

## Bazaltlarda olivin serpantinleşmesinin tek eksenli basınç dayanımına ve görünür gözenekliliğe etkisi

*The effect of olivine serpentinization on uniaxial compressive strength and apparent porosity in basalts*

Kadir KARAMAN\*<sup>1</sup> , Hasan KOLAYLI<sup>2</sup> , Yaşar ÇAKIR<sup>3</sup> , Erdoğan TİMURKAYNAK<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

<sup>3</sup>Trabzon Valiliği Planlama ve Koordinasyon Daire Başkanlığı, 61130, Trabzon

<sup>4</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 03.08.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 13.11.2023

### Öz

Bu çalışmada, artan serpantinleşme oranı ile kayanın tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve görünür gözenekliliği arasında bir ilişki gözlemlenmiş ve serpantinleşmenin sebepleri araştırılmıştır. Stratigrafik olarak farklı kot seviyelerinde bulunan çalışma alanı, alterasyon zonlarına göre üç sınıfa (A1, M2 ve M3) ayrılmıştır. Ayrıca, petrografik ince kesit çalışmaları ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. İnce kesit analizine göre olivinin serpantinleşmesi A1 bazaltları için %8.25 iken, bu değer M3 bazaltları için %75.5'tir. SEM analizleri, numunelerin özellikle M2 ve M3 bazaltlarında mikro çatlaklar gibi bazı mikro-yapısal kusurlara sahip olduklarını göstermiştir. Serpantinleşme oranı ile UCS ve n (%) arasındaki korelasyon derecesi hem kuru hem de doymun numuneler için 0.96-0.97 arasında değişmiştir. Ancak A1, M2 ve M3'ün ortalama değerleri (serpantinleşme oranı, UCS, n (%)) daha yüksek korelasyon katsayıları ( $r \approx 1$ ) sergilemiştir. M3'ün volkan konisi ve fay hattına yakınlığı ile stratigrafik olarak daha yüksek kotlardaki konumu serpantinleşmeye neden olan önemli faktörler olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Görünür gözeneklilik, Serpantinleşme oranı, Tek eksenli basınç dayanımı

### Abstract

In this study, a relationship was observed between increasing rate of serpentinization with rock's uniaxial compressive strength (UCS) and apparent porosity, and the reasons for serpentinization were investigated. The study area, which is stratigraphically at different elevation levels, is divided into three classes (A1, M2 and M3) according to the alteration zones. Petrographic thin section studies and Scanning Electron Microscopy (SEM) analyses were also carried out. According to the thin section analysis, serpentinization of olivine was obtained 8.25% for A1 basalts, while this value was 75.5% for M3. SEM analyses indicated that the samples have some microstructural defects such as micro-cracks especially in M2 and M3 basalts. The correlation degree between serpentinization rate with UCS and n (%) of basalts varied between 0.96-0.97 both for dry and saturated samples. However, the average values (serpentinization rate, UCS, n (%)) of A1, M2 and M3 exhibited the higher correlation coefficients ( $r \approx 1$ ). The proximity of the volcanic cone and the fault line of M3, as well as its higher stratigraphical elevations, were considered to be the important factors causing serpentinization.

**Keywords:** Apparent porosity, Serpentinization rate, Uniaxial compressive strength

\*Kadir KARAMAN; kadirkaraman@ktu.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Magmatik kayaların petrografik olarak adlandırılmasında doku, mineral tür ve oranları dikkate alınırken, mikro-çatlak, gözenek ve anizotropi gibi özellikleri de mühendislik açısından önem taşır (Franklin, 1970). Ulusay vd. (1994) ve Tuğrul & Zarif (1999) kayaların mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesinde dokusal özelliklerinin etkisinin mineral içeriğinden daha önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, görünür gözeneklilik, doku ve yapısal anizotropi bakımından farklılık arz eden kayaların, dayanım ve deformasyon özelliklerinde de değişikliklere sahip olması beklenebilir (Karaman & Bakhytzhay, 2020). Kayaların yoğunluk ve gözeneklilik gibi fiziksel özellikleri, hacim ve kütlelerinin yanı sıra gözenek ve boşluk özellikleri ile ilişkilidir. Kayaç yoğunluğunun azalması ve görünür gözenekliliğin artması, kayacı oluşturan mineral daneleri ve dokusuna ilave olarak kayaç bünyesindeki boşluk oranındaki artışla da orantılıdır. Dolayısıyla dayanım gibi kayaların bazı önemli mekanik özelliklerinde azalma meydana gelecektir. Kayaların tek eksenli basınç dayanım (UCS) parametresi inşaat, maden ve jeoloji mühendisleri için oldukça önemli olup, geoteknik uygulamalarda (tünel gibi yeraltı açıklık tasarımı ve şev stabilitesi vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Amerikan Test ve Malzemeler Birliği (ASTM) ve Uluslararası Kaya Mekanikliği Birliği (ISRM) kayaç dayanımının tayin edilmesinde tavsiyede bulunmuşlardır. Fakat UCS'nin belirlenmesi geoteknik uygulamaların ön aşamasında nispeten pahalı, zaman alıcı ve zahmetli olabilmektedir (Kaya & Karaman, 2016). Sharo & Al-Tahawa (2019) kayaların UCS ve mühendislik özellikleri arasındaki ilişki yeterince araştırılmış olsa da bazaltlarda hala söz konusu parametreler arasında az sayıda çalışmanın olduğunu vurgulamışlardır.

