minerali hâkim olup ısınma ve soğuma aşamalarının tamamında izlenmiştir. Yine ilksel koşullarda kalsite eşlik eden illit ve kuvars mineralleri ısıtma sonrası her koşulda görülmüştür (Tablo 2).

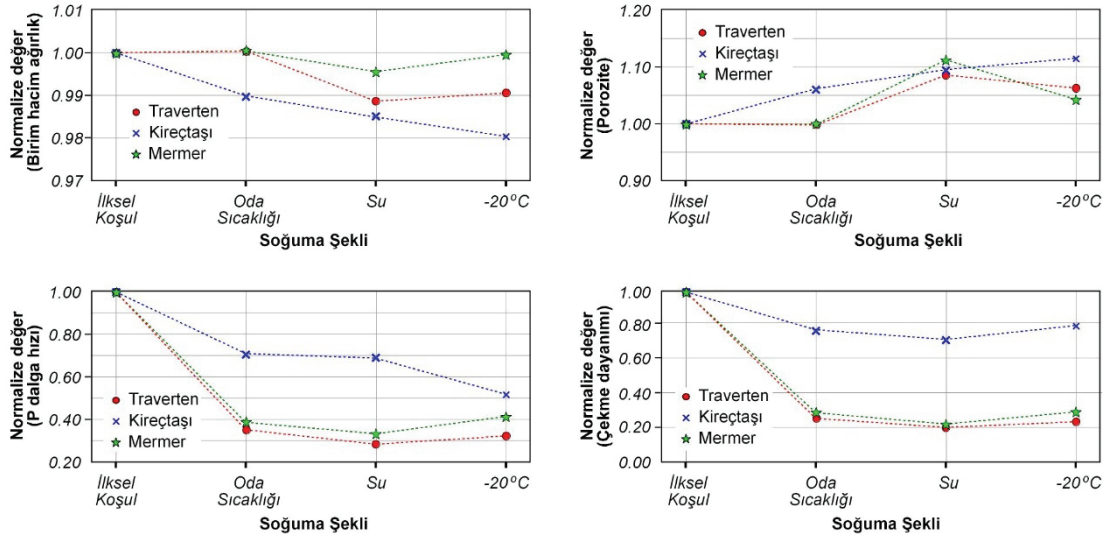


Şekil 7. Mermer örneklerinin farklı soğuma şekillerine ait SEM görüntüleri (a: ilksel durum, b: havada soğuma, c: suda soğuma, d: -20 °C’de soğuma).

Figure 7. SEM images of marble samples for different cooling types (a: initial condition, b: cooling in air, c: cooling in water, d: cooling at -20 °C).

Kalsiyum karbonatın bozunma sıcaklığı ortamdaki karbon dioksit konsantrasyonu ve kısmi basınç koşullarına bağlı olarak yaklaşık 900 °C'dir (Johnston, 1910). Özellikle kayaçlardaki

kil içeriğinin de etkisiyle 680 °C kalsinasyon sürecinin tamamlanması için yeterli olmamış ve karbonat kayaçların mineralojik özelliklerinde bir değişim meydana gelmemiştir.



Şekil 8. Isıl işleme tabi tutulan karbonat kayaçların farklı soğuma süreçlerinin ardından fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim.

Figure 8. Changes in physical and mechanical properties of -heated carbonate rocks after different cooling processes.

Çizelge 2. XRD analizi sonuçları ve farklı soğuma koşullarında karbonat kayaçların mineral bileşimleri.
Table 2. Results of XRD analyses and mineralogical compositions of the carbonate rocks after different cooling conditions.

Kayaç türü	Durum	Mineraller			
		Kalsit	Sepiyolit	İllit	Kuvars
Traverten	İlksel	x	x		
	Havada soğuma	x	x		
	Suda soğuma	x	x		
	-20 °C'de soğuma	x	x		
Kireçtaşı	İlksel	x		x	x
	Havada soğuma	x		x	x
	Suda soğuma	x		x	x
	-20 °C'de soğuma	x		x	x
Mermer	İlksel	x	x	x	
	Havada soğuma	x	x	x	
	Suda soğuma	x	x	x	
	-20 °C'de soğuma	x	x	x	

TARTIŞMA

Bu bölümde çalışma sonrasında ulaşılan sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış, ısıtma ve farklı soğutma sonrası kayaçlarda meydana gelen değişimin nedenleri yorumlanmıştır.

Mikro-Yapısal Değişimlerin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında her farklı soğuma şekli için alınan SEM görüntüleri değerlendirildiğinde traverten ve mermer örneklerinin benzer davranış sunduğu, kireçtaşının bu süreçlerden daha az etkilendiği, tüm kayaçlarda fiziksel özellikler üzerinde ısınmadan daha çok soğuma şeklinin önemli olduğu çok net görülmüştür. Kayaç yapısında en fazla değişim ise $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuyan örneklerde meydana gelmiştir (Tablo 3). Bununla birlikte kayaçlarda yeni kırık oluşumundan daha çok var olan kırıkların büyümesinin etkin olduğu, özellikle ani soğuma sırasında kırık açıklıklarının arttığı görülmüştür.

Literatürde de benzer sonuçlar görülmüştür. Kim vd. (2014) ve Li vd. (2019) tarafından

yapılan çalışmalarda yüksek sıcaklara maruz kalan örneklerin ani soğutulması durumunda dış yüzeylerinde ani ısı değişiminin çekme gerilmesi oluşmasına neden olduğunu, aksine yavaş soğuma sırasında veya örneğin ısı değişiminden fazla etkilenmeyen iç kesimlerinde ise sıkışma gerilmesinin hâkim olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada, SEM görüntülerinde mikro-kırıkların genişlediği gözlenmiş, bu nedenle hızlı soğumada kayaç yapısının daha fazla bozulmasının nedeninin çekme gerilmesi kaynaklı olarak mikro-kırıkların genişlemesi olduğunu savunmuşlardır. Yapılan çalışmaların hemen hemen hepsinde yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan örnekler için SEM görüntülerinde mikro-kırık oluşumunda ani soğumanın daha etkili olduğu, kayaç yapısının bozulmasında yeni kırık oluşumundan daha çok var olan kırıkların genişlemesinin daha etkili olduğu görülmüştür (Browning vd., 2016; Zhang vd., 2018; Rong vd., 2021). Bununla birlikte bazı çalışmalarda soğuma sırasında yeni gelişen kırıkların ise genellikle taneler arasında geliştiği belirtilmiştir (Feng vd., 2020; Li vd., 2020; Sha vd., 2020).

Çizelge 3. Karbonat kayaçların mikro-yapısal özelliklerini en çok etkileyen koşullar.

Table 3. Conditions that most affect the microstructural properties of carbonate rocks.

Kayaç türü	Mikro-kırık oluşumu	Mikro-kırık gelişimi	Porozitenin artması
Traverten	Oda sıcaklığında soğuma Suda soğuma	Suda soğuma	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuma
Kireçtaşı	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuma Suda soğuma	Suda soğuma	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuma
Mermer	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuma Suda soğuma	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuma	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğuma

Fiziksel ve Dayanım Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde özellikle ısınma-soğuma döngülerinin çalışma konusu karbonat kayaçların fiziksel özellikleri üzerinde belirgin bir değişime neden olmadığı görülmüştür. Zhang vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada da özellikle 300 °C'ye kadar kireçtaşlarının fiziksel özelliklerinde bir değişim olmadığı, termal hasarın ancak 600 °C'den sonra çok belirgin olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde Meng vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada kireçtaşları 800 dereceye kadar ısıtılmış 400 dereceye kadar fiziksel özelliklerde bir değişimin olmadığı belirtilmiştir. Ersoy vd. (2021b) tarafından karbonat kayaçlar üzerinde yapılan çalışmada ise ilk 400 °C kadar tebeşir ve kalkarenitlerin fiziksel özelliklerinde değişimin olmadığı, 400-800 °C arasında çok belirgin olmayan bir değişimin olduğu, 800 °C sıcaklık ve sonrasında ise fiziksel özelliklerde %50'ye varan değişimlerin olduğu belirlenmiştir. Tersine, Crosby vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise kireçtaşları 800 °C kadar ısıtılmış, her sıcaklık kademesinde fiziksel özelliklerde değişim kaydedilmiştir. Bu sonuçlar farklı soğuma şekillerinin etkisinin araştırıldığı çalışmalarda belirtilmiştir.

Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde boyuna dalga hızı ve dayanım değerlerinin fiziksel özelliklerden farklı olarak belirgin bir şekilde azaldığı, bu azalmanın traverten ve mermer örneklerinde %50'yi aştığı görülmüştür. Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde de hangi soğuma türü tercih edilirse edilsin P-dalga hızının her sıcaklık kademesinde sürekli olarak azaldığı, buna rağmen fiziksel özelliklerin ve dayanımın bir eşik sıcaklık değerine kadar değişmediği, hatta özellikle P-dalga hızı azalırken dayanımın arttığı görülmüştür (Wang

vd., 2015, Li vd., 2020, Ersoy vd., 2021a). P-dalga hızı ve dayanım değerlerinin her ikisinin de artan sıcaklıklara bağlı olarak sürekli azaldığı çalışmalarda bile P-dalga hızı değerlerindeki azalma oranı, dayanımdaki azalma oranının birkaç katı olabilmektedir (Liu and Xu 2015; Li vd., 2020). P dalga hızı ve dayanım bazen farklı eğilim sunsa da özellikle ani soğuma sonrasında bu değerlerin havada soğuma sonrası elde edilen değerlerden daha düşük olduğu birçok çalışmanın ortak görüşüdür (Wu vd., 2019b; Shao vd., 2020; Shen vd., 2020). Ancak bazı çalışmalarda artan sıcaklığa bağlı olarak P-dalga hızı ve dayanımın azalması durumunda bile, P-dalga hızı ve dayanım değerlerindeki eğilimin farklı olduğu, P-dalga hızının suda soğumadan, dayanımın ise havada soğumadan daha fazla etkilendiği belirlenmiştir (Zhang vd., 2020). Zhang vd. (2020), 500 °C'den daha düşük sıcaklıklara maruz kalan kayaçların suda aniden soğutulduğunda, termal sertleşme nedeniyle havada soğuyan örneklere göre daha yüksek dayanım değerleri verdiği ve bu nedenle soğutma tipinin dayanım değişiminde çok önemli bir rol oynadığını bulmuşlardır. Farklı olarak, Li vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise dayanımın ani soğuma sonrası sürekli azaldığı belirlenmiş, belli sıcaklık kademelerinde görülen dayanım artışının sadece yavaş soğuma sonrası meydana gelebileceği belirtilmiştir.

Tablo 4'te fiziksel ve dayanım özelliklerin değişiminde en etkin süreçler görülmektedir. Burada ısınmadan ziyade soğuma süreçlerinin kayaçların özellikleri üzerinde daha etkili olduğu traverten ve mermerlerin genel olarak benzer davranış sunduğu ve özelliklerinin suda soğumadan etkilendiği anlaşılmıştır. Farklı olarak, kireçtaşı özelliklerinin -20 °C'de havada soğuma sonrasında daha fazla değişime uğradığı görülmüştür.

Çizelge 4. Karbonat kayaçların fiziksel ve dayanım özellikleri üzerinde en çok etkili olan koşullar.

Table 4. Conditions that have the most influence on the physical and strength properties of carbonate rocks.

Kayaç türü	Birim hacim ağırlık	Porozite	P-dalga hızı	Dol. çekme day.
Traverten	Suda soğuma	Suda soğuma	Suda soğuma	Suda soğuma
Kireçtaşı	-20 °C'de soğuma	-20 °C'de soğuma	-20 °C'de soğuma	Suda soğuma
Mermer	Suda soğuma	Suda soğuma	Suda soğuma	Suda soğuma

Özellikle yukarıda açıklanan sebeplere bağlı olarak ani soğumanın ancak ve ancak maksimum sıcaklığa bağlı olduğu ve bir eşik değerden sonra etkili olduğu söylenebilir. Gerek bu çalışmada elde edilen veriler gerekse literatür, termal hasarın ve farklı soğuma etkisinin litolojiden bağımsız olarak, maruz kalınan maksimum sıcaklığa, kayacın mineralojik bileşimine, çimentolanma derecesine ve özellikle kil vb. ikincil minerallerin varlığına bağlı olduğunu göstermektedir. Ersoy vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada bu durum çok net olarak ortaya konmuştur. Çalışmada 1000 °C'ye kadar ısıtılan volkanik kayaçlarda hızlı ve yavaş soğumadan hangisinin kayaç yapısında daha etkili olduğu tam olarak belirlenememiştir. Bu durumun yüksek sıcaklık minerallerinin davranışına bağlı olduğu, dolayısıyla mineralojik bileşimin bu süreçte etkin rol oynadığı düşünülmektedir.

Mineralojik Değişimlerin Değerlendirilmesi

Monomineralik bir bileşime sahip olan mermer ve travertenlerdeki kalsit kristallerinde, mineral bileşiminde herhangi bir değişiklik olmamasına rağmen sıcaklığa bağlı olarak termal genişleme meydana gelmiştir. Kayaçta birbirleriyle birincil temas halinde olan kalsit kristalleri, artan sıcaklığın etkisiyle oluşan ısıl genişleme sırasında C kristal eksenine paralel yönde genişler ve C kristal eksenine dik yönde büzülür (Rosenholtz ve Smith, 1949). Bu, kalsit-kalsit sınırındaki bağı zayıflatmış ve bu kristal

sınırları boyunca mikro kırılmalara neden olarak dayanımda azalmaya sebep olmuştur.

Kireçtaşında durum daha farklıdır. Kalsit kristalleri ısınma ile aynı fiziksel davranışı gösterse de kalsit-illit sınırında farklı bir durum ortaya çıkmıştır. Kalsitin sert yapısına karşın illit çok esnek bir mineraldir. Kireçtaşında sıcaklığın artmasıyla termal genişleme meydana gelmiş, ancak kalsit-illit sınırındaki kalsit kristallerinin uzaması veya kısalması esnek illit tarafından sönmülmüştür. Bu nedenle, kalsit-illit kristal sınırlarında daha az mikro-kırık gelişmiştir. Kireçtaşı örneklerindeki dayanım azalma oranının traverten ve mermer örneklerinde meydana gelen dayanım oranı azalmasına göre daha düşük olmasının ana nedeni budur.

SONUÇLAR

Yüksek sıcaklıkların, özellikle yangınların, kayaçlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda; genel olarak lineer sıcaklık-zaman eşitlikleri kullanılmakta, uygulamada 5-10 °C/dk'luk ısınma oranları seçilmektedir. Ayrıca ani soğutma etkisi genel olarak su ve LN₂ kullanılarak araştırılmaktadır. Bu çalışmada literatürdeki çalışmaların birçoğundan farklı olarak Eurocode (2002) tarafından önerilen ve gerçek bir yangını simüle edebilen sıcaklık-zaman eğrileri (eksponansiyel ısınma oranları) kullanılarak ısıtma yapılmıştır. Bu çalışmada kayaçlar gerçek bir yangın sonrası soğuma koşulları göz önüne alınarak 3 farklı

şekilde soğutulmuştur: (1) ortam sıcaklığında kendi kendine soğuma, (2) soğuk mevsimlerde sıfırın altındaki sıcaklıklarda kendi kendine soğuma ve (3) yangın müdahalesine bağlı olarak suyla soğutma. Hem bu çalışma hem de literatürdeki çalışmalarda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir:

- (1) Kayaçlar üzerinde ani soğuma çoğu zaman yavaş soğumaya göre daha fazla termal hasara neden olmaktadır. Isınma sonrası ani soğuma durumunun söz konusu olması durumunda kayaçların termal bozunmasında ve özellikle mikro-kırık oluşumunda soğuma şekli ısınmaya oranla daha etkilidir.
- (2) Ani soğumada genellikle yeni çatlak oluşumundan daha çok var olan kırıkların büyümesi önem taşımaktadır. Yeni çatlaklar ise genellikle minerallerde değil, çimentoda gelişmektedir.
- (3) Çalışmada yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan traverten ve mermerlerin farklı soğuma koşullarında benzer, kireçtaşlarının ise bunlardan farklı davranış sergilediği görülmüştür. Kayaçlar karbonat bileşimli kimyasal tortul ve metamorfik kayaçlar olmasına karşın farklı davranış sunmaları bileşimlerindeki kil vb. gibi diğer minerallerden kaynaklanmaktadır. Traverten ve mermerlerden farklı olarak kireçtaşlarının kil içeriklerinin fazla olması yüksek sıcaklıklar karşısında davranışlarının farklı olmasındaki en önemli nedendir.
- (4) Yüksek sıcaklıklara maruz kalan traverten ve mermer örneklerinin fiziksel özellikleri en fazla suda soğuma sonrası değişirken, kireçtaşları için en etkin süreç $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de havada soğuma olmuştur. Ancak bu değişim %20'yi aşmamıştır. Bu nedenle bir dış yangın durumunu simüle eden 680 derece sıcaklığın

karbonat kayaçların fiziksel özelliklerini çok fazla etkilemediği söylenebilir.

- (5) Dayanım fiziksel özelliklerden farklı olarak soğuma süreçlerinden daha fazla etkilenmiş, tüm kayaç gruplarında en düşük değer suda soğuma sonrası gözlenmiştir. Bu soğuma koşulunda, traverten ve mermerlerde dayanım %70-80 arasında azalırken, kireçtaşlarında bu değer %30'u geçmemiştir.
- (6) Tüm soğuma süreçlerinden en az etkilenen kayaç grubu kireçtaşıdır. Özellikle kil içeriği yüksek kayaçların dayanımlarının $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarda bile ilksel dayanımlarından daha yüksek olması (Ersoy vd., 2019, Ersoy vd., 2021b) durumu dikkate alındığında, bu çalışmada $680\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa tabi tutulan kil içeriği yüksek kireçtaşlarının dayanımların diğer kayaç gruplarına göre daha az etkilenmesi önceki çalışmalarla uyumlu sonuçlar ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- Abdulagatova, Z.Z., Kallaev, S.N., Omarov, Z.M., Bakmaev, A.G., Grigor'Ev, B.A., Abdulagatov, I.M., (2020). Temperature effect on thermal-diffusivity and heat-capacity and derived values of thermal-conductivity of reservoir rock materials. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 6, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s40948-019-00131-2>
- ASTM, (2008). D2845-08 standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock. West Conshohocken: ASTM International
- Biró, A., Hlavička, V., Lublőy, É., (2019). Effect of fire-related temperatures on natural stones. *Construction and Building Materials*, 212, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.333>
- Browning, J., Meredith, P., Gudmundsson, A., (2016). Cooling-dominated cracking in thermally stressed volcanic rocks. *Geophysical*

- Research Letters, 43, 8417-8425. <https://doi.org/10.1002/2016GL070532>
- Chen, Y., Zhang, C., Zhao, Z., Zhao, X., (2020). Shear behavior of artificial and natural granite fractures after heating and water-cooling treatment. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53, 5429-5449. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02221-0>
- Crosby, Z.K., Gullett, P.M., Akers, S.A., Graham, S.S., (2018). Characterization of the mechanical behavior of Salem limestone containing thermally-induced microcracks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 101, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.11.002>
- Emirov, S.N., Aliverdiev, A.A., Zarichnyak, Y.P., Emirov, R.M., (2021). Studies of the effective thermal conductivity of sandstone under high pressure and temperature. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54, 3165-3174. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02353-3>
- EN 1991-1-2, (2002). Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire. The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC
- Ersoy, H., Acar, S., (2016). Influences of petrographic and textural properties on the strength of very strong granitic rocks. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1461. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6277-y>
- Ersoy, H., Atalar, C., Sünnetci, M.O., Kolaylı, H., Karahan, M., Ersoy, A.F., (2021). Assessment of damage on geo-mechanical and micro-structural properties of weak calcareous rocks exposed to fires using thermal treatment coefficient. *Engineering Geology*, 284, 106046. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106046>
- Ersoy, H., Karahan, M., Kolaylı, H., Sünnetci, M.O., (2021). Influence of mineralogical and micro-structural changes on the physical and strength properties of post-thermal-treatment clayey rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54, 679-694. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02282-1>
- Ersoy, H., Kolaylı, H., Karahan, M., Harputlu Karahan, H., Sünnetci, M.O., (2019). Effect of thermal damage on mineralogical and strength properties of basic volcanic rocks exposed to high temperatures. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 1515–1525. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1208-z>
- Feng, G., Wang, X., Kang, Y., Zhang, Z., (2020). Effect of thermal cycling-dependent cracks on physical and mechanical properties of granite for enhanced geothermal system. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 134, 104476. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104476>
- Han, G., Jing, H., Su, H., Liu, R., Yin, Q., Wu, J., (2019). Effects of thermal shock due to rapid cooling on the mechanical properties of sandstone. *Environmental Earth Sciences*, 78, 146. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8151-1>
- ISO, (1999). ISO 834: Fire resistance tests-elements of building construction. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISRM, (1978). Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. Suggested method for determining indirect tensile strength by Brazilian test. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Z.T. Bieniawski and I. Haweks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 15, 102–103
- ISRM, (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. Suggested methods prepared by the commission on testing methods. In: Ulusay R, Hudson JA, eds. *Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group*. Ankara, Turkey
- Johnston, J., (1910). The Thermal Dissociation of Calcium Carbonate. *Journal of the American Chemical Society*, 32, 938-946
- Kara, I.B., (2021). Effects of cooling regimes on limestone rock and concrete with limestone aggregates at elevated temperatures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 138, 104618. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104618>

- Kim, K., Kemeny, J., Nickerson, M., (2019). Effect of rapid thermal cooling on mechanical rock properties. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 2005-2019. <https://doi.org/10.1007/s00603-013-0523-3>
- Kumari, W.G.P., Ranjith, P.G., Perera, M.S.A., Chen, B.K., Abdulagatov, I.M., (2017). Temperature-dependent mechanical behaviour of Australian Strathbogie granite with different cooling treatments. *Engineering Geology*, 229, 31-44. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.09.012>
- Kunze, G.W., (1965). Pretreatment for mineralogical analysis. In: Black CA, ed. *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Properties Including Statistics of Measurement and Sampling*. American Society of Agronomy, Madison WI; 568-577
- Li, Q., Yin, T., Li, X., Zhang, S., (2020). Effects of rapid cooling treatment on heated sandstone: a comparison between water and liquid nitrogen cooling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79, 313-327. <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01571-6>
- Li, Z., Fortin, J., Nicolas, A., Deldicque, D., Gueguen, Y., (2019). Physical and mechanical properties of thermally cracked andesite under pressure. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, 3509-3529. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01785-w>
- Li, Z.W., Long, M.C., Feng, X.T., Zhang, Y.J., (2021). Thermal damage effect on the thermal conductivity inhomogeneity of granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 138, 104583. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104583>
- Liu, S., Xu, J., (2015). An experimental study on the physico-mechanical properties of two post-high-temperature rocks. *Engineering Geology*, 185, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.11.013>
- Meng, Q.B., Zhang, M.W., Han, L.J., Pu, H., Chen, Y.L., (2019). Experimental research on influence of loading rate on mechanical properties of limestone in high temperature state. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 3479-3492. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1332-4>
- Meng, T., Yongbing, X., Ma, J., Yue, Y., Liu, W., Zhang, J., Erbing, L., (2021). Evolution of permeability and microscopic pore structure of sandstone and its weakening mechanism under coupled thermo-hydro-mechanical environment subjected to real-time high temperature. *Engineering Geology*, 280, 105955. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105955>
- Nasseri, M.H.B., Goodfellow, S.D., Wanne, T., Young, R.P., (2013). Thermo-hydro-mechanical properties of Cobourge limestone. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 61, 212-222. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2013.03.004>
- Pei, L., Blöcher, G., Milsch, H., Zimmermann, G., Sass, I., Huenges, E., (2018). Thermo-mechanical Properties of Upper Jurassic (Malm) Carbonate Rock Under Drained Conditions. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51, 23-45. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1313-0>
- Popov, Y., Beardsmore, G., Clauser, C., Roy, S., (2016). ISRM suggested methods for determining thermal properties of rocks from laboratory tests at atmospheric pressure. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49, 4179-4207. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1070-5>
- Rong, G., Sha, S., Li, B., Chen, Z., Zhang, Z., (2021). Experimental investigation on physical and mechanical properties of granite subjected to cyclic heating and liquid nitrogen cooling. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54, 2383-2403. <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02390-6>
- Rosenholtz, J.L., Smith, D.T., (1949). Linear thermal expansion of calcite, var. Iceland spar, and Yule Marble. *American Mineralogist*, 34, 846-854
- Sha, S., Rong, G., Chen, Z., Li, B., Zhang, Z., (2020). Experimental evaluation of physical and mechanical properties of geothermal reservoir rock after different cooling treatments *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53, 4967-4991. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02200-5>

- Sha, S., Rong, G., Peng, J., Li, B., Wu, Z., (2019). Effect of open-fire-induced damage on Brazilian tensile strength and microstructure of granite. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, 4189-4202. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01871-z>
- Shao, Z., Wang, Y., Tang, X., (2020). The influences of heating and uniaxial loading on granite subjected to liquid nitrogen cooling. *Engineering Geology*, 271, 105614. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105614>
- Shen, Y., Hou, X., Yuan, J., Xu, Z., Hao, J., Gu, L., Liu, Z., (2020). Thermal deterioration of high-temperature granite after cooling shock: multiple-identification and damage mechanism. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79, 5385-5398. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01888-7>
- Villarraga, C.J., Gasc-Barbier, M., Vaunat, J., Darrozes, J., (2018). The effect of thermal cycles on limestone mechanical degradation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 109, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.06.017>
- Wang, F., Konietzky, H., Frühwirt, T., Li, Y., Dai, Y., (2019). Impact of cooling on fracturing process of granite after high-speed heating. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 125, 104155. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.104155>
- Wang, P., Xu, J., Liu, S., (2015). Staged moduli: a quantitative method to analyze the complete compressive stress-strain response for thermally damaged rock. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48, 1505-1514. <https://doi.org/10.1007/s00603-014-0648-z>
- Wang, Z., Zhang, W., Shi, Z., Zhang, S., (2022). Changes of physical properties of thermal damaged sandstone with time lapse. *Acta Geophysica*, 2022, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00782-y>
- Whitney, D., Evans, B., (2010). Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Wu, X., Huang, Z., Song, H., Zhang, S., Cheng, Z., Li, R., Wen, H.T., Huang, P.P., Dai, X.W., (2019). Variations of physical and mechanical properties of heated granite after rapid cooling with liquid nitrogen. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, 2123-2139. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1727-3>
- Wu, X., Huang, Z., Zhang, S., Cheng, Z., Li, R., Song, H., Wen, H.T., Huang, P., (2019). Damage analysis of high-temperature rocks subjected to LN2 thermal shock. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, 2585-2603. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1711-y>
- Zhang, F., Zhang, Y., Yu, Y., Hu, D., Shao, J., (2020). Influence of cooling rate on thermal degradation of physical and mechanical properties of granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 129, 104285. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104285>
- Zhang, F., Zhao, J., Hu, D., Skoczylas, F., Shao, J., (2018). Laboratory investigation on physical and mechanical properties of granite after heating and water-cooling treatment. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51, 677-694. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1350-8>
- Zhang, W., Qian, H., Sun, Q., Chen, Y., (2015). Experimental study of the effect of high temperature on primary wave velocity and microstructure of limestone. *Environmental Earth Sciences*, 74, 5739-5748. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4591-4>
- Zhu, D., Jing, H., Yin, Q., Ding, S., Zhang, J., (2020). Mechanical characteristics of granite after heating and water-cooling cycles. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53, 2015-2025. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01991-6>

Araştırma Makalesi / Research Article

Tarsus Kıyı Akiferi'nde (Mersin) Meydana Gelen Tuzlanmanın Nedenlerinin Araştırılması

An Investigation into the Causes of Salinization in the Tarsus Coastal Aquifer (Mersin)

Onur GÜVEN^{1*} , Cüneyt GÜLER² , Mehmet Ali KURT³ , Ümit YILDIRIM⁴ 

¹ Bayburt Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı-Bayburt

² Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü-Mersin

³ Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü-Mersin

⁴ Bayburt Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü-Bayburt

Geliş (Received): 11 Ocak (January) 2023, Düzeltme (Revised): 17 Ocak (January) 2023, Kabul (Accepted): 03 Şubat (February) 2023

ÖZ

Bu çalışmada, Türkiye'nin Doğu Akdeniz bölgesinde yer alan Tarsus Kıyı Akiferi'nde (Mersin) görülen tuzlanma olayının nedenleri araştırılmıştır. Özellikle Akdeniz havzası genelinde kritik bir problem olan yeraltı sularının tuzlanması olayı, deniz suyu girişi, iklim değişikliği, jeojenik etkiler ve antropojenik faaliyetler (kirlilik ve hidrolojik müdahaleler) gibi süreçlerin ve mekanizmaların bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda, Eylül 2020'de yapılan saha çalışmasında 87 yeraltı suyu kuyusundan ve deniz suyundan (Akdeniz) örnekler alınmıştır. Alınan su örneklerinin sıcaklık, elektriksel iletkenlik, pH, tuzluluk, indirgenme-yükseltgenme (redoks) potansiyeli, çözülmüş oksijen ve toplam çözülmüş madde değerleri arazide ölçülmüştür. Su örneklerinin majör iyon ve iz element içerikleri (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , B, Br, Sr ve Li) laboratuvarda spektrometrik (ICP-MS), spektrofotometrik ve volumetrik (titrasyon) yöntemlerle analiz edilmiştir. Analiz edilen bu parametrelere ait tematik dağılım haritaları bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Alınan su örneklerinin hidrokimyasal fasiyesleri, Piper ve HFE diyagramları kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, bölgede görülen tuzlanma mekanizmalarını açıklamak amacıyla, çeşitli majör iyonlara ve/veya iz elementlere ait oranların kullanıldığı ikili (x-y) grafikler oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre; Tarsus Kıyı Akiferi'ni etkileyen tuzlanma olayının; deniz suyu girişi, Messiniyen evaporitlerinin (anhidrit, jips ve halit) çözünmesi ve antropojenik (tarımsal ve endüstriyel) faaliyetler sonucunda meydana geldiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tuzlanma, İyon Oranları, HFE-Diyagramı, Hidrojeokimya, Tarsus Kıyı Akiferi

ABSTRACT

This study investigated the causes of the salinization occurring in the Tarsus Coastal Aquifer (Mersin) located in the Eastern Mediterranean region of Turkey. Groundwater salinization, which is a critical problem, especially in the Mediterranean basin, occurs as a result of processes and mechanisms such as seawater intrusion, climate change, geogenic effects and anthropogenic activities (pollution and hydrological interventions). In this context, samples were collected from 87 groundwater wells and seawater (Mediterranean) during a field study conducted in September 2020. The temperature, electrical conductivity, pH, salinity, reduction-oxidation (redox) potential, dissolved oxygen, and total dissolved solid values of collected water samples were measured in the field. The major ion and trace

element contents (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , B, Br, Sr ve Li) of the water samples were analyzed in a laboratory by spectrometric (ICP-MS), spectrophotometric, and volumetric (titration) methods. Thematic distribution maps of the analyzed parameters were created using a Geographic Information System (GIS) software. The hydrochemical facies of the water samples were determined using Piper and HFE diagrams. In order to explain the salinization mechanisms occurring in the region, binary (x-y) graphs were created using the ratios of various major ions and/or trace elements. According to the results obtained, it was revealed that the salinization phenomenon affecting the Tarsus Coastal Aquifer occurred as a result of seawater intrusion, the dissolution of Messinian evaporites (anhydrite, gypsum and halite) and anthropogenic (agricultural and industrial) activities.