Bazalt, yerkabuğunun en yaygın volkanik kayası olup, beton yapımında kullanılan agregalar, havaalanı kaplama inşaatı, barajlar ve dalgakıranlar için kaya dolgusu, demiryolu balastı için malzeme dahil olmak üzere çeşitli kaya mühendisliği ve jeomekanik amaçlar için kullanılmıştır (Goodman, 1993; Alemdağ vd. 2008). Bazalt kayaları kullanılarak farklı amaçlar doğrultusunda çok sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır. Gürocak & Kılıç (2005) ayrışmanın Miyosen bazaltlarının jeomekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmış ve bazaltların ayrışma derecesi ile jeomekanik özellikleri arasında iyi derecede doğrusal ilişkiler bulmuşlardır. Juneja & Endait (2017) ultrasonik dalga hızları ile bazaltın fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemiş ve ultrasonik dalga hızının bazaltın yoğunluk ve gözenekliliğinden bağımsız olduğunu iddia etmişlerdir. Murthy vd. (2021) gözenekliliğin vesiküler ve amigdaloidal bazaltların mühendislik özelliklerine etkisini incelemiş ve UPV hariç görünür gözeneklilik  $> 8-10$  olduğunda bazaltlarda UCS, elastisite modülü ve Poisson oranı için iyi düzeyde bir korelasyon elde edildiği gözlemlenmiştir. Youssouf Mahamat Tahir & Karaman (2021) bazaltlar için UCS/PLI oranının (k) değişimini bölgesel ve küresel bir perspektiften incelemiş ve bazaltlar için optimum k oranının  $17 \leq k \leq 20$  aralığında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Liu vd. (2022) heterojenliğin ve numune boyutunun bazaltın mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

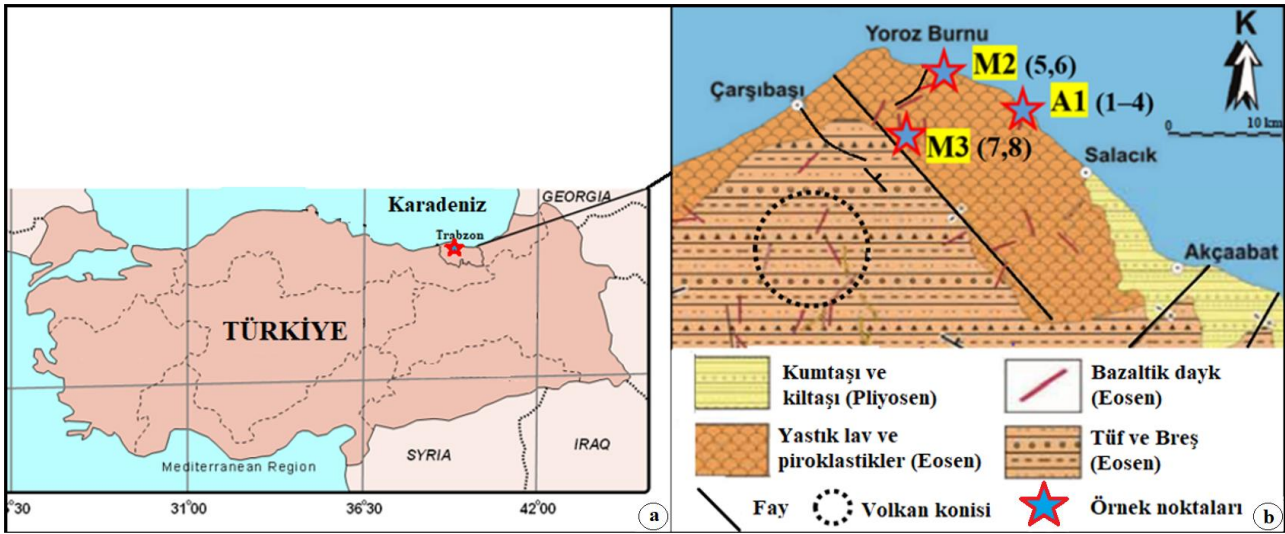
Serpantinleşme, okyanus tabanındaki ultramafik kayaların veya dalma-batma bölgelerinin en yaygın alterasyon sürecidir. Serpantinleşme ile ağırlıkça %10–12 su ilavesi olduğunda kaya yoğunluğu azalır ve hacmi artar. Böylece kaya daha zayıf bir hale gelir (Escartin vd. 2001; Deschamps vd. 2013). Literatürde bir heyelan sahasındaki dünitlerde gözlenen serpantinleşmenin derinlikle, eklem ve faylarla ilişkisi araştırılmıştır (Breuninger vd., 2021).