Keywords: Salinization, Ionic Ratios, HFE-Diagram, Hydrogeochemistry, Tarsus Coastal Aquifer

GİRİŞ

Yeryüzünde bulunan tatlı suların %99'unu oluşturan yeraltı suyunun %69'u tarım, %22'si evsel ve %9'u da endüstriyel amaçlar için kullanılmaktadır (UN Water, 2022). Yapılan bir çalışmaya (UN Water, 2022) göre; Dünya'da yeraltı suyunu en çok kullanan ilk 10 ülke arasında Türkiye de yer almaktadır. Özellikle kurak ve yarı kurak kıyı bölgelerinde yaşayan insanlar, bir tatlı su kaynağı olarak yeraltı suyuna bağımlı durumdadır (Wetzelhuetter, 2015). Bu durum, yeraltı sularının miktarını hızlı bir şekilde azaltmakla birlikte, kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Yeraltı suyunun kalitesini ve kullanılabilirliğini etkileyen en önemli etkenlerden biri olan tuzlanma, küresel boyutta görülen ve geri döndürülmesi neredeyse imkânsız olan bir problemdir. Bu nedenle, günümüzde yeraltı sularının tuzlanmasına yönelik olarak yapılan araştırmalar ve çalışmalar giderek artmaktadır. Vengosh (2014) tarafından yapılan literatür çalışmasına göre; kıyı akiferlerinin tuzlanmasına neden olan süreçleri ve mekanizmaları dört ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar, aşırı yeraltı suyu çekiminden kaynaklanan deniz suyu girişimi, jeojenik süreçler (evaporitlerin çözünmesi), iklim değişikliği ve çeşitli insan aktiviteleridir.

Aşırı yeraltı suyu çekimine bağlı olarak gerçekleşen deniz suyu girişimi nedeniyle,

Akdeniz havzasındaki kıyı akiferlerinin sürdürülebilirliği büyük bir tehdit altındadır (Vengosh, 2014). Tatlı su kıyı akiferlerine sadece %1 oranında deniz suyu karışması sonucunda, yeraltı suyunun tuzluluğu üç katına kadar çıkabilmektedir (Jones vd., 1999). Ayrıca, tektonik ve iklimsel etkilere bağlı olarak meydana gelen Messiniyen Tuzluluk Krizi (7.2-5.3 milyon yılları arası) sonucunda, Akdeniz büyük ölçüde kuruyarak bir tuz havzasına dönüşmüştür (İlgar, 2015). Bu krizin ürünleri olan jips ($CaSO_4 \times 2H_2O$), anhidrit ($CaSO_4$) ve halit ($NaCl$) minerallerinin çözünmesi sonucunda da yeraltı suları tuzlanma olayına maruz kalabilmektedir. Yağışlardaki değişkenlik ve buharlaşma miktarının giderek artması sonucunda, akiferlerin beslenme miktarı etkilenmekte olup bu durumun da tuzluluk artışı üzerinde önemli bir rolü bulunmaktadır (Ranjan, 2006). Bununla birlikte, iklim değişikliği (sıcaklık artışı) etkisiyle buzulların erimesi sonucunda, küresel ölçekte deniz seviyelerinde önemli yükselmeler olacağı öngörülmektedir. Ghyben-Herzberg bağıntısına göre; deniz seviyesinin bir metre yükselmesi sonucunda, akiferdeki tatlı su seviyesi yaklaşık 40 m azalmaktadır (Jones vd, 1999). NASA (2022) tarafından yapılan çalışmaya göre; deniz seviyesi küresel ölçekte her yıl ortalama 3.5 mm, Akdeniz havzasında ise 1.8 mm yükselmektedir (Antonioli, 2020).

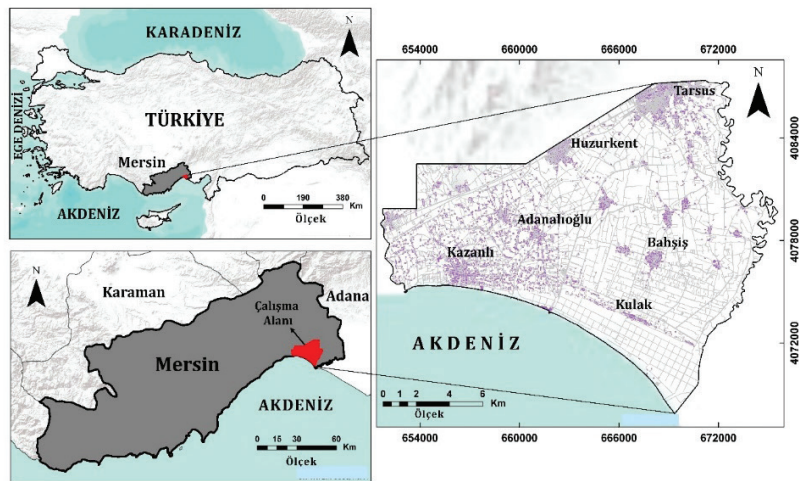
Tarsus Kıyı Akiferi'nin (TKA) farklı kesimlerinde ve değişik zamanlarda yapılan

çalışmalarda (Demirel, 2004; Hatipoğlu ve Bayarı, 2005; Güler, 2009; Kurt, 2010; Güler vd., 2012; Güler vd., 2013), akiferin genellikle kıyıya yakın bölgelerde olmak üzere büyük oranda tuzlanma süreci etkisi altında olduğu tespit edilmiştir. TKA'daki tuzlanmanın sadece deniz suyu girişimi sonucunda oluşmadığı, bölgenin kendine özgü jeolojik, topoğrafik ve iklimsel özelliklerinden dolayı farklı süreçlerin veya birden çok mekanizmanın akiferin tuzlanmasına neden olduğu Güler vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Mevcut çalışma kapsamında, TKA'nın tuzlanmasına neden olan mekanizmaları ve süreçleri ortaya koymak için daha kapsamlı bir inceleme gerçekleştirilmiştir.

TKA, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yoğun olarak yapıldığı ve bu faaliyetler için gerekli olan tatlı su ihtiyacının akiferde açılan farklı derinliklerdeki kuyulardan sağlandığı flüvyo-deltaik bir ortamdır (Güler vd., 2012). Çalışma alanı yaklaşık 234 km² olup 36°44'30"-36°55'2" Kuzey enlemleri ile 34°42'2"-34°58'10" Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Batısında Deliçay, doğusunda Tarsus (Berdan) Çayı, kuzeyinde

Mersin-Tarsus devlet karayolu (D-400) ve güneyinde Akdeniz ile sınırlanan düşük eğimli (0-2°) bu alanda tipik olarak Akdeniz iklimi görülmektedir. TKA'da yürütülen ekonomik faaliyetler arasında, tarım (çeşitli bitki, meyve, sebze, turuncgil, vb. yetiştiriciliği) ve endüstri (makine-parça imalatı, kimyasal ve çeşitli inşaat malzemeleri üretimi, gıda işleme-depolama ve yerüstü akaryakıt depolama tesisleri) önemli bir yere sahiptir (Güler vd., 2012).

Çalışma alanının ve yakın çevresinin jeolojisini Temel Birimler, Tersiyer Birimleri ve Kuvaterner Birimleri oluşturmaktadır (Schmidt, 1961; Ünlügenç, 1986; Şenol vd., 1998). Bölgenin kuzeyindeki dar bir alanda yüzeylenen Permo-Karbonifer yaşlı Karahamzaşağı formasyonu, başlıca rekrystalize kireçtaşları, mermer, şist ve kuvarsit türü kayaçlardan oluşmaktadır. (Ünlügenç, 1986). TKA'nın batı sınırını oluşturan Deliçay'ın drenaj alanında yüzeylenen Mersin Ofiyolitik Melanjı (Güler vd., 2012) içerisinde gabro, harzburjit, verlit, dünit, klinopiroksenit, verzolit, diyabaz, radyolarit gibi kayaçlar ve derin deniz sedimanları bulunmaktadır (Şenol vd., 1998).

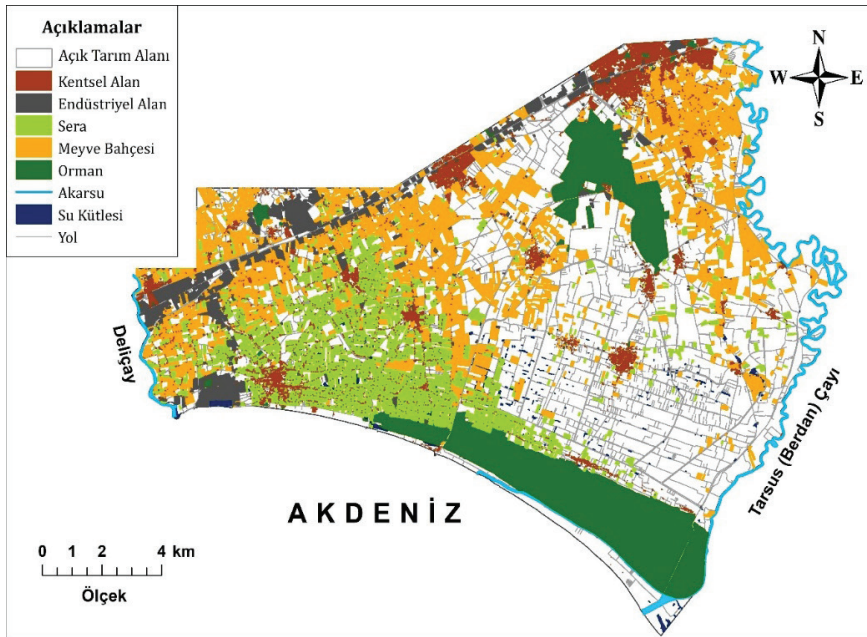


Şekil 1. Tarsus Kıyı Akiferi'nin yer bulduru haritası.
Figure 1. Location map of the Tarsus Coastal Aquifer.

Sığ denizel, gölsel ve akarsu niteliğindeki ortamlarda çökelen Tersiyer birimleri ise beş farklı formasyondan (Gildirli, Karaisalı, Güvenç, Kuzgun ve Handere) oluşmaktadır (Şenol vd., 1998). Oligosen-Miyosen yaşlı Gildirli formasyonu başlıca konglomera-kumtaşı, silttaşı-kiltaşı ve killi kireçtaşı-marn birimlerinden oluşmaktadır (Schmidt, 1961; Şenol vd., 1998). Alt-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı ve Güvenç formasyonları sırasıyla kireçtaşı ve killi kireçtaşı, Orta-Üst Miyosen yaşlı Kuzgun formasyonu ise kumtaşı, konglomera ve kireçtaşı birimleriyle temsil edilmektedir. (Schmidt, 1961; Şenol vd., 1998). Bölgenin kuzeyinde yüzeylenen Handere Formasyonu, Üst Miyosen (Messiniyen) zamanında hüküm süren tektonik aktiviteler ve kuraklık sonucunda (Mesiniyen Tuzluluk Krizi) oluşan denizel çökeller-evaporitik birimlerden (jips, anhidrit ve halit) meydana gelmiştir (Schmidt, 1961; Şenol vd., 1998).

Kıyı akiferini meydana getiren Pliyo-Kuvaterner yaşlı sedimanlar ise, kil, silt, kum ve çakıl boyutundaki çökellerden oluşan çok katmanlı yapısıyla oldukça heterojen bir karakter göstermektedir (Güler vd., 2012). Deliçay ve Tarsus Çayları ve Seyhan Nehri gibi akarsuların biriktirdiği pekişmemiş yapıdaki bu çökellerin (Göney, 1976; DSİ, 1978) kalınlığı kuzeyde 30 m'den, güneyde >500 m ye kadar çıkmaktadır (Güler vd., 2012).

Yılda 2-3 kez hasat yapılmasına olanak sağlayan verimli topraklara ev sahipliği yapan TKA'nın (Sandal ve Gürbüz, 2003; Güler vd., 2012) yaklaşık %83'ü tarım alanıdır (açık tarım alanları, meyve bahçeleri ve seralar). Geriye kalan arazi kullanım sınıflarını ise; yapay olarak oluşturulan (1939-1965 yılları arasında) okaliptüs ve çam ormanları (%11.4), endüstriyel alanlar (%3.5), yerleşim yerleri (%1.9) ve küçük çaplı çeşitli su kütleleri (%0,4) oluşturmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Tarsus Kıyı Akiferi'nin arazi kullanım haritası.

Figure 2. Land use map of the Tarsus Coastal Aquifer.

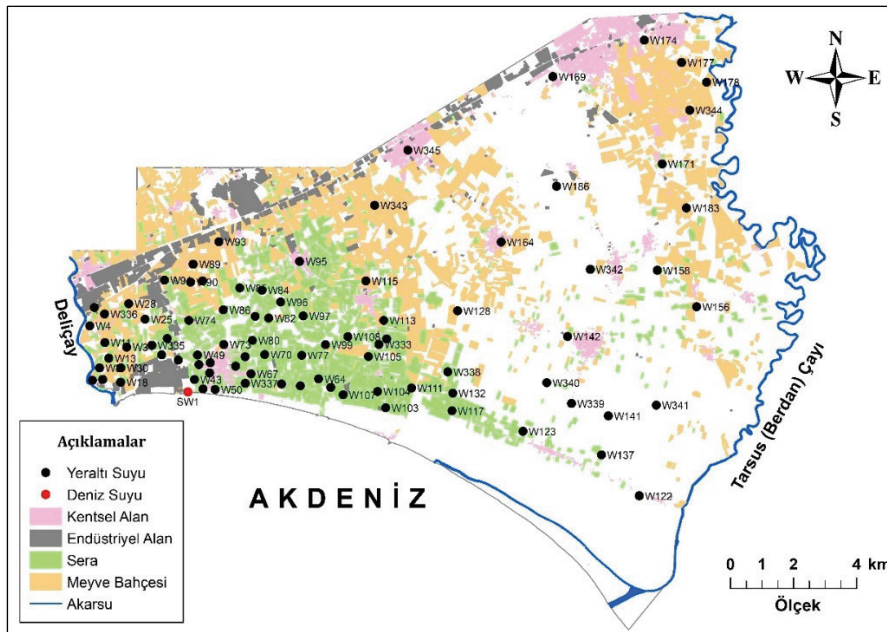
YÖNTEMLER

Eylül 2020’de (kurak dönem) yürütülen arazi çalışmaları kapsamında, konumları GPS yardımıyla belirlenen 87 farklı noktadan yeraltı suyu ve bir adet deniz suyu (Akdeniz) örneği alınmıştır (Şekil 3). Tüm su örnekleme noktalarından ikişer adet (anyon ve katyon analizleri için) örnek alınmış olup bunlar için 250 mL’lik HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) plastik şişeler kullanılmıştır. Katyon analizleri için ayrılan su örneklerine ~2 mL HNO₃ ilave edilmiştir. Alınan su örnekleri, sıcaklık nedeniyle meydana gelebilecek buharlaşmaya karşı, içinde soğutulmuş termo jel kalıpları bulunan buzluklarla laboratuvara nakledilmiş ve analizlerin yapılacağı zamana kadar +4 °C’deki karanlık bir ortamda saklanmıştır.

Alınan su örneklerinin fiziksel parametreleri (sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC), pH, tuzluluk, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP), çözülmüş oksijen (DO) ve toplam çözülmüş

madde (TDS), YSI marka PRODSS model multiparametre cihazı ile yerinde ölçülmüştür. Çeşitli majör ve minör anyonların (Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻ ve NO₂⁻) analizinde Hach Lange DR 3900 model Spektrofotometre kullanılmıştır. Majör elementlerin toplam derişimi (Ca, Mg, Na ve K) ve iz elementlerin (B, Br, Sr ve Li derişimleri ise Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı’nda bulunan ICP-MS yöntemiyle tespit edilmiştir. Su örneklerinin karbonat (CO₃⁻²) ve bikarbonat (HCO₃⁻) analizleri ise, dijital büret kullanılarak volumetrik titrasyon (0.01N H₂SO₄) yöntemiyle yapılmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen yeraltı sularının genel kimyasal karakterlerini ve fasiyes tiplerini belirlemek amacıyla Piper Diyagramı (Piper, 1944), deniz suyu girişim süreçlerinin görselleştirilmesi ve hidrokimyasal fasiyeslerin evrimini incelemek amacıyla Hidrokimyasal Fasiyes Evrim Diyagramı (HFE-D) (Giménez-Forcada, 2010) kullanılmıştır.



Şekil 3. Tarsus Kıyı Akiferi’ndeki su örnekleme noktaları.

Figure 3. Water sampling points in the Tarsus Coastal Aquifer.

Farklı tuzlanma mekanizmalarını açıklamak amacıyla Na^+/Cl^- (meq/L), $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ (meq/L), Cl^-/Br (meq/L), $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$ (meq/L), $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ (meq/L), Sr/Ca^{+2} (mmol/L) ve B/Li (mmol/L) iyon oranlarından yararlanılmıştır. Deniz suyunun baskın iyonu olan Cl^- kullanılarak Appelo ve Postma (2005)'in önerdiği deniz suyu fraksiyonu (f_{deniz}) hesaplanmıştır (Eşitlik 1). Deniz suyu fraksiyonu kullanılarak kıyı akiferlerinde katı ve sıvı faz arasındaki jeokimyasal reaksiyonlar için önemli bir gösterge olan iyonik delta (Δ_i) hesaplanmaktadır (Khadra vd., 2017).

$$f_{\text{deniz}} = (\text{Cl}^-_{\text{numune}} - \text{Cl}^-_{\text{tatlı}}) / (\text{Cl}^-_{\text{deniz}} - \text{Cl}^-_{\text{tatlı}}) \quad (1)$$

Eşitlikte $\text{Cl}^-_{\text{numune}}$ her bir örneğin klorür derişimini (mmol/L), $\text{Cl}^-_{\text{tatlı}}$ tuzlanmaya maruz kalmamış 29 adet yeraltı suyu örneğinin ortalamasını ve $\text{Cl}^-_{\text{deniz}}$ ise Akdeniz'den alınan deniz suyu örneğini temsil etmektedir. İkinci adımda, deniz suyu ile tatlı su karışımındaki iyon derişimi ($i_{\text{karışım}}$) hesaplanmaktadır (Eşitlik 2).

$$i_{\text{karışım}} = f_{\text{deniz}} \times i_{\text{deniz}} + (1 - f_{\text{deniz}}) \times i_{\text{tatlı}} \quad (2)$$

Karışımın derişiminden ($i_{\text{karışım}}$), her bir numune için ölçülen derişim (i_{numune}) çıkarılarak iyonik delta (Δ_i) değeri elde edilmektedir (Eşitlik 3). İyonik delta (Δ_i) değerin pozitif olması iyonun yeraltı suyunda zenginleştiğini, negatif olması ise iyonun yeraltı suyunda tükendiğini göstermektedir (Najib vd., 2016).

$$\Delta_i = i_{\text{numune}} - i_{\text{karışım}} \quad (3)$$

BULGULAR ve TARTIŞMA

Su Kimyası

Çalışma kapsamında incelenen 87 adet yeraltı suyu ve bir adet deniz suyu örneğinde analiz edilen

fizikokimyasal parametrelere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de sunulmuştur. Bölgedeki yeraltı suları, sıcaklık ve pH değerleri göz önüne alındığında, az ılık ve bazik sular sınıfında yer almaktadır. Beslenme miktarının az olduğu bölgelerdeki suların daha sıcak ve kirliliğe karşı daha hassas oldukları belirtilmiştir (Fidelibus ve Pulido-Bosch, 2018). TKA'nın kıyıya yakın bölgelerinde bulunan suların sıcaklıkları belirgin olarak yüksektir. Çalışma alanında ölçülen elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ise 514 ile 16490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Yüksek EC değerlerine ($>1000 \mu\text{S}/\text{cm}$) sahip olan yeraltı sularının, kıyı bölgelerinde meydana gelen deniz suyu girişiminden etkilenmiş olabileceği belirtilmektedir (Somay ve Gemici, 2009). Yağıştan beslenme yoluyla, atmosferle temas halinde olan vadoz (doymamış) bölgeden veya akiferin yüzey sularıyla etkileşim halinde olduğu bölgelerden yeraltı suyuna (veya akifere) oksijen girişi olabilmektedir (Hem, 1985; Menz, 2016). Bunun sonucunda da yeraltı sularının çözünmüş oksijen (DO) derişimlerinde artış meydana gelmektedir (akiferde organik madde mevcut değilse).

Çalışma alanındaki yeraltı sularının çözünmüş oksijen (DO) değerleri 0.82-6.98 mg/L arasında değişmekte olup TKA'nın batısında (Deliçay'a yakın kesimlerde) yüksek değerler gözlenmektedir. Yeraltı sularının toplam çözünmüş madde (TDS) değerleri 334-10720 mg/L arasında değişmekte olup kıyıya yakın alanlarda yüksek değerlerdeki artış dikkat çekicidir. Freeze ve Cherry (1979) tarafından yapılan TDS sınıflamasına göre, yeraltı suyu örneklerinin 74'ü tatlı su (0-1000 mg/L), 12'si acı su (1000-10000 mg/L) ve 1'i ise tuzlu su (10000-100000 mg/L) sınıfına girmektedir.

Çizelge 1. Tarsus Kıyı Akiferi yeraltı suyu örneklerinin (Eylül 2020) fiziko-kimyasal parametrelerinin tanımlayıcı istatistikleri.

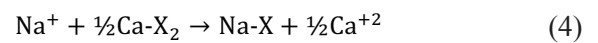
Table 1. Descriptive statistics of physicochemical parameters of groundwater samples (September 2020) from the Tarsus Coastal Aquifer.

Parametre	Birim	Yeraltı Suyu (n=87)					Deniz Suyu
		Ort.	Min.	Maks.	Medyan	STS	
pH		7.73	7.25	8.26	7.68	0.24	8.15
DO ^a	mg/L	3.25	0.82	6.80	3.17	1.63	5.91
EC ^b	µS/cm	1558	514	16490	1083	2209	56444
Sıcaklık	°C	22.10	19.2	24.7	22.0	1.00	29
TDS ^c	mg/L	1013	334	10720	703	1436	36690
Tuzluluk	‰	0.81	0.25	9.67	0.54	1.29	37.41
Ca ⁺²		89.9	21.2	671.7	70.1	87.1	471.3
Mg ⁺²		80	19	767	60	98	1418
Na ⁺		122	10	2867	51	318	10934
K ⁺		7.0	1.0	78.6	2.9	12.1	482.9
Cl ⁻	mg/L	277	16	5250	77	752	19903
HCO ₃ ⁻		282	104	649	267	100	65
CO ₃ ⁻²		1.1	0.3	3.0	0.9	0.6	1.0
SO ₄ ⁻²		99	1	510	81	74	2892
NO ₃ ⁻		47.5	1.1	214.7	26.5	52.2	224.1
NO ₂ ⁻		0.06	0.00	1.97	0.01	0.24	0.02
B		156	36	2042	111	219	3895
Br	µg/L	470	41	15118	188	1634	71837
Li		12.5	2.5	47.5	10.2	7.8	46.8
Sr		1856	350	12591	1273	1766	9593

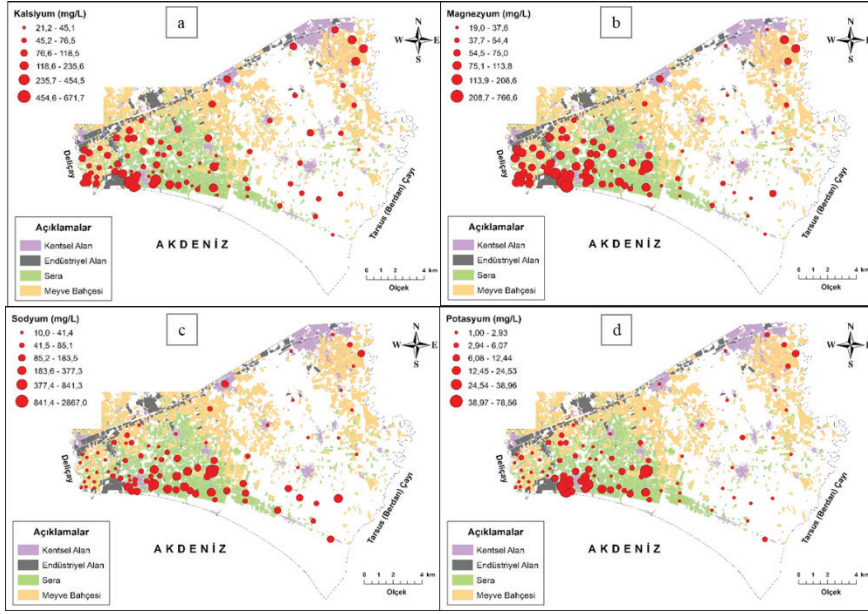
Ort.: ortalama, Min.: minimum, Maks.: maksimum, STS: standart sapma

^a çözülmüş oksijen, ^b elektriksel iletkenlik, ^c toplam çözülmüş madde

Yeraltı sularının kalsiyum (Ca⁺²) ve magnezyum (Mg⁺²) değerleri sırasıyla 21.1 ile 671.7 mg/L ve 19.0 ile 766.6 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4a ve 4b). Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişi sonucu katyon değişimi (Eşitlik 4) meydana gelmekte olup bunun sonucunda yeraltı sularında Ca⁺² iyonu zenginleşmektedir (Vengosh, 2014; Appelo ve Postma, 2005). Yeraltı sularındaki Ca⁺² iyonu zenginleşmesine ek olarak, deniz suyunda önemli miktarda bulunan Mg⁺² iyonu da yeraltı suyunda artmaktadır (Jones vd., 1999).