## 2. Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi

### 2. The geology of the study area and its vicinity

Çalışmanın konusu bazaltlar, Akçaabat (Trabzon), Akçakale-Mersin mahalle sınırları içinde 3 ayrı alanda yer almaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde yastık yapılu bazaltlar, bazaltik dayklar ve silller ile bazaltik piroklastik ürünler bulunmaktadır. Bazaltlar Eosen yaşlı olup, yine aynı yaşlı piroklastitler içinde prizmatik dayk şeklinde bulunmaktadır. Daykların kalınlığı 12-15 metre arasında olup her birinin yayılım alanı 1 hektardan fazladır. Çalışılan numunelere ait 3 farklı lokasyon; Akçakale 1 (A-1), Mersin 2 (M-2), Mersin 3 (M-3) şeklindedir (Şekil 1). Fay, volkan konisi ve dayk gibi tektonik unsurların çalışma sahası ve çevresinde yer aldığı görülmektedir. Bu çalışmada aynı sahanın farklı bölgelerinden alınan ve eş/çok yakın mineralojik içeriğe sahip bazalt örneklerinin görünür gözeneklilik ve dayanım değerlerinde önemli farklılık gözlenmiştir. Literatüre katkı sağlamak amacıyla örnek noktalarının jeolojik ve tektonik özellikleri ile bazalt örneklerinin petrografik ince kesit ve SEM analizleri yapılarak farklılığın nedenleri çok yönlü olarak ele alınmıştır. Literatür

incelendiğinde bazaltlar üzerinde çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen olivinlerdeki serpantinleşme oranının mühendislik özelliklerine etkisi üzerine çalışmaya rastlanmamıştır.

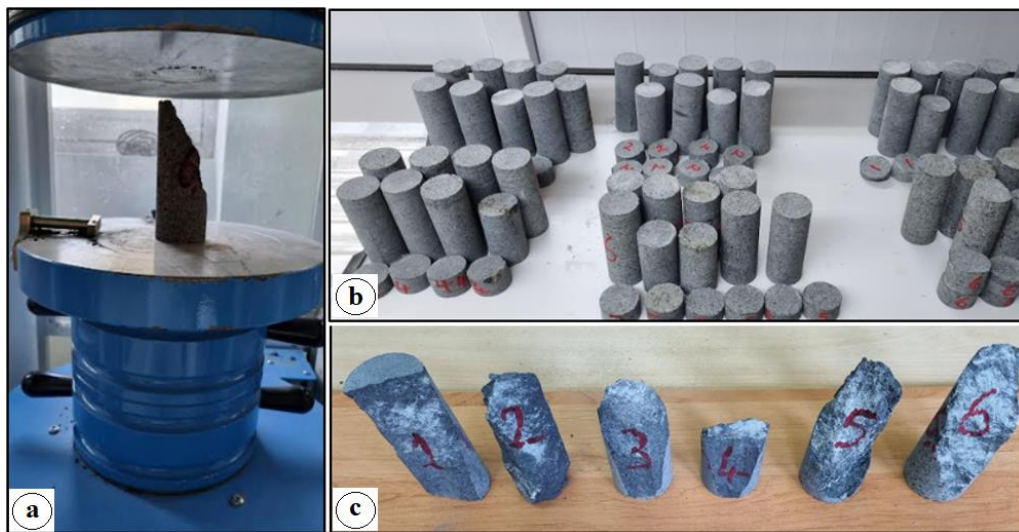


**Şekil 1.** Çalışma sahasının yer bulduru (a) ve jeolojik haritası (b) (Yücel vd., 2014'ten değiştirilmiştir)  
**Figure 1.** Location (a) and geological map of the study area (b) (modified from Yücel et al., 2014)