TKA'da kullanılan bitki koruyucu kimyasalların da (nemasol ve tamifume gibi) yeraltı sularındaki Na⁺ ve K⁺ derişimleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Deniz suyunun da önemli bileşenleri arasında bulunan bu iyonlar, farklı kaynaklar ile yeraltı suyunda zenginleşmektedir. TKA yeraltı sularındaki Na⁺ ve K⁺ derişimleri sırasıyla 10-2867 mg/L ve 1.00-78.56 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4c ve Şekil 4d).



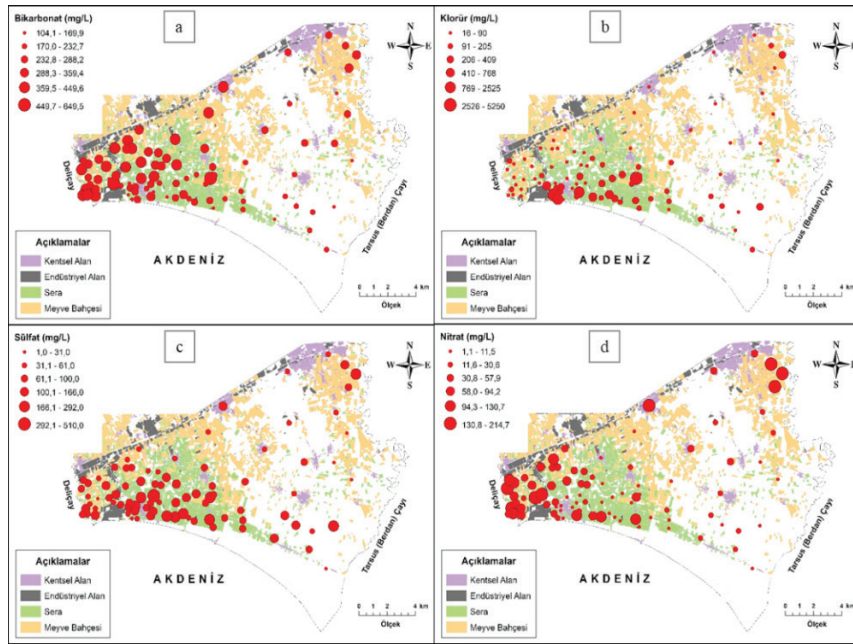
Şekil 4. Yeraltı suyu örneklerinin Ca²⁺ (a), Mg²⁺ (b), Na⁺ (c) ve K⁺ (d) derişimlerine ait dağılım haritaları.

Figure 4. Distribution maps of Ca²⁺ (a), Mg²⁺ (b), Na⁺ (c), and K⁺ (d) concentrations in groundwater samples.

TKA'nın batı bölgesinde ve beslenme alanını oluşturan kuzey kesimlerinde yüksek HCO₃⁻ derişimleri (104-650 mg/L) gözlenmektedir (Şekil 5a). Deniz suyu girişiminin belirteci olarak kullanılan Cl⁻ değerleri TKA yeraltı sularında 16 ile 5250 mg/L arasında (Şekil 5b) değişmekte olup yüksek Cl⁻ derişimli sularda antropojenik ve jeojenik (NaCl çözünmesi) faktörlerin birlikte etkili olduğu düşünülmektedir. SO₄⁻² derişimleri 1-510 mg/L arasında değişen (Şekil 5c) TKA yeraltı sularındaki yüksek derişimler çoğunlukla bölgedeki tarımsal faaliyetlerde yoğun olarak kullanılan amonyum sülfattan (şeker gübresi) ((NH₄)₂SO₄) kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, TKA'nın kuzeyindeki alanlarda ve akiferin derinliklerinde kalın evaporit katmanlarının var olduğu bilinmekte (Güler vd., 2012) olup yüksek sülfat derişimlerine evaporit

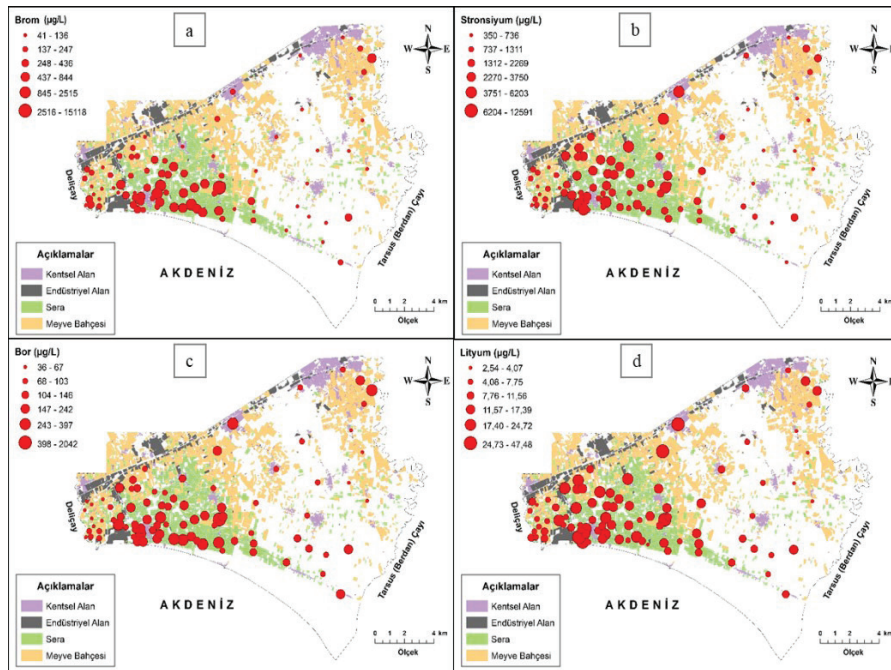
çözünmesinin de katkısı olabilmektedir. Aşırı gübre kullanımı, evsel ve endüstriyel atıksu deşarjlarının bir sonucu olarak yeraltı sularında NO₃⁻ derişimi artmaktadır (Appelo ve Postma, 2005). Daha önce yapılan çalışmalarda da, TKA yeraltı sularında önemli bir NO₃⁻ kirliliğinin olduğu vurgulanmıştır (Korkut, 2009; Kurt, 2010; Güler vd., 2012). Çalışma alanı yeraltı suyu örneklerinin NO₃⁻ değerleri 1.0 ile 214.7 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 5d).

Deniz suyunun önemli bileşenleri olan Br, Sr, B ve Li elementleri bu çalışmada deniz suyu girişimini belirlemek amacıyla irdelenmiştir. Bu iz elementlerin derişimleri sırasıyla 40-15118 µg/L (Şekil 6a), 350-12591 µg/L (Şekil 6b), 36-2042 µg/L (Şekil 6c) ve 2.54-47.48 µg/L (Şekil 6d) arasında değişmektedir.



Şekil 5. Yeraltı suyu örneklerinin HCO_3^- (a), Cl^- (b), SO_4^{2-} (c) ve NO_3^- (d) derişimlerine ait dağılım haritaları.

Figure 5. Distribution maps of HCO_3^- (a), Cl^- (b), (c) SO_4^{2-} and NO_3^- (d) concentrations in groundwater samples.



Şekil 6. Yeraltı suyu örneklerinin Br (a), Sr (b), B (c) ve Li (d) derişimlerine ait dağılım haritaları.

Figure 6. Distribution maps of Br (a), Sr (b), B (c), and Li (d) concentrations in groundwater samples.

Cl⁻ gibi Br⁻'de deniz suyu girişi olan akiferlerde izleyici olarak kullanılmaktadır (Vengosh ve Rosenthal, 1994). Farklı tuzlanma mekanizmalarını tanımlamak amacıyla Cl⁻, Na⁺ ve SO₄⁻² iyonları Sr ile birlikte değerlendirilmektedir (Lebid vd., 2016). Yüksek Sr derişimleri (>5000 µg/L) hem deniz suyunun etkisini hem de evaporit çözünmesinin etkisini gösterebilmektedir (Somay ve Gemici, 2009).

Literatürde ayrıca farklı tuzlanma kaynaklarını belirlemek amacıyla B/Li oranı da kullanılmaktadır (Sanchez-Martos vd., 2002). Deniz suyu girişimin göstergesi olarak kabul edilen B ve Li (Sanchez-Martos vd., 2002), aynı zamanda evaporitlerin tuzluluk üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla da kullanılmaktadır. Eysel/endüstriyel atıkların ve B içerikli gübrelerin yeraltı suyuna karışması nedeniyle bu sularda B derişimi artmaktadır (Sanchez Martos vd., 2002).

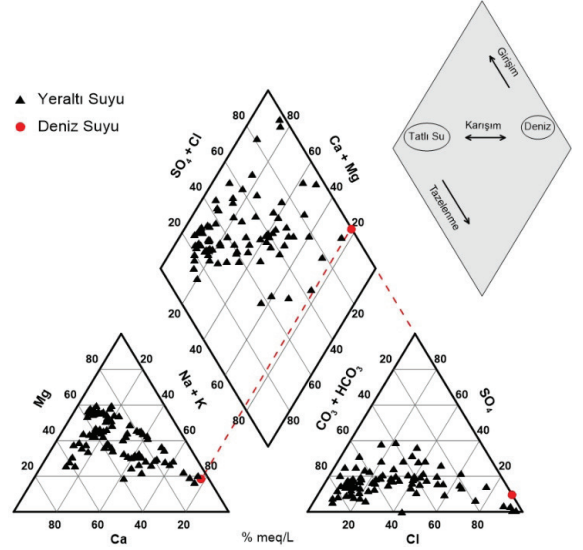
Hidrojeokimyasal Ortam

Diyagramlar

Tarsus Kıyı Akiferi'ne ait yeraltı suyu örneklerinin hidrojeokimyasal sınıflandırmasını yapmak ve fasiyeslerini belirlemek amacıyla Piper Diyagramı (Piper, 1944), deniz suyu girişimini değerlendirmek ve kıyı akiferindeki tazelenme-tuzlanma süreçlerini belirlemek için Hidrokimyasal Fasiyes Evrim Diyagramı (HFE-D) (Giménez-Forcada, 2010) kullanılmıştır.

Piper diyagramına (Şekil 7) göre; yeraltı suyu örneklerinin katyon ve anyon içeriği bakımından büyük bir çoğunluğu "karışık" tipte sularla "bikarbonat+karbonat" tipi sular sınıfını temsil etmektedir. Diyagramın katyon-anyon bileşimini yansıtan paralelkenar şekilli ana bölümüne göre sular üç sınıfa ayrılmıştır. Bunlar

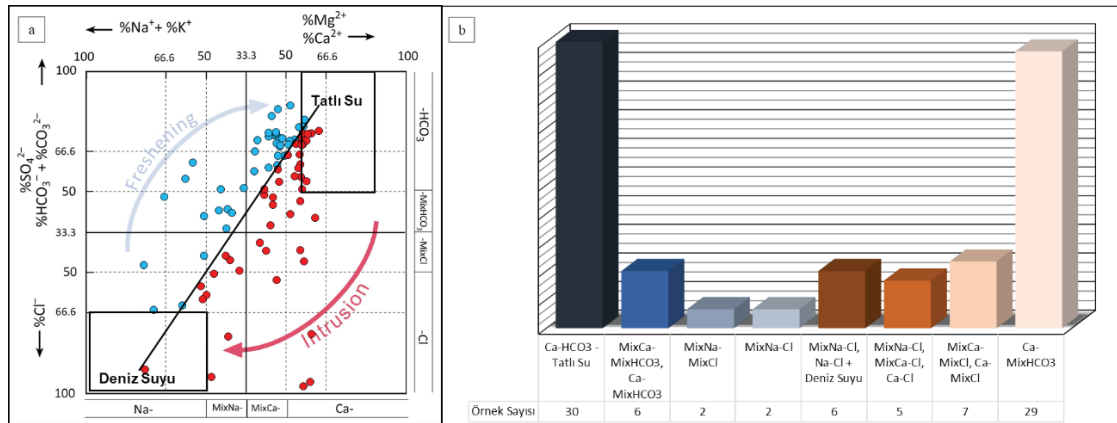
tatlı suları karakterize eden "Ca-Mg-HCO₃" tipi sular, deniz suyu girişiminin etkisindeki "Ca-Cl" tipi sular ve deniz suyunun karışımını yansıtan "Na-Cl" tipi sular şeklindedir.



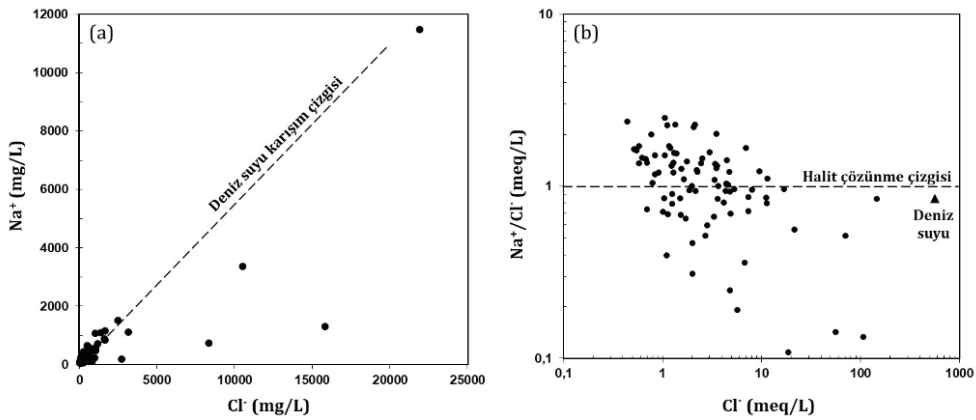
Şekil 7. Tarsus Kıyı Akiferi'ne ait su örneklerinin Piper diyagramı.

Figure 7. Piper diagram of water samples from Tarsus Coastal Aquifer.

Deniz suyu girişimi ve tazelenme evrelerini gösteren HFE-Diyagramına göre (Şekil 8a); TKA yeraltı sularının %47'si tazelenme, %53'ü ise deniz suyu girişiminin etkisi altındadır. HFE-Diyagramı dört ana ve sekiz alt evreye ayrılmaktadır (Giménez-Forcada, 2010). Yeraltı suyu örnekleri arasında, tazelenme süreci etkisindeki örneklerin ikisi MixNa-Cl, ikisi MixNa-MixCl, altısı MixCa-MixHCO₃⁻ ve 30'u Ca-HCO₃⁻-tatlı su alt evre fasiyesindedir. Girişim sürecindeki örneklerin ise 29'u Ca-MixHCO₃⁻, yedisi MixCa-MixCl, beşi MixNa-Cl, Ca-Cl ve altısı MixNa-Cl, Na-Cl-deniz suyu alt evre fasiyesindedir (Şekil 8b).



Şekil 8. Tarsus Kıyı Akiferi'ne ait su örneklerinin HFE-Diyagramı (a) ve alt evre fasiyes dağılımları (b).
Figure 8. HFE-Diagram (a) and subphase facies distribution (b) of water samples from Tarsus Coastal Aquifer.



Şekil 9. Yeraltı suyu örneklerinin Na^+ - Cl^- (a) ve Na^+/Cl^- - Cl^- (b) grafikleri.
Figure 9. Na^+ - Cl^- (a) and Na^+/Cl^- - Cl^- (b) graphs of groundwater samples.

Majör-Minör İyonlar ve İyon Oranları

Deniz suyu girişiminin etkisindeki akifere ait yeraltı sularında Na^+/Cl^- molar oranı 0.86'dan daha düşük değerlerde olup (Jones vd., 1999) 1'e yakın oranlar halit (NaCl) mineralinin çözünmesine işaret etmektedir (Vengosh, 2014). Antropojenik kaynakların etkisiyle (evsel atıklar) Na^+/Cl^- oranı 1'den büyük değerlere sahip olabilmektedir (Jones vd., 1999). TKA yeraltı suyu örnekleri, genel olarak deniz suyu karışım çizgisine yakın eğilim göstermektedir

(Şekil 9a). Na^+/Cl^- oranına göre, çalışma alanında deniz suyu girişiyle birlikte jeojenik (halit) ve antropojenik (evsel atıklar) etkilerin tuzlanmaya katkı sağladığı söylenebilir (Şekil 9b).

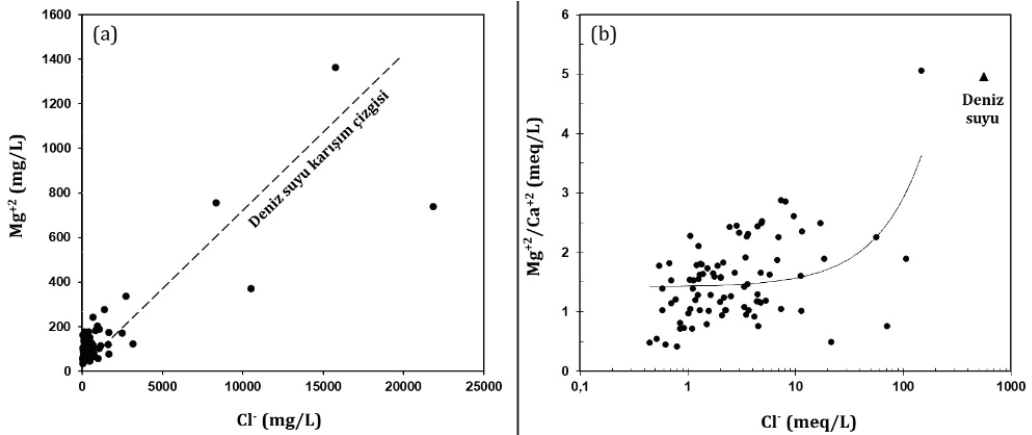
Tuzlanma etkisi altında olmayan yeraltı sularının $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ meq/L oranı 1'den az olmaktadır (Vengosh, 2014). Deniz suyundan etkilenen yeraltı sularında bu oran 1'den büyük olup (Telahigue vd., 2018) $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+} > 5$ oranları deniz suyu girişiminin doğrudan göstergesi olarak kabul edilmektedir (Somay ve

Gemici, 2009). Düşük Mg^{+2}/Ca^{+2} oranı (<0.5) ise $CaCO_3$ veya jips mineralinin çözünmesinden kaynaklanmaktadır (Vengosh ve Rosenthal, 1994). Çalışma alanından alınan deniz suyu örneğinin (Akdeniz) Mg^{+2}/Ca^{+2} (meq/L) oranı 4.96 olup bazı örneklerin Mg derisimleri deniz suyu karışım çizgisinden saptığı görülmektedir (Şekil 10a). Örneklerin Mg^{+2}/Ca^{+2} oranı TKA yeraltı sularında hem deniz suyu girişimi hem de Messiniyen evaporit minerallerinin çözünmesine bağlı olarak tuzlanma meydana geldiğini göstermektedir (Şekil 10b).

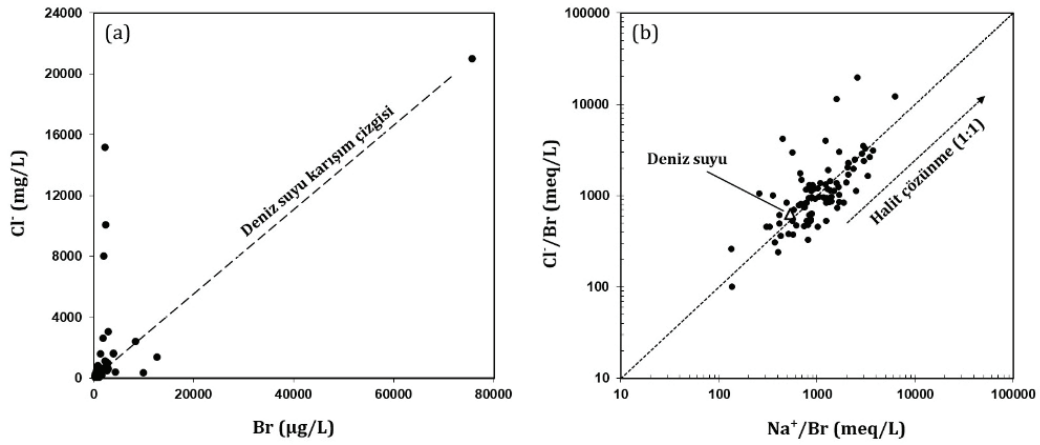
Farklı tuzlanma kaynaklarının ortaya konulması amacıyla Cl^-/Br^- (meq/L) oranı yaygın olarak kullanılmaktadır. Deniz suyunun Cl^-/Br^- oranı 655 olup (Alcala ve Custodio, 2008) bu oran Akdeniz'de 624'tür. Jeojenik ve antropojenik kaynaklı kirlenme/tuzlanma mekanizmalarını belirlemek için de, Cl^-/Br^- oranı ölçüt olarak değerlendirilmektedir. Pestisit kullanımı (Br bazlı), hayvansal ve septik atıkların yeraltı suyuna karışmasıyla bu oran 300'e kadar düşmektedir (Davis vd., 1998; Alcala ve Custodio, 2008). Yüksek Cl^-/Br^- oran değerleri $NaCl$ 'nin (doğal ve/veya endüstriyel) çözünmesi sonucu meydana gelmekte ve bu oran

1000 ile 10000 arasında değişmektedir (Davis vd., 1998; Alcala ve Custodio, 2008). TKA'daki tuzlanma kaynaklarının açıklanması amacıyla Cl^-/Br^- karışım grafiğiyle birlikte $Cl^-/Br^-/Na^+/Br^-$ grafiği oluşturulmuştur (Şekil 11a ve Şekil 11b). Bu iyonlarla oluşturulan grafiklere göre, akiferin tuzlanmasında deniz suyu girişimiyle birlikte jeojenik (halit) ve antropojenik faktörlerin etkili olduğu görülmektedir.

Yeraltı sularında SO_4^{-2} iyonunun yüksek derişimde olması deniz suyu girişimi, jips mineralinin çözünmesi, sülfat içerikli gübre kullanımı gibi faktöre bağlı olabilmektedir (Vengosh ve Rosenthal, 1994; Sanchez-Martos vd., 2002; Pulido-Lebouf vd., 2003; Zghibi vd., 2013). Yüksek SO_4^{-2} derişimiyle birlikte yeraltı sularındaki NO_3^- varlığı gübre, kanalizasyon sızıntısı ve hayvansal atık gibi girdilere de işaret etmektedir (Zghibi vd., 2013). Jipsli kayalarla temaslı yeraltı sularında Ca^{+2}/SO_4^{-2} (meq/L) oranı 1'e yaklaşmaktadır (Vengosh ve Rosenthal, 1994). Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bir bölge olan TKA'da, amonyum sülfat gibi gübrelerin kullanıldığı saha çalışmaları sırasında tespit edilmiştir.



Şekil 10. Yeraltı suyu örneklerinin $Mg^{+2}-Cl^-$ (a) ve $Mg^{+2}/Ca^{+2}-Cl^-$ (b) grafikleri.
Figure 10. $Mg^{+2}-Cl^-$ (a) and $Mg^{+2}/Ca^{+2}-Cl^-$ (b) graphs of groundwater samples.



Şekil 11. Yeraltı suyu örneklerinin Cl⁻-Br (a) ve Cl⁻/Br-Na⁺/Br (b) grafikleri.

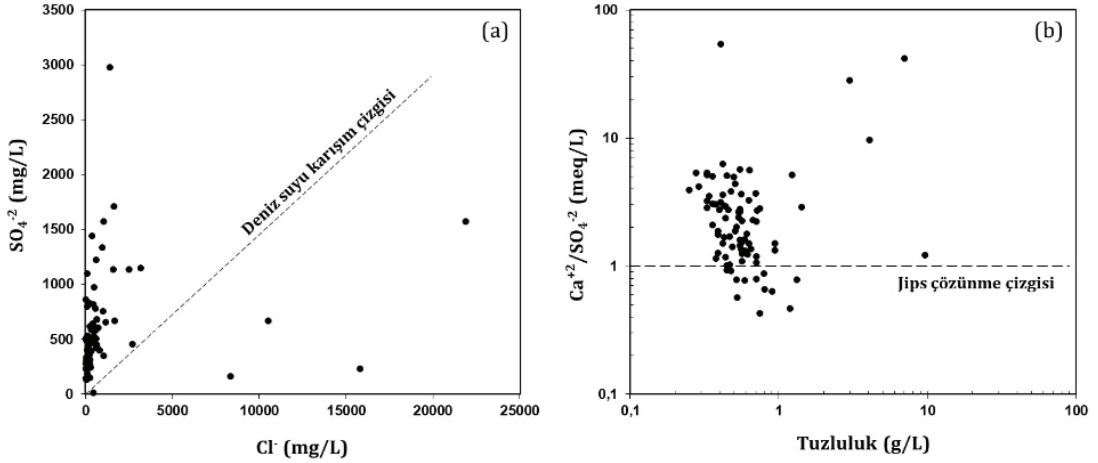
Figure 11. Cl⁻-Br (a) and Cl⁻/Br-Na⁺/Br (b) graphs of groundwater samples.

Bu tür gübrelerin de akiferin tuzlanmasında rol oynadığı düşünülmektedir. Yeraltı suyu örneklerinin deniz suyu karışım çizgisinden sapması sülfatın farklı kaynaklardan geldiğini göstermektedir (Şekil 12a). Oluşturulan Ca²⁺/SO₄⁻²-Tuzluluk grafiğine (Şekil 12b) göre örneklerin çoğunda Ca²⁺ fazlalığı olup bu durum deniz suyu girişimine bağlı kation değişimi ve/veya karbonat çözünmesi ile açıklanabilmektedir (Abu-alnaeem vd., 2018). Ca²⁺/SO₄⁻² oranına göre, TKA'daki bir diğer tuzlanma kaynağı jips mineralinin çözünmesidir.

Deniz suyu girişiminin göstergesi olan Cl⁻ ile antropojenik kirliliğin en önemli göstergesi olan NO₃⁻ parametreleri birlikte kullanılarak yeraltı suyunun kalitesini etkileyen farklı mekanizmalar ortaya konulabilmektedir. TKA'da yapılan bir çalışmada (Güler vd., 2012) vurgulandığı üzere, bölgedeki tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu sonucu kıyı akiferi tarımsal kirleticilerin etkisi altındadır. Bu kapsamda, hem antropojenik kirleticinin hem de deniz suyu karışımının tanımlanması amacıyla NO₃⁻/Cl⁻ (meq/L) oranı (Park vd., 2005; Zghibi vd., 2013) kullanılarak

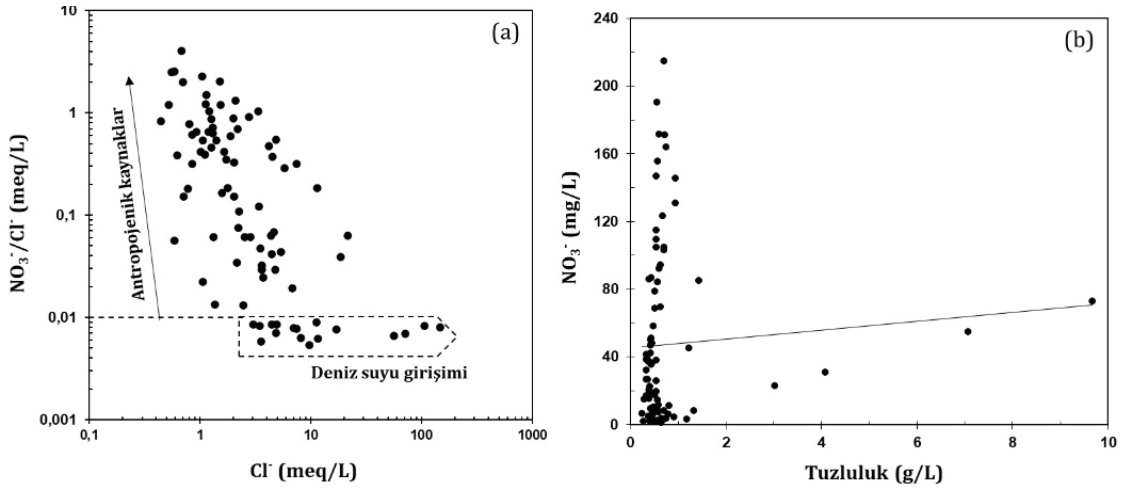
NO₃⁻/Cl⁻-Cl⁻ grafiği oluşturulmuştur. Deniz suyu karışımıyla birlikte yeraltı sularındaki NO₃⁻/Cl⁻ oranı 0'a yakın değerler gösterirken yüksek NO₃⁻/Cl⁻ değerleri antropojenik kaynaklara işaret etmektedir (Zghibi vd., 2013). Özellikle hayvansal ve insan kaynaklı atıkların yeraltı suyuna karışmasıyla bu oran 1'e yakın değerlere çıkmaktadır (Akpataku vd., 2020). TKA yeraltı sularındaki nitrat kaynaklarının çoğunluğunu gübreler ile hayvansal ve insan kaynaklı atıklar oluşturmaktadır (Şekil 13a). Aynı zamanda nitratın tuzluluk üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı Şekil 13b'deki grafikten anlaşılmaktadır.

Deniz suyundaki derişimleri yeraltı suyundaki derişimlerden daha yüksek olan Sr, B ve Li elementleri deniz suyu girişiminin göstergesi olarak kullanılmaktadır (Giménez ve Morell, 1997). Bu elementler deniz suyu girişiminin etkisini göstermek amacıyla kullanıldığı gibi, farklı tuzlanma kaynaklarını ortaya koymak amacıyla da kullanılmaktadır (Giménez ve Morell, 1997).



Şekil 12. Yeraltı suyu örneklerinin SO_4^{2-} - Cl^- (a) ve Ca^{2+}/SO_4^{2-} -Tuzluluk (b) grafikleri.

Figure 12. SO_4^{2-} - Cl^- (a) and Ca^{2+}/SO_4^{2-} -Salinity (b) graphs of groundwater samples.

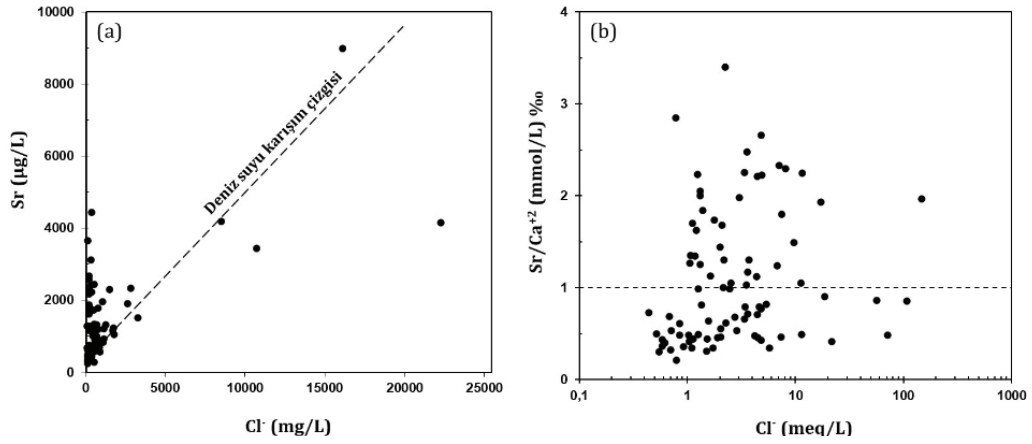


Şekil 13. Yeraltı suyu örneklerinin NO_3^- - Cl^- (a) ve NO_3^- -Tuzluluk (b) grafikleri.

Figure 13. NO_3^- - Cl^- (a) and NO_3^- -Salinity (b) graphs of groundwater samples.

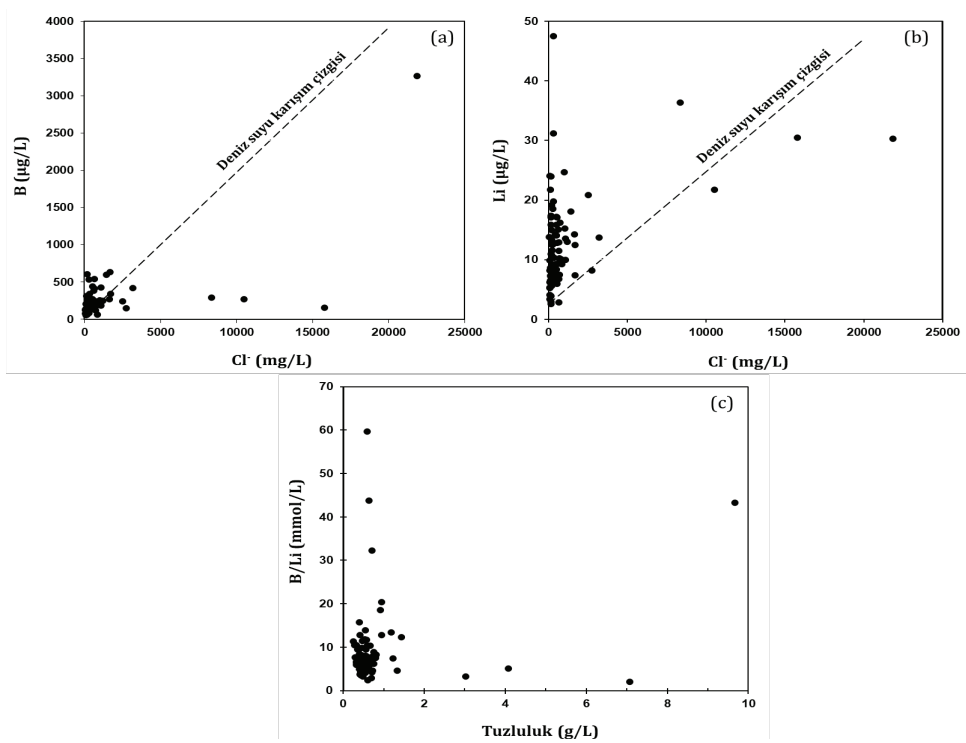
TKA yeraltı suyu örneklerinin Sr ve B derişimleri çoğunlukla deniz suyu karışım çizgisine yakın eğilim göstermekle birlikte, bu çizgiden sapmalar gösteren örnekler farklı tuzluluk kaynaklarından etkilenmektedir (Şekil 14a ve 15a). Evaporitlerin etkisini değerlendirmek amacıyla Sr/Ca^{+2} (mmol/L) oranı kullanılmakta olup bu oran ≥ 1 olmaktadır (Lepid vd., 2016).

TKA yeraltı suyu örneklerinin %44'ünde Sr/Ca^{+2} oranı > 1 'den büyüktür (Şekil 14b). Deniz suyu karışım çizgisinden sapma gösteren örneklerin Li derişimi (Şekil 15b) B derişimi ile birlikte değerlendirilebilmektedir. Tuzlu örneklerin yüksek B/Li (mmol/L) oranları (Şekil 15c) evaporitlerin etkisini ortaya koymaktadır (Sanchez-Martos vd., 2002).



Şekil 14. Yeraltı suyu örneklerinin Sr-Cl⁻ (a) ve Sr/Ca²⁺-Cl⁻ (b) grafikleri.

Figure 14. Sr-Cl⁻ (a) and Sr/Ca²⁺-Cl⁻ (b) graphs of groundwater samples.



Şekil 15. Yeraltı suyu örneklerinin B-Cl⁻ (a), Li-Cl⁻ (b) B/Li-Tuzluluk (c) grafikleri.

Figure 15. B-Cl⁻ (a), Li-Cl⁻ (b), and B/Li-Salinity (c) graphs of groundwater samples.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bölgenin iklimi, denize olan mesafe, evaporitlerin varlığı ve antropojenik faaliyetler gibi faktörlerin etkisiyle birçok farklı tuzlanma kaynaklarının etkisi altındaki Tarsus Kıyı Akiferi'nde, tuzlanma kaynaklarının ortaya konulması amacıyla yapılan bu çalışmada Piper diyagramı, HFE-Diyagramı, iyon oranları ve iyon oranlarının ikili (x-y) grafikleri kullanılmıştır.

TKA yeraltı suyu örneklerinde, en düşük ve en yüksek fiziksel parametre değerleri şu şekildedir: sıcaklık 19.2-24.7 °C; pH 7.25-8.26; EC 514-16490 µS/cm, DO 0.82-6.98 mg/L; TDS 334-10720 mg/L ve tuzluluk 0.25-9.67 g/L'dir. Kimyasal parametrelerin en düşük ve en yüksek değerleri ise şu şekildedir: Ca⁺² 21.1-671.7 mg/L; Mg⁺² 19.0-766.6 mg/L; Na⁺ 10-2867 mg/L; K⁺ 1.00-78.56 mg/L; CO₃⁻² 0.29-2.95 mg/L; HCO₃⁻ 104-650 mg/L; Cl⁻ 16-5250 mg/L; SO₄⁻² 1-510 mg/L; NO₃⁻ 1.0-214.7 mg/L; NO₂⁻ 0.0-1.97 mg/L; Br 40-15118 µg/L; Sr 350-12591 µg/L; B 26-2042 µg/L ve Li 2.54-47.48 µg/L'dir.

Piper diyagramına göre yeraltı suyu örneklerinin (n=87) 10 tanesi "sodyum-klorür" tipinde olup deniz suyunun etkisini göstermektedir. Beş adet örnek deniz suyu girişim sürecini yansıtan "kalsiyum-klorür" fasiyesindedir. Geriye kalan örnekler ise "kalsiyum-magnezyum-bikarbonat" su tipindedir.

Tazelenme ve girişim süreçlerini görselleştiren HFE-Diyagramında 87 adet örneğin %47'si tazelenme, %53'ü ise deniz suyu girişiminin etkisi altındadır.

Majör-minör iyonlar, iyon oranları ve oluşturulan ikili (x-y) grafiklere göre TKA'da tuzlanmaya neden olan üç ana faktör belirlenmiştir. Bunlar; aşırı pompaj nedeniyle düşen yeraltı suyu seviyesi sonucu meydana gelen

deniz suyu girişimi, Messiniyen evaporitlerinin (anhidrit, jips ve halit) çözünmesi ve antropojenik (tarımsal ve endüstriyel) faaliyetlerdir.

Bu çalışma, Tarsus Kıyı Akiferi'nde meydana gelen tuzlanmanın boyutunu, etkisini ve dağılımını ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, sürdürülebilir su yönetiminin ve/veya kıyı akiferi yönetiminin önemine vurgu yapmaktadır. İklim değişikliğinin en çok hissedildiği Akdeniz havzasında yer alan Tarsus Kıyı Akiferi'ndeki bu kritik soruna tüm paydaşların rol aldığı ve havza bazlı bütüncül bir yaklaşım ile çözümler üretilmelidir. Bu yaklaşımlar, su kullanımını, gübre kullanımını, tarımsal ve evsel atıkların bertarafını ve su kullanıcılarının bilinçlendirilmesini kapsamalıdır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Avrupa Birliği'nin PRIMA (Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area) Programı kapsamındaki "Kıyısız Akdeniz Bölgelerinde Kritik Yeraltı Suyu Rezervlerinin Tuzlanması: Bütünleşik Modelleme ve Akıllı Bilgi İletişim Teknolojisi Araçlarının Kullanımı ile Tanımlama, Risk Değerlendirmesi ve Sürdürülebilir Yönetim (Proje kısa adı: MEDSAL)" başlıklı, 118Y366 nolu TÜBİTAK projesi tarafından finanse edilmiştir. Yazarlar, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) ve PRIMA'ya desteklerinden dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Abu-alnaeem, M. F., Yusoff, I., Fatt Ng, T., Alias, Y., Raksmei, M., (2018). Assessment of groundwater salinity and quality in Gaza coastal aquifer, Gaza Strip, Palestine: An integrated statistical,

- geostatistical and hydrogeochemical approaches study. *Science of the Total Environment*, 615, 972-989.
- Alcala, F. J., Custodio E., (2008). Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal. *Journal of Hydrology*, 359 (1-2), 189-207.
- Antonioli, F., De Falco, G., Lo Presti, V., Moretti, L., Scardino, G., Anzidei, M. ve diğerleri. (2020). Relative sea-level rise and potential submersion risk for 2100 on 16 Coastal Plains of the Mediterranean Sea. *Water*, 12 (8), 2173-2198.
- Appelo, C. A. J., Postma, D., (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (2nd edition). A. A. Balkema Publishers, Amsterdam, 634 s.
- Davis, S. N., Whittemore, D. O., Fabryka-Martin, J., (1998). Use of chloride/bromide ratios in studies of potable water. *Ground Water*, 36 (2), 338-350.
- Demirel, Z., (2004). The history and evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in Mersin, Turkey. *Journal of Environmental Management*, 70, 275-282.
- DSİ, (1978). Mersin, Berdan ve Efrenk Ovaları hidrojeolojik etüd raporu. DSİ, 60 s.
- Freeze, R. A., Cherry, J. A., (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, New Jersey, 604 s.
- Fidelibus, M. D., Pulido-Bosch, A., (2018). Groundwater temperature as an indicator of the vulnerability of karst coastal aquifers. *Geosciences*, 9 (1), 2-22.
- Giménez, E., Morell, I., (1997). Hydrogeochemical analysis of salinization processes in the coastal aquifer of Oropesa (Castellón, Spain). *Environmental Geology*, 29 (1), 118-131.
- Giménez-Forcada, E., (2010). Dynamic of seawater interface using Hydrochemical Facies Evolution Diagram. *Ground Water*, 48 (2), 212-216.
- Göney, S. (1976). Adana Ovaları. İstanbul Üniversitesi yayımları, İstanbul, 179 s.
- Güler, C., (2009). Site characterization and monitoring of natural attenuation indicator parameters in a fuel contaminated coastal aquifer: Karaduvar (Mersin, SE Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 59 (3), 631-643.
- Güler, C., Kurt, M. A., Alpaslan, M., Akbulut, C., (2012). Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus Coastal Plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414-415, 435-451.
- Güler, C., Kurt, M. A., Korkut, R. N., (2013). Assessment of groundwater vulnerability to nonpoint source pollution in a Mediterranean Coastal Zone (Mersin, Turkey) under conflicting land use practices. *Ocean&Coastal Management*, 71, 141-152.
- Hatipoğlu, Z., Bayarı S., (2005). Mersin-Tarsus kıyı ve yamaç akiferlerinin hidrojeokimyası. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 48 (2), 59-72.
- Hem, J. D., (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U. S. Geological Survey Water Supply Paper 2254, Virginia, 264 s.
- İlgar, A., (2015). Messiniyen Tuzluluk Krizi Akdeniz'in kurumasına ilişkin bir derleme. *Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 20, 73-80.
- Jones, B. F., Vengosh, A., Rosenthal, E., Yechieli, Y., (1999). *Geochemical investigations. Bear* (Ed.), *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers-Concepts, Methods and Practices*. Springer Science+Business Media, Israel, 51-69 ss.
- Khadra, W. M., Stuyfzand, P. J., Breukelen van, B. M., (2017). Hydrochemical effects of saltwater intrusion in a limestone and dolomitic limestone aquifer in Lebanon. *Applied Geochemistry*, 79, 36-51.
- Korkut, R. N., (2009). Deliçay-Tarsus Çayı (Mersin) arasındaki bölgedeki yeraltı sularında nitrat ve nitrit kirliliğinin araştırılması. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Yüksek Lisans Tezi, 67 s (yayımlanmamış).
- Kurt, M. A., (2010). Deliçay ve Tarsus Çayı (Mersin) arasında kalan alandaki toprak profillerinin mineralojisi, toprak ve su kirliliğinin araştırılması.

Güven, Güler, Kurt, Yıldırım

Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Doktora Tezi, 424 s (yayımlanmamış).

- Lebid, H., Errih, M., Boudjemline, D., (2016). Contribution of strontium to the study of groundwater salinity. Case of the alluvial plain of Sidi Bel Abbas (Northwestern Algeria). *Environmental Earth Sciences*, 75:947.
- Menz, C. (2016). Oxygen delivering processes in groundwater and their relevance for iron-related well clogging processes—a case study on the Quaternary aquifers of Berlin. *Freien Üniversitesi, Berlin, Doktora tezi*, 185 s (yayımlanmamış).
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2022). Sea Level. 27 Kasım 2022 tarihinde <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> adresinden erişildi.
- Park, S. C., Yun, S. T., Chaea, G. T., Yoo, I. S., Shin, K. S., Heoa, C. H. ve diğerleri, (2005). Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea. *Journal of Hydrology*. 313 (3-4), 182-194.
- Piper, A. M., (1944). A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, 25 (6), 914-928.
- Pulido-Leboeuf, P., Pulido-Bosch, A., Calvache, M. L., Vallejos, A., Andreu, J. M., (2003). Strontium, SO_4^{2-}/Cl^- and Mg^{+2}/Ca^{+2} ratios as tracers for the evolution of seawater into coastal aquifers: the example of Castell de Ferro aquifer (SE Spain). *Comptes Rendus Geoscience*, 335 (14), 1039-1048.
- Ranjan, P., Kazama, S., Sawamoto, M., (2006). Effects of climate change on coastal fresh groundwater resources. *Global Environmental Change*, 16, 388-399.
- Sanchez-Martos, F., Pulido-Bosch, A., Molina-Sanchez, L., Vallejos-Izquierdo, A., (2002). Identification of the origin of salinization in groundwater using minor ions (Lower Andarax, Southeast Spain). *The Science of the Total Environment*, 297 (1-3), 43-58.
- Sandal, E. K., Gürbüz, M., (2003). Mersin şehrinin mekansal gelişimi ve çevresindeki tarım alanlarının amaç dışı kullanımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1, 117-130.
- Schmidt, G., (1961). VII. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklatürü. *Petrol Dergisi*, 6, 47-63.
- Somay, M. A., Gemici, Ü., (2009). Assessment of the salinization process at the coastal area with hydrogeochemical tools and Geographical Information Systems (GIS): Selçuk Plain, Izmir, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*, 201 (1), 55-74.
- Şenol, M., Şahin Ş., Duman, T. Y., (1998). Adana-Mersin dolayının jeoloji etüd raporu. MTA, Ankara, 46 s.
- Telahigue, F., Agoubi, B., Souid, F., Kharroubi, A., (2018). Assessment of seawater intrusion in an arid coastal aquifer, south-eastern Tunisia, using multivariate statistical analysis and chloride mass balance. *Physics and Chemistry of the Earth*, 106, 37-46.
- United Nations Water, (2022). Groundwater making the invisible visible. UNESCO, Paris, 225 s.
- Ünlügenç, U. C. (1986). Kızıldağ Yayla (Adana) dolayının jeoloji incelemesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Yüksek Lisans Tezi, 76 s (yayımlanmamış).
- Vengosh, A., Rosenthal E., (1994). Saline groundwater in Israel: its bearing on the water crisis in the country. *Journal of Hydrology*, 156 (1-4), 389-430.
- Vengosh, A., (2014). Salinization and Saline Environments. Holland ve Turekian (Ed.) *Treatise on Geochemistry Second Edition*. Elsevier, USA, ss. 325-378.
- Wetzelhuetter, C., (2015). Groundwater in the Coastal Zones of Asia-Pacific. Springer, Netherlands, 110 s.
- Zghibi, A., Tarhouni J., Zouhri, L., (2013). Assessment of seawater intrusion and nitrate contamination on the groundwater quality in the Korba coastal plain of Cap-Bon (North-east of Tunisia). *Journal of African Earth Sciences*, 87, 1-12.



Araştırma Makalesi / Research Article

Silifke-Mut (Mersin) Karayolunda Meydana Gelen Kargıcak Heyelanının Değerlendirilmesi

An Assessment of the Kargıcak Landslide on the Silifke-Mut (Mersin) Highway

Muhammet NURDUHAN¹ , Hidayet TAĞA^{2,*} 

¹Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü, 33220 Mersin

²Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy Kampüsü, 33343 Mersin

Geliş (Received): 06 Ocak (January) 2023, Düzeltme (Revised): 20 Ocak (January) 2023, Kabul (Accepted): 04 Şubat (February) 2023

ÖZ

Bu çalışmada, Silifke-Mut ilçelerini birbirine bağlayan D-715 Karayolu'nun Km 31+300-31+500 arasında Kargıcak mahallesinde aşırı yağışların arkasından 8 Ocak 2020 tarihinde oluşan kütle hareketinin mekanizması, kayma derinliği ve bölgede yüzeyleyen litostratigrafi birimleri ile olan ilişkisi ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle inceleme alanının insansız hava aracı (İHA) ile çekilen fotoğraflardan, fotogrametrik yöntemle 2 cm çözünürlüklü sayısal yüzey modeli ve mühendislik jeolojisi haritası yapılmıştır. Heyelan alanında açılmış olan 9 adet karotlu sondajdan elden edilen örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde, indeks ve jeomekanik parametreleri belirlemeye yönelik laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Sondaj kuyularına yerleştirilen inklinometre düzeneklerinden elde edilen veriler kullanılarak kayma derinliği ve hızı belirlenmiştir. Bölgede 8 Ocak 2020 öncesi oluşan sağanak yağışlar heyelan alanında yüzeyleyen ayrılmış kıltaşı-kil biriminde boşluk suyu basıncını artırarak birimin kayma dayanımının azalmasına neden olmuştur. Elde edilen verilere göre Kargıcak heyelanı, dairesel başlayıp, ayrılmış kıltaşı-kil birimi ile kıltaşı-marn yüzeyinde düzlemsel olarak gelişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silifke-Mut Karayolu, Kargıcak heyelanı, İHA, inklinometre, aşırı yağış.

ABSTRACT

This study evaluates, the mass movement that occurred after heavy rains on January 8, 2020 in the Kargıcak district between Km 31+300 and 31+500 of the D-715 highway connecting Silifke and Mut districts. For this purpose, a 2 cm resolution digital surface model and an engineering geological map were first made, using photogrammetric methods from the photographs taken by the unmanned aerial vehicle (UAV). The index and geomechanical parameters of the units were determined by taking disturbed and undisturbed samples obtained from nine boreholes in the area where the landslide occurred. The depth of the sliding surface and velocity of movement were determined using the data acquired from the inclinometers placed on the boreholes. The heavy rains that occurred in the region before January 8, 2020 increased the pore water pressure in the weathered claystone-clay unit outcropping in the landslide area, which in turn caused a decrease in the shear strength of the unit. The Kargıcak Landslide started rotationally and developed planarly on the claystone-marl surface with the weathered claystone-clay unit.

Keywords: Silifke-Mut Highway, Kargıcak landslide, UAV, inclinometer, heavy rainfall.

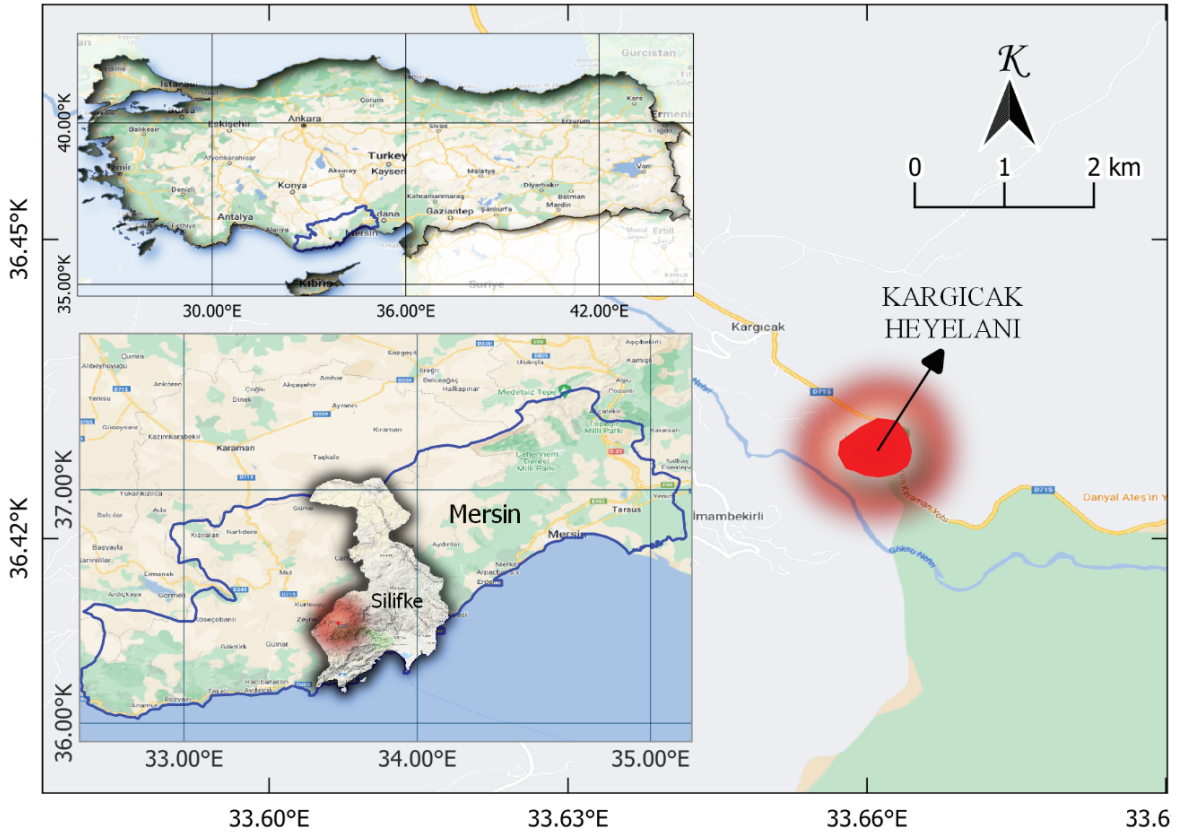
Nurduhan, Tağa

GİRİŞ

Mersin ili ile Karaman ilini birbirine bağlayan 402 km uzunluğundaki D 715 Devlet yolunun Mut-Silifke ilçeleri arasında 31+300 ile 31+500 km'lerinde 8 Ocak 2020 tarihinde oluşan kütle hareketi meydana gelmiştir (Şekil 1 ve 2). 1/25000 ölçekli Silifke P31a2 paftasında yer alan çalışma alanından geçen D 715 karayolu, İç Anadolu ile Doğu Akdeniz Bölgesi'ni birbirine bağlayan en önemli arterlerden birini oluşturmaktadır.

Yoğun yağışların tetiklediği kütle hareketleri ülkemizde ve dünyada giderek artan bir ilgi ile

çalışılmaktadır (Bishop 1955; Finlay vd., 1997; Zêzere vd., 1999; Ocakoğlu vd., 2002; Lee vd., 2009; Reis, vd., 2008; Chowdhury vd., 2010). Çalışma alanını da kapsayan doğu Akdeniz bölgesinde aşırı yağışların arkasından, başta otoyol ve devlet yolu gibi önemli mühendislik projelerini etkileyen heyelanlar meydana gelmiştir (Tağa vd., 2015; Tağa 2017; Tağa ve Yalçın, 2019). Tekin (2019) tarafından Kargıcak heyelanının geliştiği bölge heyelana çok yüksek duyarlı alan olarak değerlendirilmiş olup eski heyelan alanı içerisinde yer almaktadır (Duman vd., 2011).



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

Mersin ili, Silifke ilçesi, Kargıcak mahallesinde bulunan ve Silifke ile Mut bağlantısını sağlayan D715 nolu karayolu üzerinde, 2019 Aralık ayı sonu ile 2020 yılı Ocak ayı başındaki aşırı yağışların arkasından (Metaoblue, 2021) yolda derin çatlaklar şeklinde başlayan kütle hareketi (Şekil 2) ile Silifke-Karaman-Mut yolu trafiğe kapanarak (Haberler, 2020), ulaşım Gülnar üzerinden sağlanmıştır. Aşırı yağış ve jeolojik özelliklerin neden olduğu Kargıcak heyelanı üzerinde JEMAS Mühendislik (2020) ile Nurduhan (2022) ayrıntılı değerlendirmeler yapmışlardır. Kargıcak heyelanının oluştuğu alanı da kapsayan bölgede, 1968 yılında gerçekleşen aşırı yağışların arkasından büyük boyutlu kütle hareketleri meydana gelmiştir (Anonim, 2020).

Bu çalışmada İHA ile çekilen görüntülerden heyelan alanının ortofotosu ve sayısal yükseklik modeli oluşturularak heyelanın mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır. Ayrıca heyelanın kayma yüzeyi ve kayma mekanizmasının ortaya konulması amacıyla 9 adet sondaj ile bu sondaj kuyularına tesis edilen inklinometre ölçümlerinden yararlanılmıştır.

ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

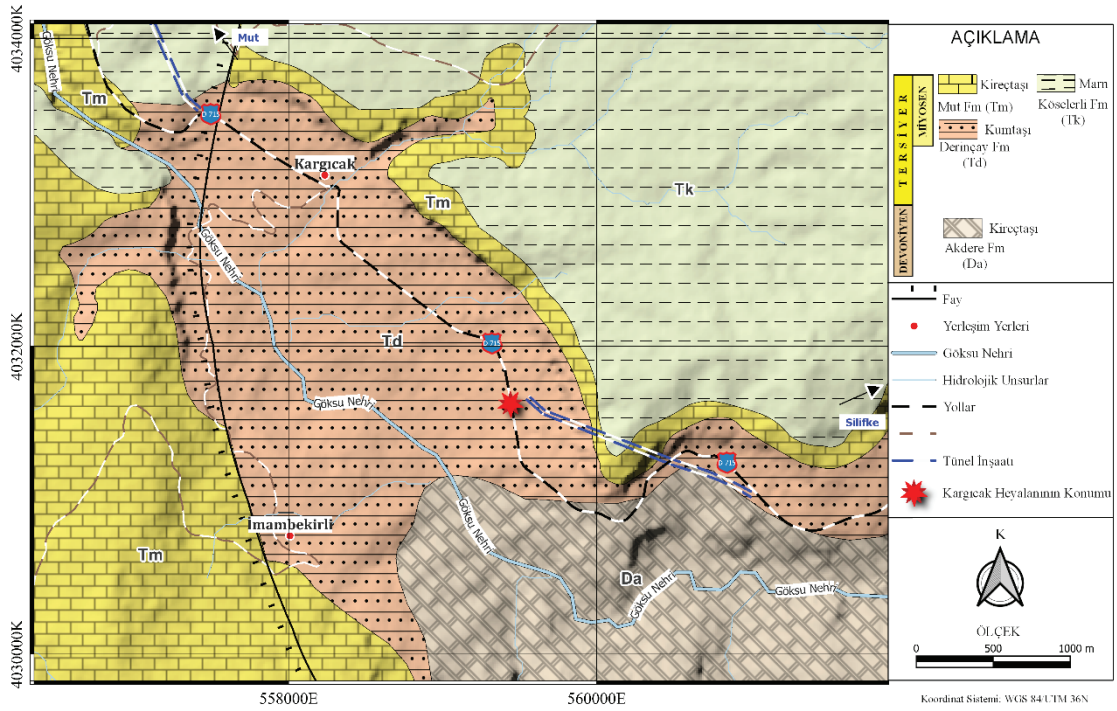
İnceleme alanı ve çevresinde Devoniyen yaşlı Akdere formasyonu ile Tersiyer yaşlı Mut, Köşelerli ve Derinçay formasyonları bulunmaktadır (Şekil 3 ve 4).



Şekil 2. Heyelanın taç kısmından bir görünüm.

Figure 2. A view from the scarp of the landslide.

Nurduhan, Tağa



Şekil 3. İnceleme alanı ve çevresine ait jeoloji haritası (Gedik vd., 1979' dan değiştirilerek).

Figure 3. Geological map of the study area and its surroundings (modified from Gedik et al., 1979).

Kireçtaşı ve şeyl birimleri ile temsil edilen Akdere formasyonu (Da) Göksu nehri vadisi kuzeybatı ve güneydoğu doğrultusunda, heyelanın güneyinde yer alan geniş bir bölgede yayılım göstermektedir. Formasyon kireçtaşı şeyl ardalanmalı olup, kireçtaşı seviyeleri gri renkli, orta katmanlı, fosilli, sert özelliklere sahiptir (Gedik vd., 1979) (Şekil 5).

Derinçay formasyonunda (Td) ise hâkim litoloji çakıltası ve kumtaşı olarak belirlenmiştir. Marn, şeyl ve killi kireçtaşının egemen olarak yüzeylediği alanlar da Fakırca üyesi olarak ayrılmıştır (Gedik vd., 1979). Formasyon, heyelanın kuzey batısı ile güneyini yüzulemektedir. Kanal dolgusunda ise çakıltıları ve kumtaşlarının taneleri ofiyolit ve kireçtaşı biriminden meydana gelmiştir (Atabey

vd., 2000). Formasyon tabanında ofiyolitik birimler ile açılal uyumsuz, üst kısımlarda ise Mut ve Köselerli formasyonları ile uyumlu olarak istiflenmiştir. Formasyonda görülen kumtaşı ile çakıltası birimleri nehir çökeli, diğer birimler ise gölsel çökel olarak yorumlanmıştır (Gedik vd., 1979). Kargıcak Heyelanı Derinçay formasyonunun ayrılmış kiltası-kil ile kiltası-marn birimleri içerisinde oluşmuştur. Mut formasyonu (Tm) resifal kireçtaşı litolojisinde olup yer yer killi kireçtaşı, kumtaşı ve marn bantlarından oluşmaktadır. Mut formasyonu ile Köselerli formasyonu yatay ve düşey geçişli olduğundan çoğu yerde bu iki formasyonun birbirinden ayrılması oldukça güçleşmektedir (Gedik vd., 1979) (Şekil 6).

SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
Kuvarterner						Alüvyon
TERSİYER	MİYOSEN	SERRAVALİYEN-LANGİYEN	Mut-Köseli Formasyonu	Tk-Tm		Mut: Beyaz krem renkli resifal kireçtaşı. Köseli: Yeşil gri renkli, marn
			BURDIGALİYEN	Derinçay Formasyonu	Td	
DEVONİYEN		İVESİYEN-FRASİYEN	Akdere Formasyonu	Da		Siyah renkli mercanlı kireçtaşı

Şekil 4. İnceleme alanına ait genelleştirilmiş dikme kesiti (Gedik vd., 1979'dan değiştirilerek).

Figure 4. Generalised columnar section of the study area (modified from Gedik et al., 1979).



Şekil 5. Akdere (Da), Derinçay (Td) ve Mut (Tm) formasyonlarından bir görünüm.

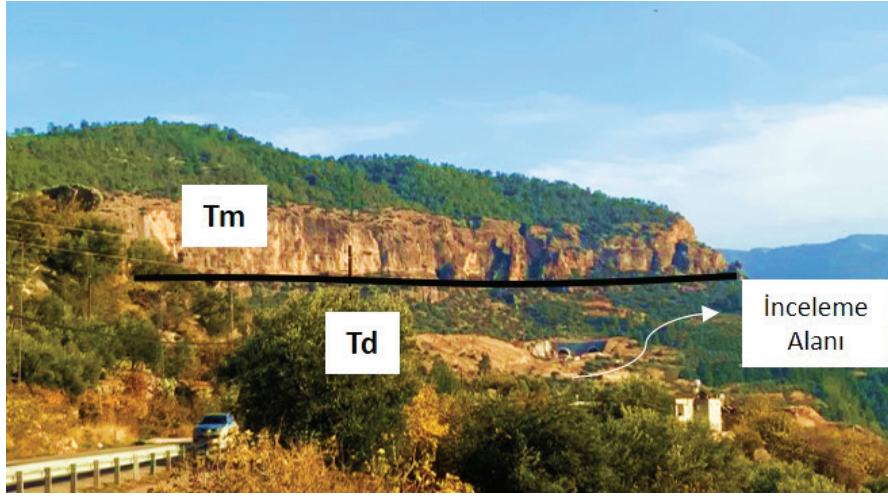
Figure 5. A view from Akdere (Da), Derinçay (Td), and Mut (Tm) formations.

Köseli Formasyonunda (Tk) ise hakim litoloji marn birimi olup, killi kireçtaşı, kireçtaşı, kumtaşı, çakıltaşı birimleri görülmektedir (Gedik vd., 1979). Köseli formasyonu heyelanın kuzeydoğusunda yayılım göstermektedir. Mut formasyonu ile yatay ve düşey olarak geçişli olan Köseli formasyonunun alt bölümünde marn, killi kireçtaşı, şeyl birimlerinin yanı sıra, mikrofosilli vaketaşı-istiftaşı bulunmaktadır (Atabey vd., 2000). Göksu nehrinin oluşturduğu alüvyon (Qa) Mut Formasyonu ile Köseli Formasyonunu örtmektedir. Birim yamaç molozu ile Göksu Nehri çevresindeki çakıl, kum ve silt litolojilerinden oluşur (Gedik vd., 1979).

MALZEME ve YÖNTEM

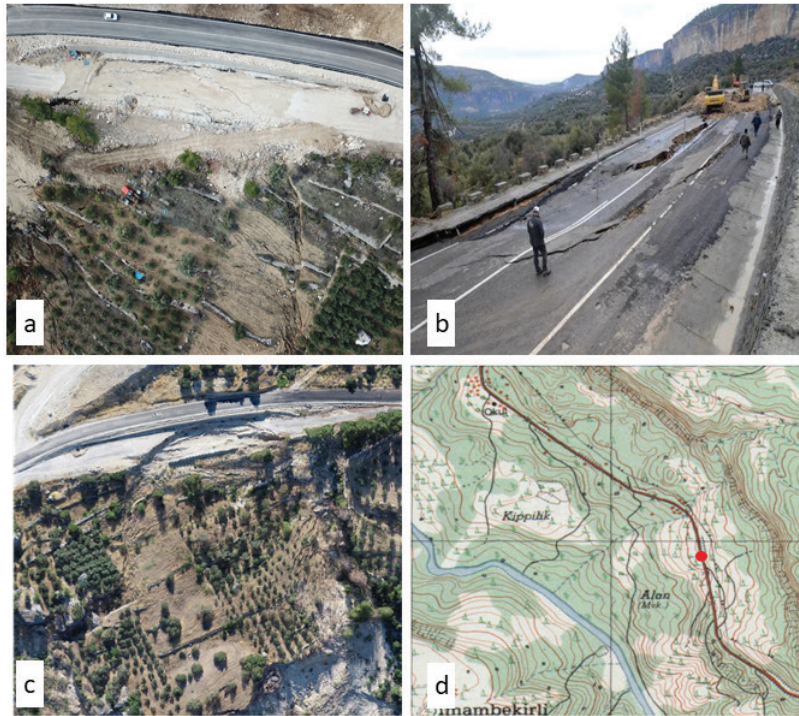
İnceleme alanındaki deformasyonları haritalamak için insansız hava aracı (İHA) ile uçuşlar 19 Ocak 2020 tarihinde gerçekleştirilmiştir. İHA ile gerçekleştirilen bu uçuş 85 m yükseklikten %70 düşey ve yanal aşmalı olup, 609 adet fotoğraf çekilmiştir.

Nurduhan, Tağa



Şekil 6. Kargıcak Heyelanının geliştiği alandaki Derinçay (Td) ve Mut (Tm) formasyonlarından bir görünüm.

Figure 6. A view of Derinçay (Td) and Mut (Tm) formations in the area of Kargıcak Landslide.



Şekil 7. 8 Ocak 2020 tarihinde oluşan Kargıcak Heyelanı fotoğrafları (a,b ve c) ile heyelanın 1/25000 ölçekli topoğrafik haritadaki konumu (d).

Figure 7. Pictures of the Kargıcak landslide that occurred on January 8, 2020 (a,b and c) and its location on the 1/25000 scale topographic map (d.)

Çekilen fotoğraflardan, 3 adet yer kontrol noktası ile dengeleme hesabı yapılarak 2 x 2 cm çözünürlükteki ortofoto ve sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Ayrıca kütle hareketinin değerlendirilmesinde, jeolog pusulası, diferansiyel GPS, 1/25000 ölçekli Silifke P31a2 topoğrafik haritası ve farklı ölçekteki hâlihazır haritalardan yararlanılmıştır (Şekil 7). Meydana gelen Kargıcak heyelanının kayma derinliği ve mekanizmasını ortaya koymak için derinlikleri 25 m ile 50 m arasında değişen 9 adet tam karotlu zemin sondajı ile bu sondajlara yerleştirilen inklinometreler kullanılmıştır (JEMAS Mühendislik, 2020).

Yol güzergâhında yüzeyleyen zeminin jeomekanik özelliklerinin ve heyelanın geometrisinin belirlenmesi amacıyla açılan sondajlardan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınmış ve Çizelge 1’de belirtilen deneyler gerçekleştirilmiştir. Araştırma sondajları (Şekil 8) elmas uçlu TSM-750 sondaj makinesi kullanılarak açılmış ve karot numuneleri alınmıştır. Yapılan sondajların özet bilgileri Çizelge 2’de verilmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanından alınan örselenmiş (SPT örnekleri); ve örselenmemiş (UD örnekleri) zemin numuneleri üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kargıcak heyelanından alınmış olan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen tane boyu analizlerine göre (TS EN 17892-4), heyelan malzemesinin ince taneli zeminlerden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 9).

Sondaj kuyularından alınmış olan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen kıvam limit ve tane boyu dağılımı

deneylerine göre çalışma alanındaki zeminlerin birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine göre CH, CL, GC ve GM türü zeminlerden oluştuğu; kayma düzlemini temsil eden zemin örneklerinin ise CL-CH olduğu görülmüştür (ASTM D-2487, 2020) (Şekil 10).

Çizelge 1. Laboratuvar deney yöntemleri (JEMAS Mühendislik, 2020’den değiştirilerek).

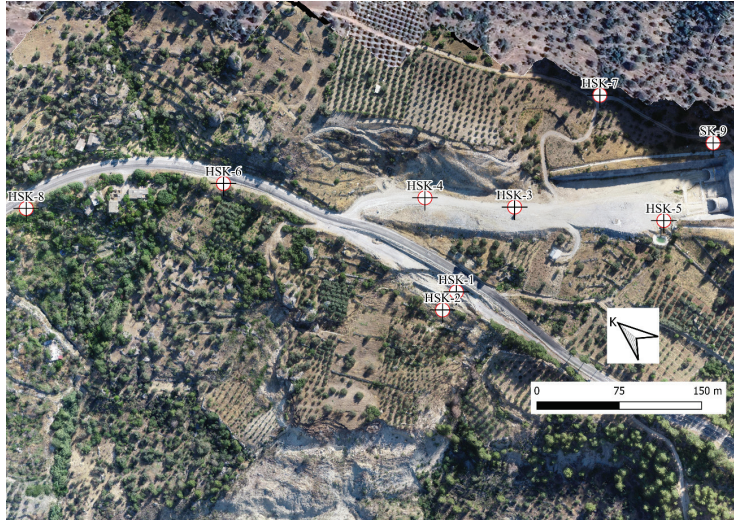
Table 1. Laboratory test methods (modified from JEMAS Engineering, 2020).

Yapılan Deneyler	Adet	Yöntem
Su Muhtevası	30	TS EN ISO 17892-1
Doğal Birim Hacim Kütle	5	TS EN ISO 17892-2
Kuru Birim Hacim Kütle	5	TS EN ISO 17892-2
Özgül Ağırlık	5	TS EN ISO 17892-3
Atterberg Limitleri	29	TS 1900-1
Tane Boyu Dağılımı	30	TS EN 17892-4
Üç Eksenli Basınç Dayanımı	6	TS 1900-2
Direkt Kesme Deneyi	6	TS 1900-2
Şişme Deneyi	6	TS 1900-2
Yoğunluk	24	ISRM 1981
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	24	TS EN 1926/ISRM 1981
Elastisite Modülü	18	ASTM D-7012
Poisson oranı	9	ASTM D-7012

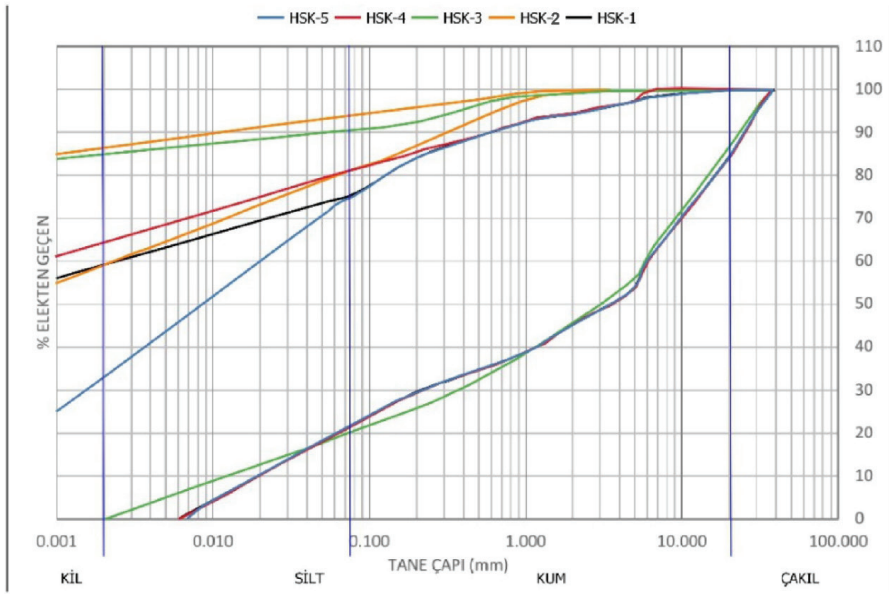
İnklinometre Çalışmaları

8 Ocak 2020 tarihinde aşırı yağışların arkasından oluşan Kargıcak heyelanının kayma mekanizması ile kayma derinliğinin belirlenmesi amacıyla Çizelge 3’de belirtilen sondaj noktalarında inklinometre okumaları gerçekleştirilmiştir. HSK-1 ve HSK-2 kuyularında 48 saat içinde 6. ve 7. metrelerde kırılma gerçekleşmiştir.

Nurduhan, Tağa



Şekil 8. Çalışma alanındaki sondajların dağılımı.
Figure 8. Distribution of boreholes in the study area.



Şekil 9. Sondaj kuyularına ait tane boyu değişim aralığı.
Figure 9. Soil grain size distributions of the boreholes.

Çizelge 2. Sondajlara ait bilgiler (JEMAS Mühendislik, 2020'den değiştirilerek).

Table 2. Borehole information (modified from JEMAS Engineering 2020).

SK-No	Koordinatlar (UTM WGS84)			Derinlik (m)	Yeraltı Suyu Derinliği (m)	Litoloji
	X (m)	Y (m)	Z (m)			
HSK-1	559458	4033308	204.99	30	5.2	0-6 m: Dolgu
						6-12.5 m: Kil
						12.5-30m: Kilitaşı-Marn
HSK-2	559437	4033307	196.3	28	5.1	0-4.2 m: Kil-Blok
						4.2-16 m: Kil
						16-28 m: Kilitaşı-Şeyl
HSK-3	559551	4033317	224.15	50	16.5	0-10.5 m: Çakıllı Kil
						10.5-19.5 m: Ayrılmış Kilitaşı-Marn
						19.50-50 m: Kilitaşı
HSK-4	559505	4033385	218.36	30	17.4	0-16.5 m: Kil
						16.5-30 m: Kilitaşı
HSK-5	559629	4033205	230.94	30	16.6	0-6 m: Kil
						6-30 m: Kilitaşı
HSK-6	559397	4033534	202.44	30	8.1	0-12 m: Ayrılmış Kilitaşı-Çakıl
						12-30 m: Kilitaşı
HSK-7	559679	4033323	247.17	30	16.8	0-5 m: Ayrılmış Kilitaşı-Marn
						5-10 m: Kumtaşı
						10-19 m: Ayrılmış Kilitaşı-Kilitaşı
						19-30 m: Kilitaşı
HSK-8	559264	4033657	193.07	25	11.2	0-17 m: Ayrılmış Kilitaşı-Marn
						17-25 m: Kilitaşı
HSK-9	559712	4033216	247.7	25	16.6	0-10.50 m: Ayrılmış Kilitaşı-Marn
						10.50-25 m: Kilitaşı

Yağış ve Yeraltı Suyu Durumu

8 Ocak 2020 tarihinde oluşan kütle hareketi, aşırı yağışların olduğu 7 Ocak 2020 tarihinde 85 mm yağışın ardından gerçekleşmiştir (Şekil 11). Bu yağış meteorolojik olayların şiddetine

göre sınıflandırıldığında çok şiddetli yağış olarak tanımlanır (MGM, 2021).

Kargıcak heyelanı kapsamında açılmış olan sondaj kuyularındaki yeraltı su seviyeleri ölçülmüştür (Çizelge 2). HSK-1 ve HSK-2

Nurduhan, Tağa

sondaj kuyularındaki yeraltı su seviyesi ile aktif kayma düzlemi örtüşmektedir. Heyelan alanında gerçekleşen aşırı yağışlar Derinçay formasyonunun ayrışmış kiltası-kil seviyelerinde boşluk suyu basıncının artmasına neden olmuştur.

DURAYSIZLIĞIN DEĞERLENDİRİLMESİ

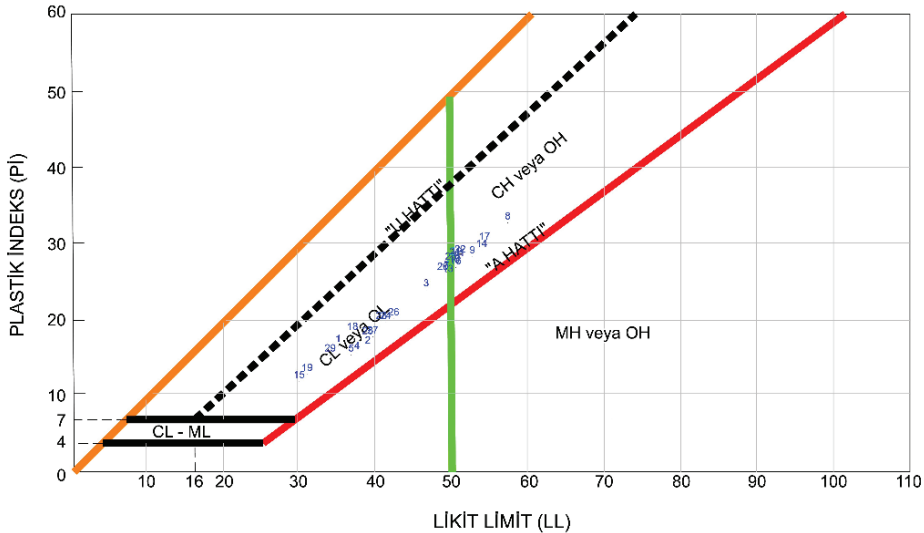
8 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Kargıcak Heyelanının yanal ve düşey devamlılığını belirlemek ve haritalamak için elde edilen ortofoto ve yüzey çalışmaları ile 8 Ocak 2020 tarihinde oluşan Kargıcak heyelanının mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır (Şekil 12a). Heyelanın taç kısmı D 715 Silifke-Karaman kara yoluna denk gelmektedir. Oturma ve kabarma çatlakları ise tarımsal faaliyet gösteren taşınmazlar üzerinde etki etmiştir.

Duraysızlığın Türü ve Mekanizması

İnceleme alanında yapılan inklinometre okumalarına göre (JEMAS Mühendislik,

2020) en derin noktalarda meydana gelen deformasyonlar birleştirilerek ana ve tali kayma sınırları belirlenmiştir. Ana kayma sınırının en derin kayma noktası (topoğrafya ile ana kayma sınırı arasındaki kot farkı) 29.49 m olarak gözlemlenmiştir. HSK-1 ve HSK-2 inklinometre okumalarına göre aktif heyelan sınırı Şekil 12b'de lejantta 2. kayma sınırı olarak belirtilen kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.

Ortaya çıkan bu sınır açık mavi renk ile Şekil 12b'de gösterilen yer altı su seviyesine (YAS) denk gelmektedir. İnklinometre okumaları ile arazi gözlemleri ve uçuş fotoğraflarından yararlanılarak 3 ayrı kayma noktası Şekil 12b'de belirtilen kesikli kırmızı çizgi ile ana kayma düzlemi belirlenmiştir. Ayrıca bölgede aşırı yağışların arkasından meydana gelen Kargıcak heyelanı dairesel başlayıp Derinçay formasyonunun ayrışmış kiltası-kil seviyesinde düzlemsel olarak devam etmiştir.



Şekil 10. İnceleme alanındaki numunelerin plastisite diyagramındaki dağılımları.

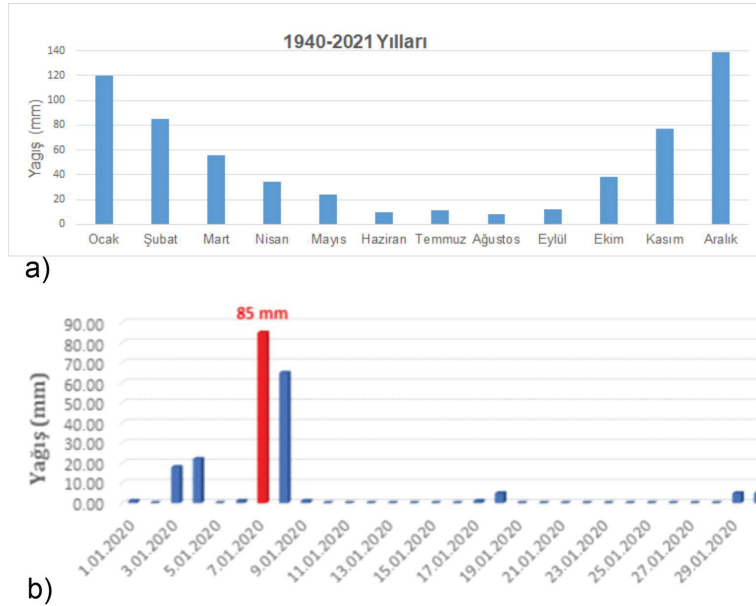
Figure 10. Distribution of soil samples on the Plasticity chart.

Çizelge 3. İnklinometre okumaları (JEMAS Mühendislik, 2020).

Table 3. Inclinator readings (JEMAS Mühendislik, 2020).

Sk. No	Okuma Tarihi	Hareket (mm)	Derinlik(m)	Azimet
HSK-1	-	Kırılma	6	-
HSK-2	-	Kırılma	7	-
HSK-3	25.01.2020	0	0	0
	14.02.2020	18.9	29.49	357
	22.02.2020	23.2	6.5	337
	25.02.2020	23.6	7	318
	18.03.2020	28.9	20.99	108
HSK-4	01.02.2020	0	0	0
	10.02.2020	6.8	15.99	78
	22.02.2020	13.5	9	235
	25.02.2020	16.3	9	231
	18.03.2020	37.9	13.5	224
HSK-5	25.01.2020	0	4	176
	10.02.2020	14.9	18.5	206
	14.02.2020	17.4	18.5	215
	22.02.2020	16.8	18.5	218
	24.02.2020	17.5	18.5	218
	18.03.2020	20.2	18	239
HSK-6	01.02.2020	0	3.5	266
	15.02.2020	4	1.5	218
	22.02.2020	8.2	0.5	304
	25.02.2020	5.2	1	238
	18.03.2020	13.8	10.49	273
HSK-7	18.02.2020	0	1	238
	18.03.2020	32	3.5	203
HSK-8	18.02.2020	0	3.5	203
	22.02.2020	5.6	9	43
	25.02.2020	6	9	47
	18.03.2020	11.5	9	32
HSK-9	18.03.2020	0.01	19.5	72
	03.06.2020	0.1	8.5	88

Nurduhan, Tağa



Şekil 11. Mersin iline ait 1940-2021 yılları ortalama aylık yağış (MGM, 2022) (a) ve 2020 yılı Ocak ayında gerçekleşen yağış miktarı (Meteoblue, 2021) (b).

Figure 11. Average monthly precipitation in Mersin between 1940-2021 (MGM, 2022) (a) and the amount of rainfall in January 2020 (Meteoblue, 2021) (b).

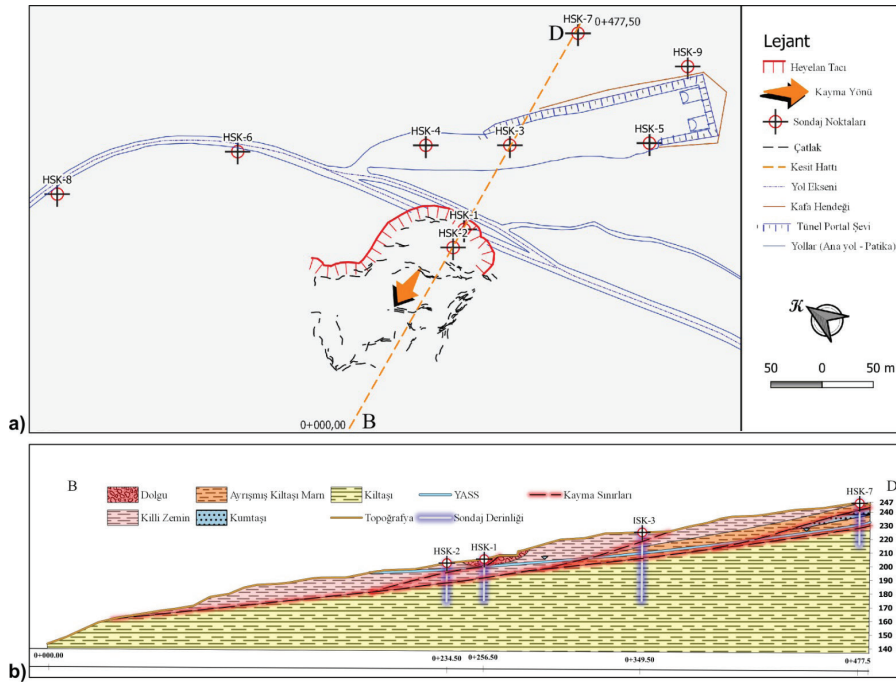
Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Stabilite Analizi

İnşa edilen bir barajdaki gerilme ve deformasyon değerlerini belirlemek amacıyla ilk kez Clough ve Woodward (Clough ve WoodwardIII, 1967) tarafından kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen şev duraylılık analizlerinde yerçekimi artırma (Chen ve Mizuno, 1990) ve makaslama dayanımı azaltma faktörü (SRF) olarak (Zienkiewicz ve Taylor, 1989) uygulanan iki yöntem bulunmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) sürekliliği, nod adı verilen noktalarla (düğüm noktaları) birleşen elemanlar ile tanımlar ve analizlerin gerçekleşeceği ortam, farklı doku seçenekleri ile ağ elemanlarına bölünür.

Sonlu elemanlar yöntemi, bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeye paralel olarak yaygınlaşan bir hızla kaya kütlesi ve ayrık toprak zeminlerdeki heyelan çalışmalarında

uygulanmaktadır (Cheng vd, 2007; ve WoodwardIII, 1967; Dounias vd, 1988; Fernández-Merodo vd, 2014; Griffiths ve Lane, 1999; Pain vd, 2014; Ugai ve Leshchinsky, 1995; Zhu ve Randolph, 2009).

Kargıcak Heyelanın gerçekleştiği alandaki D-B jeoteknik kesit hattında (Şekil 12b) statik şartlarda doğal ve suya doygun olarak değerlendirilmiştir. 6 adet düğüm noktasına sahip, homojen dağılım gösteren 3055 adet üçgensel ağ elemanına bölünerek (Şekil 13) D-B jeoteknik kesit hattında nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Mohr-Coulomb yenilme ölçütünün (Çizelge 4) kullanıldığı sayısal analizlerde makaslama dayanımı azaltma faktörü yöntemi uygulanmış, gerilme dağılımları, oluşan deformasyonlar ile kayma miktarı oranları Phase2 yazılımıyla (Rocscience, 2011) iki boyutlu olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 12. 8 Ocak 2020 tarihinde oluşan Kargıcak Heyelanı haritası (a) ve D-B hattı jeoteknik kesiti (b).

Figure 12. Map of the 8 January 2020 Kargıcak Landslide (a) and geotechnical cross-section along the D-B line (b).

Aşırı yağışların arkasından gelişen Kargıcak Heyelan alanındaki D-B jeoteknik kesit hattında doğal ve suya doymun olarak gerçekleştirilen sayısal analizlerle oluşan Von Mises gerilmeleri, deformasyonlar ile kayma miktarı oranları arasındaki farklar belirlenmiştir. Statik durumdaki doğal şartlara göre 1.45 olarak belirlenen güvenlik katsayısının aşırı yağışların etkisi ile limit değere (1) ulaşmış ve Kargıcak heyelanı gelişmiştir.

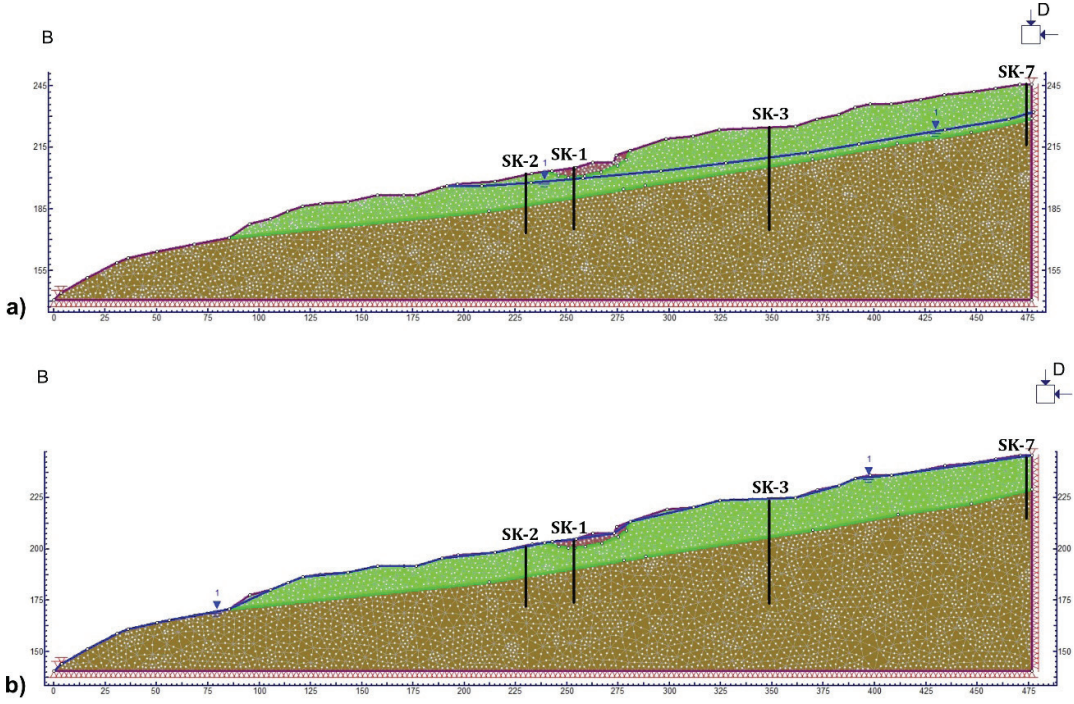
Von Mises gerilmesi, malzemenin herhangi bir yükleme durumundaki plastik şekil değişimi miktarını belirlemek için kullanılmakta olup Von Mises (1913) tarafından önerilmiştir. Doğal durumdaki D-B jeoteknik kesit hattındaki gerilmeler yeraltı su seviyesinin üzerinde gelişen güzel dağılmış durumda iken, aşırı yağışların arkasından yüzey morfolojisine uygun bir düzende gerçekleşmiştir (Şekil 14).

Ayrıca 2020 yılı ocak başında gelişen aşırı yağışlarla yüksek plastik killerden oluşan heyelan alanındaki zeminde 30 cm civarında deformasyon artışları oluşmuştur (Şekil 15).

D-B kesit hattındaki ayrışmış kilitaşlı-marn birimi ile kilitaşlı birimi düzleminde kayma miktarı oranları arasındaki fark doğal ve suya doymun olarak değerlendirilmiştir. Suya doymun olarak gerçekleştirilen sayısal analizlere göre kayma miktarı oranlarında önemli artışların olduğu görülmüştür (Şekil 16).

8 Ocak 2020 tarihinde aşırı yağışların ardından oluşan Kargıcak Heyelanında D 715 Silifke-Mut karayolu kullanım dışı kalmış, ulaşım Gülnar üzerinden sağlanmıştır. Heyelan alanındaki kullanım dışı kalan D 715 karayolunda fore kazıklı zemin iyileştirilmesi yapılarak (JEMAS Mühendislik, 2020) tekrar 2020 yılında kullanıma açılmıştır.

Nurduhan, Tağa



Şekil 13. D-B kesit hattının doğal (a) ve suya doygun durumdaki (b) sonlu elemanlar ağ modeli.

Figure 13. Natural (a) and saturated (b) finite element models along the D-B cross section.

Çizelge 4. Stabilite analizlerindeki girdi parametreleri (JEMAS Mühendislik, 2020 ve Nurduhan, 2022'den değiştirilerek).

Table 4. The input parameters in stability analyses (modified from JEMAS Mühendislik, 2020 and Nurduhan, 2022).

Malzeme	Doğal birim hacim ağırlığı, (kN/m ³)	Kalıntı kayma dayanımı parametreleri	
		İçsel sürtünme açısı, °	Kohezyon (kPa)
Dolgu	20	35	5
Ayrışmış kiltası-kil	19	11	28.5
Kiltası-Marn	21	21.3	156.4

SONUÇLAR

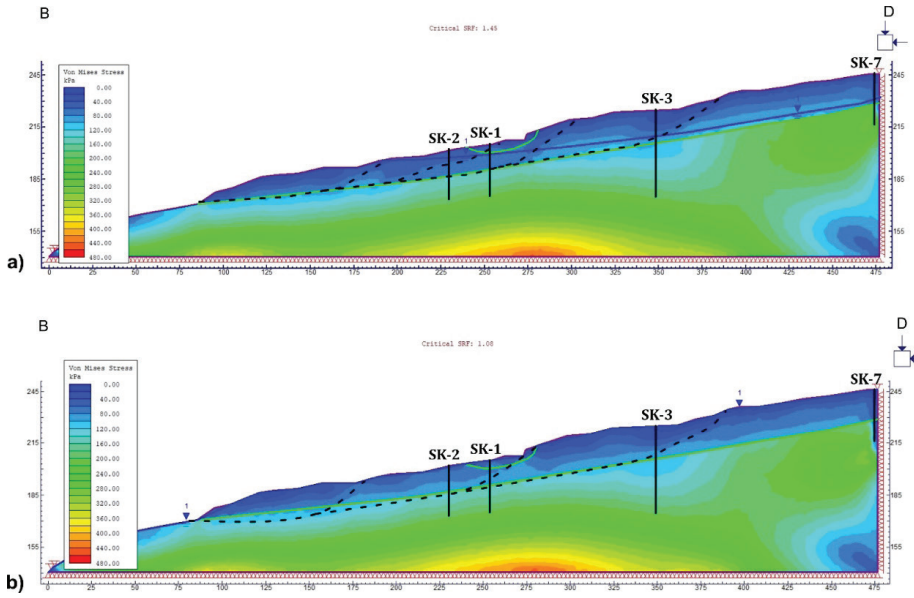
Silifke Mut Karayolu km: 31+300-31+500 arasını da alan bölgede oluşan aşırı yağışların ardından 8 Ocak 2020 tarihinde Kargıcak Heyelanı meydana gelmiştir. Bölgeye ocak ayının başında düşen 150 mm'lik yağış miktarı uzun yıllardaki ocak ayı ortalamasından fazla olup, heyelan alanında mostra veren yüksek plastisiteli (CH) ve düşük plastisiteli kilden

(CL) oluşan zeminlerde boşluk suyu basıncının artmasına neden olmuştur.

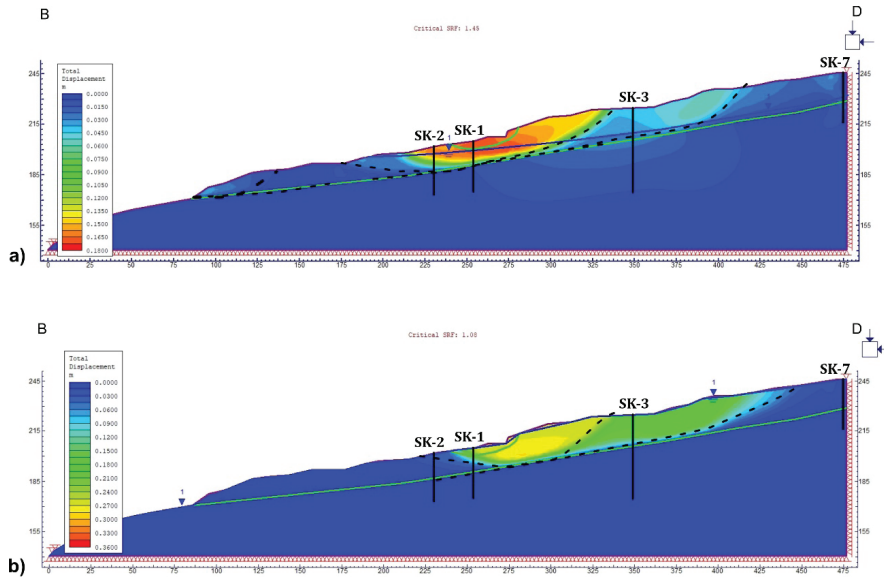
Kargıcak Heyelan alanında kalan D 715 karayolunun iyileştirme projesi kapsamında gerçekleştirilmiş olan inklinometre okumalarına ve yüzey çalışmalarına göre oluşan heyelan dairesel başlayıp ayrışmış kiltası-kil birimi ile kiltası-marn birimi hattında düzlemsel devam ettiği ve en fazla 29.49 m kalınlığa ulaştığı

belirlenmiştir. D 715 karayolunun geçtiği alandaki kayma derinliği doğal ve doygun şartlara göre gerçekleştirilen stabilite analizleriyle

belirlenmeye çalışılmıştır. Yolun geçtiği bu kesimde teçhiz edilen inklinometre düzenekleri bir gün sonra kırılmıştır.

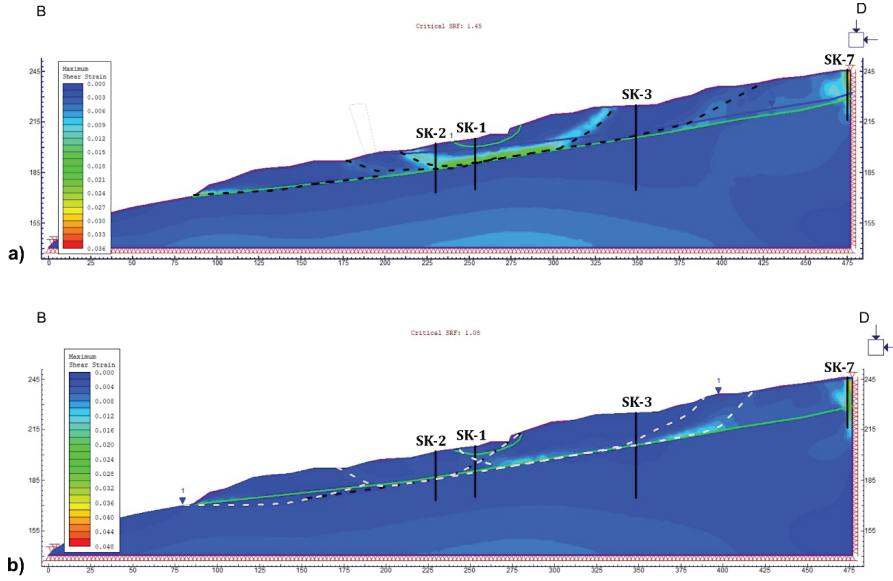


Şekil 14. D-B kesit hattındaki von Mises gerilmelerinin doğal (a) ve suya doygun (b) durumdaki dağılımı.
Figure 14. Natural (a) and saturated (b) von Mises stresses distribution along the D-B cross section.



Şekil 15. D-B kesit hattındaki doğal (a) ve suya doygun (b) durumdaki toplam yerdeğistirmeler.
Figure 15. Natural (a) and saturated (b) total displacements along the D-B cross-section.

Nurduhan, Tağa



Şekil 16. D-B kesit hattının doğal (a) ve suya doymun durumdaki (b) kayma miktarı oranları.

Figure 16. Natural (a) and saturated (b) maximum shear strain rates along the D-B cross section.

Heyelanın gerçekleştiği bölgenin 19 Ocak 2020 tarihinde İHA ile alınmış fotoğraflarından 2 cm çözünürlüklü ortofotolu ile sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ortofoto ve sayısal yükseklik modelinden heyelanın 1/1000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır. Ayrıca heyelan bölgesinde dinamik bir izleme yöntemi olarak 19 Ocak 2020 tarihinde gerçekleştirilen uçuş rotası ile yüksekliğinde, farklı meteorolojik olayların ve D 715 karayolunda uygulanan iyileştirme yönteminin performansının belirlenmesi amacıyla yeni uçuşlar düzenlenerek değerlendirilmelidir.

D-B jeoteknik kesit hattında sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen stabilite analizlerinden Von Mises gerilmesi, deformasyon ve kayma miktarı değişim oranları belirlenmiştir. İnklinometre okumaları ile yüzey çalışmalarına göre oluşturulan kayma şekli ve derinliği ile sayısal analizlerden bulunan deformasyon ve kayma miktarı değişim oranlarının aynı kayma düzleminde birbirleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

KATKI BELİRTME

Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü Taşınmazlar Başmühendisi Yunus Yavuz'a, AR-GE Başmühendisi Ergun Yalçın'a ve Yol Yapım Başmühendisi M. Faruk Okumuş'a çalışmanın gerçekleşmesi esnasında verdikleri destek için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2020. 1968 yılı yağışları sonrasında Kargıcak ve civarında oluşan kütle hareketi konulu görüşme, Silifke Kargıcak Mahallesi.
- ASTM D-2487, (2020). Classification of soils for engineering purposes unified soil classification system. 22 Aralık 2022 tarihinde <https://www.studocu.com/row/document/ege-universitesi/electronics-ii/astm-d-2487-classification-of-soils-for-engineering-purposes-unified-soil-classification-system/8266235>.
- ASTM D-7012, (2017). Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures Atabey, E., Atabey, N., Hakyemez, A., İslamoğlu, Y., Sözeri, Ş.,

- Özçelik, N.N. ve diğerleri. (2000). Mut-Karaman arası Miyosen Havzasının Litostratigrafisi ve Sedimentolojisi (Orta Toroslar). Maden Tetkik ve Arama Dergisi. 122, 53-72.
- Atabey, E., Atabey, N., Hakyemez, A., İslamoğlu, Y., Sözeri, Ş., Özçelik, N.N., Saraç, G., Ünay, E., Babayigit, S., (2000). Mut-Karaman arası Miyosen Havzasının Litostratigrafisi ve Sedimentolojisi (Orta Toroslar). Maden Tetkik ve Arama Dergisi. 122, 53-72.
- Bishop, A.W., (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique* 5:7-7.
- Chen, W.F, Mizuno, E., 1990. *Nonlinear Analysis in Soil Mechanics: Theory and Implementation*. Elsevier, Amsterdam.
- Cheng, Y.M., Lansivaara, T., Wei, W.B., (2007). Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods. *Comput Geotechnics*, 34(3), 137-150. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2006.10.011>.
- Chowdhury, R., (2010). *Geotechnical slope analysis*. Taylor & Francis Group, London
- Clough, R.W., WoodwardIII, R.J., (1967). Analysis of Embankment Stresses and Deformations. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 93(4), 529-549. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001005>
- Dounias, G. T, Potts, D. M., Vaughan, P. R., (1988). Finite element analysis of progressive failure: two case studies. *Comput Geotech*, 6(2), 155-175. [https://doi.org/10.1016/0266-352x\(88\)90078-x](https://doi.org/10.1016/0266-352x(88)90078-x).
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., (2011). 1/1.500.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara, Türkiye. ISBN: 978-605-4075-84-3.
- Finlay, P.J., Fell. R, Maguire, P.K., (1997). The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall. *Can Geotech J*, 34:811-824.
- Fernández-Merodo, J.A., García-Davalillo, J.C., Herrera, G., Mira, P., Pastor, M., (2014). 2D viscoplastic finite element modelling of slow landslides: The Portalet case study (Spain). *Landslides*, 11(1), 29-42.
- Gedik, A., Birgili, Ş., Yılmaz, H., Yoldaş, R., (1979). Mut-Ermenek-Silifke Yöresinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*. 22, 7-26.
- Griffiths, D.V., Lane, P.A., (1999). Slope stability analysis by finite elements. *Geotechnique*, 49(3), 387-403. <https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.3.387>.
- Haberler.com, (2020). Mersin'de çökme meydana gelen yol ulaşıma kapatıldı. 03 Ocak 2023 tarihinde <https://www.haberler.com/mersin-de-cokme-meydana-gelen-yol-ulasima-12797878-haberi>.
- JEMAS Mühendislik, (2020). Silifke-Mut 3. Bölge Hudut 2. Kısım Yolu Km:31+100-31+650 Arası Heyelan Önleme Projesi.
- ISRM, (1981). *Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods*. E.T.Brown (ed.), Pergamon Press, 211 p.
- Lee, M.L., Gofar, N., Rahardjo, H., (2009). A simple model for preliminary evaluation of rainfall-induced slope instability. *Eng Geol*, 108: 272-285.
- Meteoblue, (2021). Kargıcak Hava Durumu. 22 Kasım 2021 tarihinde https://www.meteoblue.com/tr/hava/hafta/kargicak_turkiye_309126.
- MGM, (2021). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Meteorolojik Hadiselerin Şiddetlerine ait Sınıflandırma. 22 Kasım 2021 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/site/yaridim1.aspx?m=HadSid> adresinden erişildi.
- MGM, (2022). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İllere ait mevsim normalleri. 30 Kasım 2022 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MERSIN>.
- Nurduhan, M., (2022). Silifke-Mut (Mersin) Karayolu Kargıcak Civarındaki Kütle Hareketinin Değerlendirilmesi., Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101 s, Mersin.

Nurduhan, Tağa

- Ocakoğlu, F., Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M., (2002). Dynamics of a complex mass movement triggered by heavy rainfall: a case study from NW Turkey. *Geomorphology*, 42(329–341):330.
- Pain, A., Kanungo, D.P., Sarkar, S., (2014). Rock slope stability assessment using finite element based modelling - examples from the Indian Himalayas. *Geomechanics and Geoengineering*, 9(3), 215–230. <https://doi.org/10.1080/17486025.2014.883465>.
- Reis, S., Bayrak, T., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Ekercin, S., (2008). Rize Bölgesinde Yağış Heyelan İlişkisi. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*. 2008/2 99.
- Rocscience, (2011). Phase 2-2D Finite element program for calculating stresses and estimating support around underground excavation. (v8.14). Rocscience. <https://www.rocscience.com/documents/pdfs/rocnews/spring2011/Phase2-8.pdf>.
- Tekin, S., (2019). Göksu nehri havzasının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı jeomorfometrik analizi ve niceliksel heyelan olası tehlike değerlendirmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 244 s, Adana.
- Tağa, H., Turkmen, S., Kacka, N., (2015). Assessment of stability problems at southern engineered slopes along Mersin-Tarsus Motorway in Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74 (2), 379-391.
- Tağa, H., (2017). Mersin-Tarsus Otoyolunun Kuzey Şevlerindeki Duraysızlıkların Değerlendirilmesi. MühJeo2017: Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu, Adana, Türkiye.
- Tağa, H., Yalçın, E., (2019). Tarsus Çamlıyayla Yolu Kütle Hareketinin Değerlendirilmesi. Mühjeo' 2019 Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu bildiriler kitabı (ss. 309-316). Denizli, Türkiye.
- TS EN 1926, (2022). Doğal taşlar- Deney metotları- Basınç dayanımı tayini. Ankara.
- TS EN ISO 17892-1, (2014). Geoteknik etüt ve deneyler - Zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 1: Su içeriğinin belirlenmesi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 17892-2, (2014). Geoteknik etüt ve deneyler - Zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Birim hacim kütleinin belirlenmesi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 17892-3, (2016). Geoteknik etüt ve deneyler - Zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 3: Tane yoğunluğunun belirlenmesi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 17892-4, (2016). Geoteknik Etüt ve Deneyler - Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 4: Tane Büyüklüğü Dağılımının Belirlenmesi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1900-1, (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1900-2, (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Ugai, K., Leshchinsky, D., (1995). Three-dimensional limit equilibrium and finite element analysis: a comparison of results. *Soils Foundations*, 35(4), 1–7. https://doi.org/10.3208/sandf.35.4_1.
- Von Mises, R., (1913). *Mechanik der festen Körper im plastisch-deformablen Zustand. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch-Physikalische Klasse.* (1): 582–592.
- Zeze, J.L., Ferreira, A.B., Rodrigues, M.L., (1999). Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): conditioning and triggering factors. *Phys Chem Earth A* 24(10),925–934.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., (1989). *The Finite Element Method. Vol.1, 4th Edition*, McGraw-Hill, New York.
- Zhu, H., Randolph, M.F., (2009). Large Deformation Finite-Element Analysis of Submarine Landslide Interaction with Embedded Pipelines. *International Journal of Geomechanics*, 10(4), 145–152. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000054](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000054).

YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

AMAC ve KAPSAM:

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

- İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözetererek daha güvenli ve sağlıklı bir yaşam ortamı sağlamak amacı ile insanlığın hizmetine sunmayı hedefleyen Jeoloji Mühendisliği mesleğinin, günlük yaşamdaki yerini ve önemini daha etkin bir şekilde yansıtmak,
- Bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri Jeoloji Mühendislerinin bilgisine sunmak,
- Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan bilim insanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katılımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,
- Uluslararası Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri doğrultusunda, doğal kaynakların etkili yönetimi, mühendislik yapıları, mekansal planlamalar, insan ve doğayı yeryüzü dinamiklerini gözetererek, jeolojik tehlikeler göz önünde bulundurularak dirençli ortamların tasarımına katkıda bulunmak ve Jeoloji Mühendisliğine ilişkin diğer sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması ve geliştirilmesini sağlamak,
- Disiplinler arası araştırmaların ve birlikte çalışabilirlik ilkelerinin geliştirilmesine katkıda bulunma,

amaçlarına sahiptir.

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, mühendislik jeolojisi, jeoteknik, su kaynakları yönetimi ve hidrojeoloji, çevre jeolojisi ve atık yönetimi, jeotermal, sondaj tekniği ve uygulamaları, doğal olası tehlikeler, doğa kaynaklı afetler ve afet yönetimi gibi uygulamalı jeoloji mühendisliği hizmetleri konularının yanı sıra, uygulamaya yönelik yerbilim verilerinin de içinde bulunduğu inşaat, maden, jeofizik, petrol, çevre ve şehir bölge planlama gibi disiplinler arası ulusal ve uluslararası araştırmaların yayımlandığı bir dergidir.

Bu kapsamda;

- Mühendislik yapıları için uygun yer seçimi araştırmaları ve arazi kullanım planlamaları,
- Jeoteknik saha araştırmaları, sondaj çalışmaları, arazi ve laboratuvar deneyleri,
- Jeoteknik çalışmalarda kullanılan jeofizik yöntemler,
- Kaya ve zeminlerin jeomekanik özellikleri,
- Şev duraylılığı değerlendirmeleri ve izleme teknikleri,
- İnsan ve doğayı olumsuz etkileyen dinamik jeolojik süreçlere dirençli mekansal planlama çalışmaları,
- Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama teknolojilerinin jeoloji mühendisliği alanında uygulamaları,
- Doğal olası tehlike ve risk (Deprem, sıvılaşma, heyelan, obruk, tıbbi jeoloji, taşkın, çığ vb.) değerlendirmeleri,
- Doğa kaynaklı afetler ve afet yönetimi çalışmaları,

- Çevre jeolojisi araştırmaları, atık yönetimi ve yer seçimi çalışmaları,
- Yüze ve yeraltı su kaynaklarının yönetimi, hidrojeolojik sorunlar ve çözümlere yönelik yaklaşımlar,
- Jeolojik kaynakların yönetimi uygulamaları, sorunları, çözüm önerileri ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi,
- Jeotermal, maden ve mineral kaynaklarının araştırma ve geliştirilmesi, yeraltı jeolojisi modelleme çalışmaları,
- Kirleticiler ve ekosisteme etkileri,
- Doğal yapı malzemeleri ve zemin iyileştirme çalışmaları,
- Tarihi yapıların ve jeolojik anıtların korunmasında mühendislik jeolojisi,
- Kaynak arama ve üretim süreçlerindeki sondaj uygulamaları, sondaj teknolojilerindeki gelişmeler,
- Yapı üretim ve denetim süreçlerinde jeoloji mühendisliği alanına giren konulardaki araştırma, geliştirme ve proje çalışmaları,
- Jeoloji Mühendisliği eğitimi ve eğitimin geliştirilmesi,

konuları öncelikli olmak üzere, yukarıdaki konularla ilişkili tüm kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan araştırmalar Jeoloji Mühendisliği Dergisinde yayımlanır. Çalışmanın daha önce yayımlanmamış olması gerekmektedir. Jeoloji Mühendisliği Dergisinde, dört yazı türü yayımlanmaktadır:

- 1- ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article):** Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kuramsal temel, yeterli miktar ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılarıyla değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 9000 sözcük eşdeğerini (15 JMD sayfası) aşmamalıdır. Makale, alanında uzman en az iki hakem tarafından incelendikten sonra yayımlanır.
- 2- DERLEME (Review):** Editörün daveti üzerine veya bilgisi dahilinde hazırlanan, Jeoloji Mühendisliği'nin herhangi bir alanında halen kullanılmakta olan teknik, yöntem ve yaklaşımları günümüz teknolojik gelişmeleri ve kendi deneyimleri ışığında inceleyen, bu açıdan öneriler getiren ve geliştiren yazıdır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.
- 3- TEKNİK NOT (Technical Note):** Teknik not makalesi, önceki yayınlara kıyasla gerçekten yeni olan bir teknik, ekipman, araştırma yöntemi veya bir değerlendirme yöntemini kapsayan çalışmalardır. Makalede değerlendirme veya ölçüm yöntemlerinin, nasıl doğrulandığı belirtilmelidir. Bir teknik not 4000 kelimedenden uzun olmamalıdır (6 JMD sayfası). Makaleler en az iki yayın kurulu üyesi tarafından incelenecektir.
- 4- DÜZELTME (Erratum):** Makalenin son düzenleme sırasında yazarlar veya yayın kurulu tarafından yanlışlıkla oluşturulan yayımlanmış bir makaledeki hataları düzeltmek için bir hata bildirimini yayımlanır. JMD, yayımlanan makalenin yazarları veya okuyucular tarafından hatalara karşı uyarılabilir. Yazarlar yayın kurulunu uyardıysa, mümkün olan en kısa sürede bir düzeltme (erratum) yayımlanır. Bir okuyucu yayın kurulunu uyardıysa, bir yazım hatası bildiriminin uygun olup olmadığını görmek için yazarla iletişime geçilir. Okuyucular, Editör ile iletişime geçebilirler. Editöre Mektup

alınmışsa ve yazım düzeltilmesi gerekliyse, orijinal makalenin yazarlarından, yayınlanan Editöre Mektup'a yanıt vermeleri ve düzeltme yazısı yazmaları istenir.

ETİK İLKELER VE YAYIN POLİTİKASI

1. Etik İlkeler ve Yayın Politikası

Jeoloji Mühendisliği Dergisi (JMD) yayıncı ve kullanıcıları (Editör ve teknik editör, yazarlar, hakemler, okuyucular vb.) Yayın Etiği Komitesi (Committee on Publication Ethics-COPE, <https://publicationethics.org/>) tarafından belirlenen etik kurallar ve sorumluluklara uyar.

Jeoloji Mühendisliği Dergisi hakemli bir dergidir. Basılı ve elektronik ortamda çevrimiçi yayın yapmakta olup, açık erişim sistemine sahiptir. Dergi sayıları Aralık ve Haziran aylarında yılda iki kez yayınlanır. Yayın süreçlerinde, bilimsel yöntemle özgürce ve yansız biçimde üretilen bilginin paylaşılması gözetilir. Makale değerlendirme sürecinde kör hakemlik sistemi uygulanır. JMD'nin 1977 yılından itibaren yayınlanan tüm sayıları gerek yayıncı kuruluş olan TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO) tarafından basılı ve elektronik versiyonları, TÜBİTAK ULAKBİM- DergiPark tarafından ise elektronik versiyonları arşivlenmektedir.

1.1 Etik İlkeler

Editörlerin Etik Görev ve Sorumlulukları

Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde görev alan Editörler, Yayın Etiği Komitesi (Committee on Publication Ethics -COPE) tarafından "Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors" başlığı altında yayınlanan kılavuz kapsamında hazırlanan etik görev ve sorumluluklara sahiptir.

Editörler, derginin gelişimi ve yayınlanan çalışmaların kalitesini geliştirmeye yönelik süreçleri takip etmekte sorumludurlar.

JMD'ne sunulan makale ilk olarak, Editörler tarafından dergi amaç ve kapsamına uygunluğu açısından gözden geçirilir. Gönderilen makale, derginin amaç ve kapsamına uymuyorsa en geç 15 gün içerisinde reddedilir ve yazara bilgi verilir. Amaç ve kapsamı uygun bulunan makale, yapılan hakem değerlendirmesi öncesi yazım kuralları, dil ve anlatım ile çalışmanın planlanması açısından incelenir. Bu konularda eksiklikleri bulunan makalelerin yazar tarafından düzeltilmesi istenir.

Editörler, makalelerin tüm bölüm içeriklerini inceleyip, uygun bulunduğu makaleler hakem değerlendirmesine alınırlar. Ancak, herhangi bir nedenle hakem değerlendirmesine uygun bulunmayan makaleler, editörün değerlendirme raporuyla birlikte reddedilir. Yazara en geç 15 gün içerisinde bilgi verilir.

Hakem değerlendirmesinde makaleler, editör tarafından içerik ve uzmanlık alanlarına göre dergi hakem havuzundan ve/veya havuz dışından olmak üzere, en az üç hakeme gönderilir. Makale hakemlerinin belirlenmesinde, çıkar çatışması/çakışması hususlarına özen gösterilir.

Hakem görüşleri doğrultusunda, düzeltilmesi istenen makalelerin düzeltilmiş kopyası, geçerli bir neden olmaksızın yazarlar

tarafından 30 gün içerisinde tekrar editöre gönderilmediği takdirde, editörün makaleyi reddetme hakkı vardır. Yeniden düzenleme sonrası, düzeltilmiş makale editör tarafından gerekirse yeniden hakem değerlendirmesine gönderilir veya editör tarafından doğrudan kabul veya reddedilir.

Değerlendirme sonucu, hakemlerden gelen görüşler, editör tarafından en geç 15 gün içerisinde incelenir. İnceleme sonucunda, editör makaleye ilişkin nihai kararını vererek yazara iletir. Ret kararı verilen makaleler arşivlenir.

Editörler; olası suistimal ve görevi kötüye kullanma işlemlerine karşı önlem almakla yükümlüdür. Bu duruma yönelik şikayetlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda titiz ve nesnel bir soruşturma yapmanın yanı sıra, konuyla ilgili bulguların paylaşılması, editörün sorumlulukları arasında yer almaktadır. Suistimal şüphesi veya tartışmalı yazarlık durumlarında COPE akış şemaları (<https://publicationethics.org/resources/translated-resources/turkish-all-flowcharts>) dikkate alınarak gerekli aşamalar izlenir.

Editörler; yazar, hakem veya okuyuculardan gelen şikayetleri dikkatlice inceleyerek aydınlatıcı ve açıklayıcı bir şekilde yanıt vermekle yükümlüdür.

Dergi sahibi, yayıncı ve diğer hiçbir politik ve ticari unsur, editörlerin bağımsız karar almalarını etkilemez.

Editörler; yazar(lar), hakemler ve diğer editörler arasındaki çıkar çatışmalarını göz önünde bulundurarak, çalışmaların yayın sürecinin bağımsız ve tarafsız bir şekilde tamamlanmasını garanti eder.

Hakemlerin Etik Görev ve Sorumlulukları

Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde görev alan Hakemler, Yayın Etiği Komitesi (Committee on Publication Ethics -COPE) tarafından "COPE-Ethical Guidelines for Peer Reviewers" başlığı altında yayınlanan kılavuz kapsamında hazırlanan etik görev ve sorumluluklara sahiptir.

- JMD'de tüm bilimsel yayınların objektif değerlendirilmesini sağlamak amacıyla kör hakemlik sistemi uygulanmaktadır. Makaleye hakem atama aşamasında hakem ve yazar(lar) arasında herhangi bir çıkar çatışması/çakışması bulunmamasına özen gösterilmektedir. Bu amaçla hakem ve yazar(lar) arasında bilhassa;
 - Tez danışmanı/öğrenci ilişkisi olmaması,
 - Yazar(lar) ve hakem arasında yakın geçmişte (son 2 yıl) ortak araştırma ve yayın yapılmamış olması,
 - Aynı kurumda görev yapıyor olmaması,
 - Dergiye sunulan yazıya biçim ya da içerik yönünden katkı yapmamış olması,
 - Yazar(lar) ve hakem arasında yargıya ya da etik kurullara intikal eden ihtilafların olmaması,
 - Hakem ve yazar(lar) arasında akrabalık ilişkisinin olmaması,
 - Hakemin yazar(lar) hakkında kamuoyuna intikal etmiş önyargılarının bulunmaması,

- o Hakem ve yazar(lar) arasında herhangi bir ticari ilişkisinin olmaması,

gibi durumlar dikkate alınır. Yukarıda belirtilen ve dergi editörlüğünün gözünden kaçan durumların olması ihtimaline karşı hakemler editörü uyarır ve gerekli bilgiyi verir.

Ayrıca;

- Hakemler, sadece uzmanlık alanlarına giren makaleleri değerlendirir.
- Hakemler değerlendirmelerini tarafsız, objektif ve gizlilik içinde yapmakla yükümlüdürler.
- Değerlendirmede milliyet, cinsiyet, dini inanç, siyasi düşünce, ticari kaygılar vb. nedenlerle tarafsızlıklarını kaybetmemelidirler.
- Görüş ve önerilerini akademik görgü kuralları içinde, yapıcı ve akademik bir dille yapmaları, kişisel polemiğe yaratacak üsluptan kaçınmaları gerekmektedir.
- Yayın sürecini sebepsiz uzatacak şekilde değerlendirmelerini geciktirmemeleri gerekir. Hakem değerlendirme süreci için hakemlere verilen süre 30 gündür. Hakemler veya editörden gelen düzeltme önerilerinin yazarlar tarafından 30 gün içerisinde tamamlanması zorunludur. Hakemler makale için düzeltmelerini inceleyerek uygunluğuna karar verebilir veya gerekliyse birden çok defa düzeltme talep edebilir.

Yazarların Etik Görev ve Sorumlulukları

JMD’nde uygulanan yayın süreçleri, bilginin tarafsız ve saygın bir şekilde gelişimine ve dağıtımına temel teşkil etmektedir. Bu doğrultuda uygulanan süreçler, yazarların ve yazarları destekleyen kurumların çalışmalarının kalitesine doğrudan yansımaktadır. Hakemli çalışmalar bilimsel yöntemi somutlaştıran ve destekleyen çalışmalardır. Bu noktada sürecin bütün paydaşlarının (yazarlar, okuyucular ve araştırmacılar, yayıncı, hakemler ve editörler) Yayın Etiği Komitesi-COPE ilkelerine uyması önem taşımaktadır.

JMD’ne değerlendirilmek üzere makale gönderecek yazar(lar), öncelikle DergiPark’a üye olmak zorundadır. Sorumlu yazar çalışmalarını (orijinal makale, derleme, vb.) JMD’ne DergiPark sistemi üzerinden göndermelidir.

Makaleden sorumlu yazarın dergiye yeni makale gönderimi için “iThenticate İntihal Tespit Yazılımı” veya “Turnitin” veya eşdeğeri bir intihal programı kullanarak benzerlik raporunun yanı sıra, imzalanan “Telif Hakkı Devri Formu” ve “Etik Bildirim Formu”nu DergiPark sistemine yüklemesi gerekmektedir. Gönderilen makalenin benzerlik endeksi oranı, referans listesi hariç, % 20’nin altında olmalıdır.

Yazarlar çalışmalarını aynı anda birden fazla derginin başvuru sürecinde bulundurmaz. Her bir başvuru önceki başvurunun tamamlanmasını takiben başlatılabilir. Başka bir dergide yayınlanmış çalışma JMD’ne gönderilemez.

Sorumlu yazar, gönderilen bu makalenin başka bir yerde benzer bir formda yayınlanmadığını, makalenin orijinal olduğunu ve yayınlanmak üzere başka bir yere gönderilmeyeceğini garanti etmelidir.

Yazar(lar)ın gönderdikleri çalışmaların özgün olması beklenmektedir. Yazar(lar)ın başka çalışmalardan yararlanmaları veya başka çalışmaları kullanmaları durumunda eksiksiz ve doğru bir biçimde atıfta bulunmaları ve/veya alıntı yapmaları gerekmektedir.

Yazar(lar)dan değerlendirme süreçleri çerçevesinde makalelerine ilişkin ham veri talep edilebilir; böyle bir durumda yazar(lar) beklenen veri ve bilgileri yayın kuruluna sunmaya hazır olmalıdır.

Yazar(lar), kullanılan verilerin kullanım haklarına, araştırma/analizlerle ilgili gerekli izinlere sahip olduklarını gösteren belgeye sahip olmalıdır.

Makale yazarlarının her biri makaleye önemli bilimsel katkıda bulunmuş olması gerektiğinden her yazarın eşit etik sorumluluk taşıdığı kabul edilir. Yazar(lar)ın yayınlanmış, erken görünüm veya değerlendirme aşamasındaki çalışmasıyla ilgili bir yanlış ya da hatayı fark etmesi durumunda, dergi editörünü veya yayıncıyı bilgilendirme, düzeltme veya geri çekme işlemlerinde editörle iş birliği yapma yükümlülüğü bulunmaktadır.

Değerlendirme aşamasındaki makalesini geri çekme isteğinde bulunan yazar(lar)ın, konuyu içeren ıslak imzalı dilekçeyi dergi e-posta adresi jmd@jmo.org.tr üzerinden yayın kuruluna iletmesi gerekir. Yayın Kurulu, geri çekme dilekçesini inceleyerek en geç 15 gün içerisinde cevap verir. Yayın Kurulu tarafından dilekçesi onaylanmayan bir makalenin yazar(lar)ı, makalelerini başka bir dergiye gönderemezler.

Yayınlanmak üzere gönderilen tüm çalışmaların varsa çıkar çatışması teşkil edebilecek durumları ve ilişkileri açıklanmalıdır.

Değerlendirme süreci başlamış bir çalışmanın yazar sorumluluklarının değiştirilmesi (Yazar ekleme, yazar sırası değiştirme, yazar çıkartma gibi) teklif edilemez.

Değerlendirme sürecinde yazarlar; editör ve hakemlerin görüş, öneri ve eleştirilerine cevap vermekle yükümlüdürler. Yazarlar, hakem görüşlerini dikkate alarak sorulan soruları cevaplamak, görüş ve önerileri değerlendirmek, eleştirilere karşı olumlu ya da olumsuz karşılık vererek bunlara dair kanıtlarını ayrıntılı bir mektupla editöre bildirmek zorundadır. Bu karşı mektupta akademik üslup kullanılmalı, kişisel tartışmalardan kaçınılmalıdır.

1.2 Yayın Politikası

JMO ve/veya JMD yayınlanacak makalelerin telif haklarının alınması için yazarlardan yazılı onay alır. İlgili yazar, dergiye sunulan makalenin yazarı/sahibi olduğunu ve kendisi ve diğer yazar(lar) adına telif hakkını JMO ve/veya JMD’ne devreder. Telif Hakkı Devri Formunun doldurularak, makale sunumu esnasında dergi sistemine yüklenmesi zorunludur.

Sunulan makalenin tüm yazarları, yazının tüm haklarını ve tüm telif haklarını imzalayarak JMO ve/veya JMD’ne devretmelidir. JMO ve/veya JMD’nin, ilgili makalenin tamamını veya bir kısmını dersler/ders notları, raporlar ve ders kitapları/basılı kitaplar gibi gelecekteki eserlerinde herhangi bir ödeme yapmadan kullanma hakkı ve ilgili makalenin kendi kullanımı için kopyasını alma hakkı vardır. JMO ve/veya JMD; ticari amaçlar dışında patent hakları gibi telif hakkı dışındaki tüm haklarını saklı tutar.

JMD sistemindeki tüm kişisel bilgiler bilimsel amaçlarla kullanılmakta olup, üçüncü taraflarla paylaşılmamaktadır.

Editör, Teknik Editör ve Yayın Kurulu üyeleri, yazarların görüşlerinden ve yazı içeriğinden sorumlu değildir. Yazarlar, yazılarındaki etik özgünlük ve olası hatalardan sorumludur. Son okuma (düzeltme okuması) öncesi ve sayfa düzenleme aşamasında oluşabilecek tüm hatalardan yazarlar sorumludurlar. Son okuma sonrası meydana gelen hatalar dergi yetkililerinin sorumluluğundadır.

YAZIM KURALLARI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin yayım dili Türkçe ve İngilizcedir. Makale hangi dilde hazırlanmışsa Başlık, Öz, Şekil ve Çizelge açıklamalarını takiben diğer dildeki karşılığı yazılmalıdır. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması ve bu konuda makalenin dergiye sunumundan önce gerekli yardımı alamamaları durumunda, Başlık, Öz, Şekil ve Çizelge başlıklarının Türkçeye çevrilmesinde Editörler gerekli yardımı sağlar. Ana dili İngilizce olmayan yazarlara, yazılarını DergiPark sistemine yüklemeye önce, dil bilgisi ve yazım tarzı açısından, ana dili İngilizce olan bir kişiden katkı almaları özellikle önerilir.

Dergiye yayımlanmak üzere gönderilen makaleler, dergi yazım kurallarına göre hazırlanmalıdır.

Dergi yazım kurallarına göre hazırlanmış MS Office Word şablonunu bilgisayarınıza indirmek için lütfen [tıklayınız](#)...

Dergiye yayımlanmak üzere gönderilen makaleler, Etik İlkeler ve Yayın Politikası dikkate alınarak hazırlanmış olmalıdır.

Tüm makaleler Jeoloji Mühendisliği Dergisi DergiPark Sistemi üzerinden <https://dergipark.org.tr/tr/journal/1669/submission/step/manuscript/new> adresindeki "Makale Gönder" menüsü aracılığıyla elektronik ortamda gönderilmelidir.

Bunun için önce DergiPark sistemine üye olmalısınız. Makale Gönderim Aşamasında karşınıza çıkan Etik Beyan formu ve Telif Hakkı Devir formlarının düzenlenip, makale dosyalarıyla birlikte sisteme yüklenmesi gerekmektedir.

Yazılar aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır:

- Başlık (Türkçe ve İngilizce)
- Yazarların Ad(lar)ı SOYAD(LAR)I koyu olacak şekilde, adresleri (italik ve küçük harfle) ile sorumlu yazarın e-posta adresi
- Öz (Türkçe ve İngilizce)
- Anahtar Kelimeler (Türkçe ve İngilizce)
- Giriş (amaç, kapsam ve yöntemi)
- Ana metin (kullanılan yöntemler, çalışılan malzemeler, tanımlamalar, analizler vd.)
- Tartışma ve Sonuçlar veya Sonuçlar
- Katkı Belirtme
- Kaynaklar

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar farklı şekillerde ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Ana başlıklar büyük harflerle ve koyu yazılmalıdır. İkinci derece başlıklar alt başlık

olarak değerlendirilmeli ve birinci ve ikinci derece alt başlıklar küçük harfle (birinci derece alt başlıklarda her kelimenin ilk harfi büyük) ve koyu, üçüncü derece alt başlıklar ise italik olmalıdır. Başlıkların önüne numara veya harf konulmamalıdır. Yazılar (öz, metin, sponsor, katkı belirtme, kaynaklar, ekler ve şekiller dizini) A4 (29.7 cmX21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlarından en az 2.5 cm boşluk bırakılarak, 1,5 satır aralığında ve 12 puntoyla (Times New Roman) yazılmalı, ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

Başlıklar şu şekilde olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

KATKI BELİRTME

ORCID

KAYNAKLAR

Başlık ve Yazarlar

Yazının başlığı, çalışmanın içeriğini anlaşılır şekilde yansıtmalıdır. Eğer yazı Türkçe hazırlanmışsa, Türkçe başlığı (koyu ve kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde) İngilizce başlık (italik ve kelimelerin ilk harfleri büyük olacak şekilde) izlemelidir. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise, İngilizce başlık Türkçe başlıktan önce ve yukarıda belirtilen yazım kurallarına göre verilmelidir.

Makaledeki yazarlar, eğer henüz yoksa <http://orcid.org> web adresinden edinecekleri ORCID (ORCID, Open Researcher ve Contributor ID'nin kısaltmasıdır. ORCID, Uluslararası Standart Ad Tanımlayıcı (ISNI) olarak da bilinen ISO Standardı (ISO 27729) ile uyumlu 16 haneli bir numaralı URL'dir.) bilgilerini de makale ile birlikte sunmalıdır.

Yazarlara ilişkin bilgi ise aşağıdaki örneklere uygun olarak verilmelidir.

Tolga ÇAN

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01250 Adana

e-posta: tolgacan@cu.edu.tr

ORCID Numarası: 0000-0001-9940-2832

ÖZ

Çalışma hakkında bilgi verici bir içerikle (çalışmanın amacı, elde edilen başlıca sonuçlar) ve 200 kelimeyi aşmayacak şekilde hazırlanmalıdır. Özde kaynaklara atıfta bulunulmamalıdır. Makalelerde hem Türkçe hem de İngilizce Öz bulunmalıdır. Türkçe yazılarda ilk önce Öz, daha sonra “Abstract” (İtalik), İngilizce yazılarda ise önce Abstract daha sonra Türkçe Öz (italik) olacak şekilde hazırlanmalıdır.

Anahtar Kelimeler

Öz ve Abstract'ın altında sırasıyla Türkçe ve İngilizce olarak en az 3-6 kelimeyi aşmayacak şekilde ve yazının konusunu yansıtan anahtar kelimeler verilmelidir. Anahtar kelimeler, alfabetik sırayla, birinci anahtar kelimenin ilk harfi büyük, diğerleri ise küçük harflerle yazılmalı ve aralarına virgül konmalıdır. Teknik Not türü yazılarda anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

KATKI BELİRTME

Katkı belirtme, kısa olmalı ve teşekkür edilecek olanlar çalışmaya en önemli katkıyı sağlayan kişilerin ve/veya kuruluşların adlarıyla sınırlandırılmalıdır. Teşekkür edilecek kişilerin açık adları ünvanları belirtilmeksizin verilmeli, ayrıca bu kişilerin görevli oldukları kurum ve kuruluşların adları da eklenmelidir.

Hibe, proje fon desteği vb. teşekkürleri bu başlık altında ayrı bir paragraf olarak belirtilmelidir. Finansman sağlayan kuruluşların isimleri tam olarak yazılmalıdır.

Araştırma sırasında yardım sağlayan kişiler burada listelenmelidir (örneğin, İngilizce tercüme desteği sağlamak, yazım yardımı veya makalenin Türkçe ve İngilizce düzeltilmesini yapmak vb.).

DEĞİNİLECEK BELGELER

Metin İçinde Atıfların Yazılması

A. Yayında tek yazar varsa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Yazar1, Tarih) Ör: (Sönmez, 1996)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Yazar1 (Tarih) Ör: Sönmez (1996)

B. Yayında 2 yazar varsa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Yazar1 ve Yazar2, Tarih) Ör: (Merriman ve Frey, 1999)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Yazar1 ve Yazar2 (Tarih) Ör: Merriman ve Frey (1999)

C. Yayında 2'den fazla yazar varsa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Yazar1 vd., 1987) Ör: (Pettijohn vd., 1987)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Yazar1 vd. (1987) Ör: Pettijohn vd. (1987)

D. Arka arkaya birden fazla atıfta bulunulacaksa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Merriman ve Frey, 1999; Pettijohn vd., 1987; Sönmez, 1996)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Merriman ve Frey (1999), Pettijohn vd. (1987), Sönmez (1996)

. Aynı yazarların aynı yıl içinde birden fazla yayınına atıfta bulunulduysa

Bu durumda Kaynaklar bölümünde makalelerin tarihlerinden sonra a, b, c gibi harfler verilir, metin içindeki atıflarda da tarihlerden sonraki harfler kullanılır.

Kaynakçada:

Ahmetoğlu, A. ve Hüsnuoğlu, H. (2022a). Makale Adı 1. Süreli yayının/derginin adı (kısaltılmamış), Cilt No(Sayı No), sayfa numaraları. Varsa DOI bilgisi

Ahmetoğlu, A. ve Hüsnuoğlu, H. (2022b). Makale Adı 2. Süreli yayının/derginin adı (kısaltılmamış), Cilt No(Sayı No), sayfa numaraları. Varsa DOI bilgisi

Metin içindeki atıflarda:

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa: (Ahmetoğlu ve Hüsnuoğlu, 2022a)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Ahmetoğlu ve Hüsnuoğlu (2022a)

Kaynaklar Bölümü

Aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır

- TJB'de Türkçe yayınlanacak makalelerde: Kaynak çok isimli bir çalışma ise: Son isimden önce “ve” gelmelidir eğer kaynak İngilizce ise “&” kullanılmalıdır.
- Editörün belirtilmesi gereken çalışmalarda: Tek isim ise (Ed.) çoklu editör ise: Son isimden sonra (Ed.ler) eğer kaynak İngilizce ise (Eds.) yazılmalıdır.

A. Süreli yayınlar:

A.1. Süreli yayınların gösterilmesi:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Makalenin başlığı. Süreli yayının/derginin adı (kısaltılmamış), Cilt No(Sayı No), sayfa numaraları. Varsa DOI bilgisi

Hoek, E. & David, M. (1990). Estimating Mohr – Coulomb friction and cohesion values from Hoek – Brown failure criterion. International Journal of Rock Mechanics, 27(3), 220-229. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(90\)94333-O](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)94333-O)

A.2. Özel durumlar:

A.2.1. Eğer makale serbest erişimli bir internet sayfasından alındıysa:

Ketin, İ. (1949). Son on yılda Türkiye'de vukua gelen büyük depremlerin tektonik ve mekanik neticeleri hakkında. Türkiye Jeoloji Bülteni, 2(1), 1-13. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/50279/650044>

A.2.2. Eğer makalenin makale numarası varsa:

Açlan, M., Oyan, V. & Köse, O. (2020). Petrogenesis and the evolution of Pliocene Timar basalts in the east of Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey: A consequence of the partial melting of a metasomatized spinel-rich lithospheric mantle source. Journal of African Earth Sciences, 168, Article 103844. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103844>

B. Bildiriler:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Bildirinin başlığı. Editör(ler), Sempozyum veya Kongrenin Adı, (bildirinin sayfa aralığı). Yayınevi. Varsa DOI bilgisi veya internet erişim bilgisi

Şanlıyüksel Yücel, D., İleri, B. (2019). Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. H. Sözbilir, Ç. Özkaymak, B. Uzel, Ö. Sümer, M. Softa, Ç. Tepe, S. Eski (Ed.ler), 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri ve Tam Metin Bildiriler Kitabı, (s.63-64). Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893_ek.pdf

C. Kitaplar:

C.1. Kitapların gösterilmesi:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Kitabın Adı (ilk harfleri Büyük). Yayınevi. Varsa DOI bilgisi veya internet erişim bilgisi

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. (1987). Sand and Sandstones (2nd ed.). Springer-Verlag New York. <https://www.doi.org/10.1007/978-1-4612-1066-5>

Ketin, İ. (2016). Genel Jeoloji, Yerbilimlerine Giriş (9. Baskı). İTÜ Vakfı Yayınları.

C.2. Çeviri Kitapların Gösterilmesi:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Kitabın Çeviri Adı (Çevirenlerin adları). Yayınevi. (Orijinal yayın tarihi). Varsa DOI bilgisi veya internet erişim bilgisi

Komatina, M. M. (2011). Tıbbi Jeoloji: Jeolojik Ortamların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri (Çev: Y. Örgün ve D. Bayrak). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (Orijinal yayın tarihi: 2001).

D. Kitapta Bölüm ise:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Bölüm Adı. Editör(ler) Kitap adı (Bölümün sayfa aralığı). Yayınevi.

Merriman, R. J. & Frey, M. (1999). Patterns of very low-grade metamorphism in metapelitic rocks. In M. Frey & D. Robinson (Eds.), Low Grade Metamorphism, (pp. 61-107). Blackwell Sciences Ltd.

E. Raporlar ve Tezler:

E.1. Raporlar:

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun başlığı (Varsa rapor no). Kurum adı (Yayımlanma durumu).

Kellogg, H. E. (1960). Stratigraphic report, Derik-Mardin area Petroleum District V, Southeast Turkey (Rapor no: 1367). TPAO (yayımlanmamış).

E.2. Tezler:

Yazar adı, (Tarih). Tezin başlığı [Yayımlanma durumu ve derecesi]. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı.

Sönmez, H. (1996). TKİ ELİ Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

F. Kişisel Görüşme:

Sözbilir, H., 2005. Personal communication. Geological Engineering Department of Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.

G. İnternette İndirilen Bilgiler:

Kurumun veya internet sayfasının adı, (Erişim tarihi). Web adresi.

KRDAE, (2020, 02 Ocak). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. Deprem Bilgileri, Büyük Depremler. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/>

H. Kaynak olarak kullanılan haritalar:

Konak, N. ve Ercan, T., 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası Van Paftası, (Şenel, M., (Ed.)). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.

EŞİTLİKLER

Matematiksel sembolleri ve formülleri resim olarak değil, lütfen düzenlenebilir metin olarak gönderin. Denklemler için denklem düzenleyicisini veya MathType'ı kullanın. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir. Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir. Prensipler olarak, değişkenler italik olarak sunulmalıdır. "e" nin kuvvetleri "(exp)" ile gösterilmelidir. Eşitliklerde kullanılacak alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır (Id, x2 gibi). Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir. Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis

olarak 0.5 kullanılmalıdır ($\sigma_{mass} = \sigma_{0.5}$ gibi). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine “/” simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde “*” işareti tercih edilmelidir ($y=5 * 10^{-3}$ gibi). Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} veya CO_2 - gibi ifadeler yerine Ca^{+2} ve CO_3^{-2} kullanılmalıdır. Metinde eşitliklere “eşitlikler (1, 2, vb.)” şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Eşitlik verildikten sonra ilgili parametreler açıklanmalıdır.

ÇİZELGE VE ŞEKİLLER

Çizelge ve şekiller metin içerisinde yer almalıdır. Çalışmanın sonunda ayrıca verilmemelidir. Çizelge ve şekillerde genel şablonun dışında 10 punto Times New Roman yazı karakteri kullanılır. Paragraf sekmesinde girintiler bölümünde; önce ve sonra alanı 0, satır aralığı tek olmalıdır. Tablo ve şekiller sola dayalı olmalı ve metin kaydırma özelliği kapalı olmalıdır. Çizelge ve şekiller Dergi'nin tek (7.5 cm-Genişlik) veya çift (16 cm-Genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir.

Çizelgeler

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte, Dergi'nin sayfalarındaki baskı alanını (16 x 22cm) aşmayacak şekilde hazırlanmalı ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısımlarında hem Türkçe hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır. Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı, İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, “Çizelge 1” vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler içindeki karakterler 10 punto (duruma göre daha küçük) yazılmalıdır. Çizelgelerde dikey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için Dergi'nin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Çizelgelerle ilgili varsa verilmesi gereken açıklamaları daha küçük karakterlerle çizelgenin altında belirtebilirsiniz.

Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak “Şekil” başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Çizim, grafik ve fotoğraf formatlarında aşağıda önerilen kurallar dikkate alınmalıdır.

Kullanılan uygulama ne olursa olsun, elektronik fotoğraf/grafik sonlandırıldığında, ‘farklı kaydet’ seçeneğini kullanarak görüntüleri aşağıdaki biçimlerden birine dönüştürün (çizgi çizimler, yarı tonlar ve çizgi/yarı ton kombinasyonları için aşağıda verilen çözünürlük gereksinimlerine dikkat edin):

EPS (veya PDF): Vektör çizimleri. Yazı tipini yerleştirilmeli veya metin ‘grafik’ olarak kaydedilmeli.

TIFF (veya JPG): Renkli veya gri tonlamalı fotoğraflar (yarı tonlar) için en az 300 dpi kullanılmalı.

TIFF (veya JPG): Çizgi grafikler için en az 1000 dpi kullanılmalı.

TIFF (veya JPG): Çizgi grafikler /yarım ton (renkli veya gri tonlamalı) kombinasyonlarda minimum 500 dpi kullanılması gereklidir.

Şekil başlıkları; şekillerin altına yazılmalı ve çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 16 cm (genişlik) x 22 cm (uzunluk) olmalıdır. Özellikle haritalar, arazi ile ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) kullanılmamalı, metrik sisteme uygun çizgisel ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun koordinat sistemi (enlem/boylam veya izdüşüm koordinat sistemi) değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları (lejang); şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yer almalıdır. Şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda örneğin; Şekil 1a, b’de, veya (Şekil 1c, d) a, b, c, d vb. şekilde toplu olarak sunulan bir şekil, ayrı sayfalarda basılması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır.

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ

T.M.M.O.B. Jeoloji Mühendisleri Odası

Hatay Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

Tel : (312) 432 30 85 / (312) 434 36 01

Faks : (312) 434 23 88

E-posta : jmd@jmo.org.tr

AIM & SCOPE

Journal of Geological Engineering has the following purposes;

- To more effectively reflect the place and importance of the geological engineering profession in daily life. The field of geological engineering studies the interactions between humans and the earth, then shares this knowledge and experience to provide humanity with safer and healthier living conditions that also consider the environment.
- To share national and international developments in the field with geological engineers.
- To provide an easily accessible and active discussion platform that strengthens and accelerates the sharing of knowledge and experience among scientists, researchers, engineers and other practitioners who are directly or indirectly involved in this field.
- To contribute to the design of resilient environments and solve problems in line with the International Sustainable Development Goals, which include the effective management of natural resources, and the consideration of humans and nature, as well as geological hazards when engineering structures and carrying out spatial planning.
- To contribute to the development of interdisciplinary research and interoperability principles.

The **Journal of Geological Engineering** covers national and international research in applied geological engineering domains such as engineering geology, geotechnics, water resources management and hydrogeology, environmental geology and waste management, geothermal energy, drilling techniques and applications, natural hazards, natural disasters and disaster management. The journal also accepts interdisciplinary work that uses geoscientific data from fields including civil engineering, mining, geophysics, petroleum engineering, environmental engineering, city and regional planning.

We are interested in papers on the following topics:

- Suitable site selection for engineering structures and land use planning
- Geotechnical site investigations, drilling studies, in-situ and laboratory tests
- Geophysical methods used in geotechnical studies
- Geomechanical properties of rocks and soils
- Slope stability assessments and monitoring techniques
- Spatial planning studies resistant to dynamic geological processes that adversely affect humans and nature
- Geographic Information Systems and Remote Sensing applications in the field of geological engineering
- Natural hazard and risk assessments (earthquakes, liquefaction, landslides, sinkholes, medical geology, floods and avalanches, etc.)
- Natural disasters and disaster management studies
- Environmental geology, waste management and site selection studies

- Management of surface and underground water resources, hydrogeological problems and practical solutions
- Geological resources management practices, problems, solutions and economic evaluations
- The research and development of geothermal, mineral and mineral resources and subsurface geological modeling
- Pollutants and their effects on the ecosystem
- Natural building materials and ground improvement works
- Engineering geology in the protection of historical structures and geological monuments
- Drilling applications in resource exploration and production processes, developments in drilling technologies
- Research, development and project studies in the field of geological engineering in building production and inspection processes
- Geological Engineering education and development

Theoretical and applied studies related to the above topics are also published in the Journal of Geological Engineering.

We only accept previously unpublished work. Four types of paper are published in the Journal of Geological Engineering:

1- Research Articles: Articles in which an original study is presented. The theoretical basis should include sections in which findings and conclusions based on sufficient quantitative and qualitative data are evaluated in detail. The total length of the manuscript should not exceed 9000 words (15 JMD pages). Articles will be subject to review by at least two experts in the field.

2- Reviews: Articles prepared upon the invitation of the Editor or with their knowledge, examining the techniques, methods and approaches still used in any field of Geological Engineering in light of today's technological developments and the writer's own experiences. The article should also make and develop suggestions in this regard. The length of the article may vary depending on the subject. There is no obligation of editorial review.

3- Technical Notes: A technical note article presents a technique, instrumentation, exploration method, or an assessment method that is truly new compared to earlier publications. An evaluation or measurement method should specify how it was validated. A technical note should be no longer than 4000 words (6 JMD pages). Articles will be subjected to review by at least two members of the editorial board.

4- Erratum: A notice to correct errors in a published article that were mistakenly created by the authors or editorial board during the final editing of the article. JMD may be warned of errors by the authors or readers of the published article. If the authors have alerted the editorial board, an erratum is published as soon as possible. If a reader has alerted the editorial board, the author will be contacted to see if a typo report is appropriate. Readers can contact the Editor. If a Letter to the Editor has been received and a spelling correction is required, the authors of the original article

are requested to respond and write a correction to the published Letter to the Editor.

Ethical Principles and Publication Policy

1. Ethical Principles and Publication Policy

Journal of Geological Engineering (JMD) publishers and users (Editor and technical editor, authors, reviewers, readers, etc.) comply with the ethical rules and responsibilities determined by the Committee on Publication Ethics - COPE, <https://publicationethics.org/>.

Journal of Geological Engineering is a peer-reviewed journal. It publishes online in print and electronic media and has an open access system. Journal issues are published twice a year in January and June. In the publication processes, sharing of the information produced freely and impartially taking in account the scientific methods. Blind refereeing system is applied in the manuscript evaluation process. All issues of JMD published since 1977 are archived both in printed and electronic versions by the publishing company, TMMOB Chamber of Geological Engineers (JMO), and electronic versions by TUBITAK ULAKBİM- DergiPark.

1.1 Ethical Principles

Ethical Duties and Responsibilities of Editors

The editors of the Journal of Geological Engineering, the ethical task prepared by the Committee on Publication Ethics (COPE) within the scope of the guidelines published under the headings of “Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors” has responsibilities.

Editors are responsible for following the processes for the development of the journal and improving the quality of published studies.

The manuscript submitted to JMD is first reviewed by the Editors for compliance with the journal’s purpose and scope. If the submitted manuscript does not comply with the purpose and scope of the journal, it is rejected within 15 days at the latest and the author is informed. The manuscripts found appropriate according to the journal’s aims and scope, is examined in terms of writing rules, language and expression and planning of the study before the reviewer’s evaluation. Manuscripts with deficiencies in these subjects are requested to be corrected by the author.

When the editors examine all the section contents of the manuscripts and find it appropriate, the manuscripts are evaluated by the reviewer. However, manuscripts that are not suitable for reviewer evaluation for any reason are rejected together with the editor’s evaluation report. The author is informed within 15 days at the latest.

In peer review, manuscripts are sent by the editor to at least three reviewers, from the journal’s reviewer pool and/or outside the pool, according to their content and areas of expertise. In the determination of the manuscript reviewers, attention is paid to the issues of conflict of interest.

In line with the opinions of the reviewers, if the corrected copy of the manuscripts requested to be corrected is not sent back to the

editor within 30 days by the authors without a valid reason, the editor has the right to reject the manuscript. After the re-editing, if necessary, the corrected manuscript is sent to the reviewers or directly accepted or rejected by the editor.

As a result of the evaluation, the opinions of the reviewers are reviewed by the editor within 15 days at the latest. As a result of the review, the editor gives his final decision on the manuscript and conveys it to the author. Rejected manuscripts are archived.

Editors are responsible to take precautions against possible abuse and misconduct. It is among the editor’s responsibilities to share the relevant findings, as well as to conduct a rigorous and objective investigation regarding the determination and evaluation of the complaints regarding this situation. In cases of suspected fraud or controversial authorship, necessary steps are followed by considering the COPE flowcharts (<https://publicationethics.org/resources/translated-resources/turkish-all-flowcharts>).

Editors; The author is obliged to carefully examine the complaints from the reviewers or readers and respond in an enlightening and explanatory manner.

The journal owner, publisher and no other political or commercial factors affect the editors’ independent decision making.

Editors; considers the conflicts of interest between the author(s), reviewers and other editors, and ensures that the publication process of the studies is completed independently and impartially.

Ethical Duties and Responsibilities of Reviewers

Reviewers in the Journal of Geological Engineering have ethical duties and responsibilities within the scope of the guidelines published under the title of “COPE-Ethical Guidelines for Peer Reviewers” by the Committee on Publication Ethics (COPE).

- Blind peer-review system is applied in order to ensure objective evaluation of all scientific publications at JMD. At the stage of assigning a reviewer to the manuscript, care is taken to ensure that there is no conflict of interest between the reviewer and the author(s). For this purpose, between the reviewer and the author(s), in particular;
 - o No thesis advisor/student relationship,
 - o No joint research or publication in the recent past (last 2 years) between the author(s) and the reviewer,
 - o Not working in the same institution,
 - o Not contributing to the manuscript submitted to the journal in terms of format or content,
 - o There are no disputes between the author(s) and the reviewer, which are submitted to the judiciary or ethical committees,
 - o There is no kinship relationship between the reviewer and the author(s),
 - o The reviewer has no prejudices about the author(s) that have been disclosed to the public,
 - o The absence of any commercial relationship between the reviewer and the author(s),

situations are considered. The reviewers warn the editor and give the necessary information in case of the above-mentioned situations that are overlooked by the journal editor.

Moreover;

- Reviewers only evaluate manuscripts that fall within their area of expertise.
- Reviewers are obliged to make their evaluations impartially, objectively and confidentially.
- Nationality, gender, religious belief, political opinion, commercial concerns, etc. they should not lose their impartiality for any reason.
- They should make their opinions and suggestions within academic etiquette, in a constructive and academic language, and avoid a style that will create personal polemics.
- They should not delay their evaluation in such a way as to prolong the publication process for no reason. The time given to the reviewers for the review processes is 30 days. The authors must complete the correction suggestions from the reviewers or the editor within 30 days. Reviewers can review their corrections for the manuscript and decide whether it is appropriate or request more than one correction if necessary.

Ethical Duties and Responsibilities of Authors

The publication processes implemented at JMD are the basis for the development and distribution of information in an impartial and respectful manner. The processes implemented in this direction are directly reflected in the quality of the authors' work and the institutions that support the authors. Peer-reviewed studies are studies that embody and support the scientific method. At this point, it is important that all stakeholders of the process (authors, readers and researchers, publisher, reviewers and editors) comply with the Principles of the Publication Ethics Committee-COPE.

The author(s) who will send a manuscript to JMD for evaluation must first become a member of DergiPark . Corresponding authors should submit their work (original article, review, etc.) to JMD through the DergiPark system.

The author responsible for the manuscript must upload the signed "Copyright Transfer Form" and "Ethics Notification Form" to the DergiPark system, in addition to the similarity report, by using the " iThenticate Plagiarism Detection Software" or " Turnitin " or an equivalent plagiarism program to submit a new manuscript to the journal. The similarity index rate of the submitted manuscript should be below 20%, excluding the reference list.

Authors cannot have their work in the application process of more than one journal at the same time. Each application can be started following the completion of the previous application. Work published in another journal cannot be submitted to JMD.

The corresponding author must ensure that this submitted manuscript has not been published in a similar form elsewhere and that the manuscript is original and will not be sent elsewhere for publication.

The works submitted by the author(s) are expected to be original. If the author(s) benefit from or use other works, they are required to cite and/or cite completely and accurately.

Raw data regarding their manuscripts can be requested from the author(s) within the framework of the evaluation processes; In such a case, the author(s) should be ready to present the expected data and information to the editorial board.

The author(s) must have a document showing that they have the right to use the data used and the necessary permissions for the research/analysis.

Each author is considered to have an equal ethical responsibility, as each of the authors must have made a significant scientific contribution to the manuscript. In the event that the author(s) notices an error or error in their published, pre-published or evaluation phase, they have an obligation to cooperate with the editor in informing, correcting or withdrawing the journal editor or publisher.

Author(s) who want to withdraw their manuscript under evaluation should forward the petition with a wet signature containing the subject to the editorial board via the journal's e-mail address jmd@jmo.org.tr. The Editorial Board reviews the withdrawal petition and responds within 15 days. The author(s) of a manuscript whose petition is not approved by the Editorial Board cannot send their manuscript to another journal.

All studies submitted for publication should be disclosed, if any, and their relationships that may constitute a conflict of interest.

Changing the author responsibilities of a work whose evaluation process has begun (such as adding an author, changing the order of authors, or removing an author) cannot be proposed.

In the evaluation process, the authors are obliged to respond to the opinions, suggestions and criticisms of the editors and reviewers. The authors are obliged to answer the questions asked by considering the opinions of the reviewers, to evaluate the opinions and suggestions, to respond positively or negatively to the criticisms and to report their evidence to the editor in a detailed letter. Academic style should be used in this counter letter, and personal discussions should be avoided.

1. 2 Publication Policy

JMO and/or JMD obtain written consent from the authors for the copyright of the manuscripts to be published. The related author is the author/owner of the manuscript submitted to the journal and transfers the copyright to JMO and/or JMD on behalf of himself and other author(s). It is obligatory to fill in the Copyright Transfer Form and upload it to the journal system during the submission of the manuscript.

All authors of the submitted manuscript must sign and transfer all rights and copyrights of the manuscript to JMO and/or JMD. JMO and/or JMD have the right to use all or part of the relevant manuscript in their future works such as lectures/lecture notes, reports and textbooks/printed books without any payment and the right to obtain a copy of the relevant manuscript for their own

use. JMO and/or JMD; reserves all its rights other than copyright, such as patent rights, for commercial purposes.

All personal information in the JMD system is used for scientific purposes and is not shared with third parties.

Editor, Technical Editor and Editorial Board members are not responsible for the opinions of the authors and the content of the manuscript. Authors are responsible for ethical originality and possible errors in their manuscripts. Authors are responsible for all errors that may occur before the last reading (revision reading) and during page editing. Errors that occur after the last reading are the responsibility of the journal authorities.

Author Guidelines

Both Turkish and English manuscripts are accepted by the Journal of Geological Engineering. According to the language chosen in the article; following the title, abstract, figure, and table captions, the equivalents in other languages should also be written. Editors provide the necessary assistance in translating the Title, Abstract, Figure, and Table captions into Turkish for the manuscripts prepared in English by the foreign author(s) (in case they cannot get the relevant Turkish language assistance before their submission). Authors whose native language is not English are strongly advised to seek support from a native English speaker in terms of grammar and style of the manuscript before submission.

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture, or an academic thesis) and that it is not under consideration for publication elsewhere.

Please click to [download](#) the MS Office Word template prepared according to the journal's manuscript writing format. Please check the relevant section in this Author's Guidelines for more details.

Manuscripts sent to the journal for publication should be prepared by considering the Ethical Principles and Publication Policy.

DergiPark online submission system for the Journal of Geological Engineering guides you stepwise through the process of entering your article details, and uploading your manuscript file together with Ethics Statement and Copyright Transfer forms. For this, you must first sign in to the DergiPark system.

Please submit your manuscript via <https://dergipark.org.tr/en/journal/1669/submission/step/manuscript/new>

Manuscripts should generally be structured as follows:

- (a) Title (English and Turkish)
- (b) Author Name(s) SURNAME(S) (bold), their affiliations (italic and lowercase), and the name and e-mail address of the corresponding author.
- (c) Abstract (English and Turkish)
- (d) Keywords (English and Turkish)

- (e) Introduction (aim, content, and methodology)
- (f) Main text (methods, material studied, descriptions, analyses, etc.)
- (g) Results and Discussion or Conclusions and Recommendations
- (i) Acknowledgements (if necessary)
- (j) References

The various levels of headings used in the manuscript should be clearly differentiated. All headings should be left-aligned. Major headings should be in bold capitals. Secondary headings should be considered sub-headings. Primary- and secondary subheadings should be given in lower-case and tertiary headings in italics. Headings should not be preceded by numerals or letters. Manuscripts (abstract, main text, acknowledgments, references, appendices and figure captions) should be typed on A4 page size (29.7 cm x 21 cm) with wide margins (at least 2.5 cm) and 1.5 line-spaced throughout, at a font size of 12 points (Times New Roman) and with all pages numbered.

Examples of headings:

ABSTRACT

INTRODUCTION

PRIMARY HEADING

Primary Sub-Heading

Secondary sub-heading

Tertiary sub-heading

CONCLUSIONS & DISCUSSION

ACKNOWLEDGEMENTS

REFERENCES

Title and Authors

The title of the manuscript should be concise and informative. If the paper is written in Turkish, the Turkish title (in boldface type and the first letter of the words capitalized) should be followed by the English title (italic and first letter of the words capitalized). If the paper is in English, the English title should appear before the Turkish title in the style mentioned above.

ORCID stands for Open Researcher and Contributor ID. ORCID is a 16-digit numbered URL that complies with the ISO Standard (ISO 27729), also known as the International Standard Name Identifier (ISNI). Please create free registration for individual ORCID at <http://orcid.org> ORCID information is requested from the authors during submission.

The information related to the authors should be given as follow:

Tolga ÇAN

Çukurova University, Engineering Faculty, Geological Engineering Department, 01250 Adana Türkiye

e-mail: tolgacan@cu.edu.tr

ORCID Number: 0000-0001-9940-2832

ABSTRACT

The abstract not exceeding 300 words should be informative (the aim of the study and main conclusive remarks). It should not contain references. The Abstract should be given in both Turkish and English. If the paper is written in Turkish, an English abstract (in italics) should follow the Turkish abstract, while a Turkish abstract (in italics) should appear after the English abstract in papers written in English.

Keywords

The abstract should include a minimum of 3, and not more than 6 keywords that reflect the entries the authors would like to see in an index. Keywords should be given in both Turkish and English. Keywords should be written in lower-case letters, separated by commas, and given in alphabetical order. No need to give keywords for Technical Note-type articles.

ACKNOWLEDGEMENTS

Acknowledgments should be brief and confined to persons and organizations that have made significant contributions. Please use full names without titles and indicate the name(s) of the organization(s) of the person(s) acknowledged.

Acknowledgments of grants, funds, etc. should be placed as a separate paragraph under this heading. The names of funding organizations should be written in full.

List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proofreading the article, etc.).

CITATIONS and REFERENCES

Citation in the text

A. If the article has one author

Parenthetical citations: (Author, Year) e.g.: (Sönmez, 1996)

Narrative citations: Author (Year) e.g.: Sönmez (1996)

B. If the article has two authors

Parenthetical citations: (Author1 & Author2, Year) e.g.: (Merriman & Frey, 1999)

Narrative citations: Author1 and Author2 (Year) e.g.: Merriman and Frey (1999)

C. If the article has more than two authors

Parenthetical citations: (Author1 et al., Year) e.g.: (Pettijohn et al., 1987)

Narrative citations: Author1 et al. (Year) e.g.: Pettijohn et al., (1987)

D. Citing Multiple Works

Parenthetical citations: (Merriman & Frey, 1999; Pettijohn et al., 1987; Sönmez, 1996)

Narrative citations: Merriman and Frey (1999), Pettijohn et al. (1987), Sönmez (1996)

E. If more than one publication of the same authors published in the same year is cited

In this case, letters such as a, b, and c are given after the years of the articles in the References section. In the same way, these letters are used in the citations in the text.

In References:

Ahmetoğlu, A. & Hüsnuoğlu, H. (2022a). Article 1. Full Name of Journal, Vol. (No), pages. DOI number (if available)

Ahmetoğlu, A. & Hüsnuoğlu, H. (2022b). Article 2. Full Name of Journal, Vol. (No), pages. DOI number (if available)

Citations in the text:

Parenthetical citations: (Ahmetoğlu & Hüsnuoğlu, 2022a)

Narrative citations: Ahmetoğlu & Hüsnuoğlu (2022a)

References

All references cited in the text, and in captions of figures and tables should be presented in a list of references under the heading of "REFERENCES" following the text of the manuscript.

A. Journals

A.1. Citing the periodicals:

Author(s), (Date). Title of paper. Full Name of Journal, Vol. (No), pages. DOI number (if available)

Hoek, E. & David, M. (1990). Estimating Mohr–Coulomb friction and cohesion values from Hoek – Brown failure criterion. *International Journal of Rock Mechanics*, 27(3), 220-229. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(90\)94333-O](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)94333-O)

A.2. Special cases:

A.2.1. If the article was taken from an open (free) access website:

Ketin, İ. (1949). Son on yılda Türkiye'de vukua gelen büyük depremlerin tektonik ve mekanik neticeleri hakkında. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 2(1), 1-13. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/50279/650044>

A.2.2. If the article has an article number:

Açlan, M., Oyan, V. & Köse, O. (2020). Petrogenesis and the evolution of Pliocene Timar basalts in the east of Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey: A consequence of the partial melting of a metasomatized spinel-rich lithospheric mantle source. *Journal of African Earth Sciences*, 168, Article 103844. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103844>.

B. Proceedings and Abstracts:

Author(s), (Date). Title of paper. Name of Editor(s), Title of Symposium or Congress, (pages). Name of Publisher. DOI number & internet address (If available).

Şanlıyüksel Yücel, D., İleri, B. (2019). Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. In H. Sözbilir, Ç. Özkaymak, B. Uzel, Ö. Sümer, M. Softa, Ç. Tepe, S. Eski (Eds.), 72nd Geological Congress of Turkey The Proceedings and Abstracts Book, (s.63-64). Chamber of Geological Engineers of Turkey Publications No: 140. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893_ek.pdf

C. Books:

C.1. Citing of books:

Author(s), (Date). Name of the Book. Name of the Publisher. DOI number & internet address (if available).

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. (1987). Sand and Sandstones (2nd ed.). Springer-Verlag New York. <https://www.doi.org/10.1007/978-1-4612-1066-5>

Ketin, İ. (2016). Genel Jeoloji, Yerbilimlerine Giriş (9. Baskı). İTÜ Vakfı Yayınları.

C.2. Citing of translated books:

Author(s), (Date). Name of the Translated Book. Name of the Publisher. (Original publishing date). DOI number & internet address (If available).

Komatina, M. M. (2011). Tıbbi Jeoloji: Jeolojik Ortamların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri (Translator: Y. Örgün ve D. Bayrak). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (Original publication date: 2001).

D. Chapter in a book:

Author(s), (Date). Chapter Name. Name of Editors, Name of Book (Page numbers of the chapter). Name of Publisher.

Merriman, R. J. & Frey, M. (1999). Patterns of very low-grade metamorphism in metapelitic rocks. In M. Frey & D. Robinson (Eds.), Low-Grade Metamorphism, (pp. 61-107). Blackwell Sciences Ltd.

E. Reports and Thesis:

E.1. Reports:

Author(s), (Date). Title of report (If any report no). Name of the Organization or Institution, (published or unpublished).

Kellogg, H. E. (1960). Stratigraphic report, Derik-Mardin area Petroleum District V, Southeast Turkey (Rapor no: 1367). TPAO (unpublished).

E.2. Thesis:

Author, (Date). Title of Thesis [published or unpublished & Ph.D. or MSc Thesis]. Name of the Institution or University.

Sönmez, H. (1996). TKİ ELİ Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi [Unpublished Msc Thesis]. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

F. Personal Communications:

Sözbilir, H., 2005. Personal communication. Geological Engineering Department of Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.

G. Information Downloaded from the Internet

Name of the Organization, (Date). The web address, and date of access to the website.

KRDAE, (2020, 02, January). Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center, <http://www.gov.tr>.

Turkish references can also be given directly in Turkish. For such references please use Turkish characters.

Equations

Please submit mathematical symbols and formulae as editable text and not as images. Use the equation editor or MathType for equations. Equation numbers should appear in parentheses at the right-hand side of the equations and be numbered consecutively. For Greek or other non-Roman letters, identify the symbol in words in the left-hand margin just below the equation the first time it is used. In addition, the meaning of symbols used in equations should be given below the equations. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of “e” should be denoted by “(exp)”. Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller characters (e.g. I_d , x_2). Instead of a square-root symbol, indices of 0.5 should be used (i.e., $\sigma_{mass} = \sigma_{c0.5}$). For the multiplication sign do not use any symbol, however, if necessary, the symbol “*” can be preferred (i.e., $y = 5 * 10^{-3}$). Please use “/” for division instead of a horizontal line between the numerator and denominator. In the expression of chemical reactions, ions should be given as Ca^{2+} and CO_3^{2-} instead of Ca^{++} and CO_3^{--} . In the text, equations should be referred to as equations (1, 2, etc.).

TABLE and FIGURES

Tables and figures should be embedded in the text, with their captions. For tables and figures, use Times New Roman, font size 10. Under the Paragraph tab, ensure that the indentation is as follows; before and after 0 nk and spacing single. Tables and figures should be left aligned, and the text wrapping feature should be turned off. Tables and figures should be arranged to fit in a single (7.5 cm-width) or double (16 cm-width) column of the Journal.

Tables

Tables with their captions should not exceed the printed area of the page (16 x 22 cm) and be numbered consecutively. Both Turkish and English captions should appear at the top of a table (do not print table captions on a separate sheet). If the manuscript is written in Turkish, the English title in italics should follow the Turkish title. For manuscripts in English, a Turkish title should

appear below the English title in italics. They should begin with “Table 1.” etc. Tables should be referred to as Table 1 or Tables 1 and 2 (if more than one table is referred to). Tables can be written in a font size smaller than that of the text (9 or 10 points). Tables should be arranged to fit a single column (7.5 cm wide) or a double column (16 cm wide). No vertical rules should be used. Horizontal rules should only be used at the top and bottom of the tables, and to separate headings and numbers listed in the tables (Please check the previous issues of the Journal). Tables should not duplicate results presented elsewhere in the manuscript (e.g. in graphs). Place any table notes below the table body.

Figures

All figures such as drawings, graphics, and photographs should be given in high-quality printed form under the title of “Figure” and numbered in the order in which they are mentioned in the text. The rules suggested below should be taken into account in drawing, graphic and photographic formats.

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please ‘save as’ or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as ‘graphics’.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi. TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Figure captions should be written under the figures, and figure captions should be prepared in both Turkish and English, similar to the format stated above for tables. The largest size for figures should be 16 cm (width) x 22 cm (length), including the figure title. In particular, maps, drawings, and photographs related to the area should not be used with a numerical scale (1:25000, etc.), and should be given in a linear scale suitable for the metric system. A north arrow should be shown on maps. Regional maps may include National Grid or latitude/longitude numbers where appropriate. Map legend should be given on the figure, not in the figure caption. Photographs, line drawings, or combinations may be grouped as figure parts (a), (b), etc. It is preferred that these are mounted.