### 3. Deneysel çalışmalar ve yöntem

#### 3. Experimental studies and method

Deneysel çalışmalarda kullanılan karot numuneleri (NX: 54,7 mm), karot alma makinesi kullanılarak sahanın 3 farklı noktasından getirilen 8 farklı kaya bloklarından alınmıştır. Karot numunelerinin uçları düz, taşlanmış ve birbirine paralel hale getirilmiştir. Ayrıca, karot numunelerin kesilen uç yüzleri,  $\pm 0,02$  mm hassasiyetinde olacak şekilde düzeltilmiş ve komparatör ile düzgünlüğü test edilmiştir. Makroskopik bir incelemenin ardından, deneysel test için yalnızca düzgün ve görünür eklem içermeyen numuneler kullanılmıştır. Deneyler kuru ve doymun koşullar altında gerçekleştirilmiştir. NX çaplı (5.47 cm) ve boy/çap (L/D) oranı 2.5 olan karot örnekler laboratuvarında tek eksenli basınç dayanımı (UCS) deneylerinde kullanılmıştır. Bilgisayar kontrollü hidrolik pres makinasıyla yapılan deneylerde örnek yenilene kadar yükleme hızı 0.75 MPa/s olarak sabit tutulmuştur. Deneylerde her bazalt bloğu için kuru ve doymun durumda 10'ar adet karot olmak üzere toplam 80 adet örnek kullanılmış ve her bir kaya bloğu için 5'er adet karottan elde edilen UCS değerlerinin ortalaması alınarak kaya dayanımı belirlenmiştir (ISRM, 2007).



**Şekil 2.** UCS deney aleti (a), deneyler için hazırlanan karot örnekleri (b), deneye tabi tutulan bazı örnekler (c)  
**Figure 2.** UCS test instrument (a) core samples prepared for experiments (b), some specimens subjected to test (c)

UCS deneyi için kullanılan karot numuneleri aynı zamanda görünür gözeneklilik (% n) tayini için de kullanılmıştır. Görünür gözeneklilik ölçümlerinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$\text{Görünür boşluk hacmi (V}_b\text{), cm}^3 = (M_D - M_K) \quad (1)$$

$$\text{Görünür gözeneklilik (\%n)} = V_b / V_T \times 100 \quad (2)$$

Burada;  $M_D$  = doymun kütle (gr),  $M_K$  = kuru kütle (gr) ve  $V_T$  = toplam hacimdir.

### 3.1. İstatistiksel değerlendirmeler

#### 3.1. Statistical evaluations

Korelasyon analizi, bir değişkenin iki veya daha fazla değişken ile olan ilişkisini test etmek, varsa bu ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılan istatistiksel yöntemdir (Alemdağ & Gürocak, 2011; Dağ, 2018; Gültekin & Dağ, 2023). Bu çalışmada, serpantinleşme oranının bazaltların tek eksenli basınç dayanımı ve görünür gözeneklilik değerleri ile ilişkisi korelasyon analizi ile test edilmiştir. Ayrıca verilere hem t-testi uygulanmış hem de belirlenen korelasyon katsayıları Pearson'un kritik r değerleri ile karşılaştırılmıştır. t testi ile korelasyon katsayısının anlamlılığı 0.95 anlamlılık düzeyinde ve n-2 serbestlik derecesinde (3) nolu eşitlik kullanılarak test edilmiştir.

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (3)$$

Burada; r = korelasyon katsayısı ve n = örnek sayısıdır.

## 4. Bulgular

### 4. Results

Tablo 1 incelendiğinde görünür gözeneklilik ve UCS değerlerinin A1, M2 ve M3 bölgeleri için oldukça farklı olduğu ancak kendi içerisinde ise genel olarak değerlerin özellikle A1 bazaltlarında birbirine yakın olduğu görülmüştür. Doymun ve kuru dayanım değerleri arasındaki farkın M2 ve M3 bazaltlarında daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca görünür gözeneklilik değerlerinin artmasıyla dayanımın düştüğü gözlenmiş ve bunun nedeni araştırılmıştır.

**Tablo 1.** Bazaltların dayanım ve görünür gözeneklilik değerleri  
*Table 1. Strength and apparent porosity values of basalts*

Kaya kodu	Lokasyon	UCS <sub>Kuru</sub> (MPa)	UCS <sub>Doymun</sub> (MPa)	n (%)
1	A1	167	145	0.65
2	A1	184	130	0.66
3	A1	185	132	0.84
4	A1	180	150	0.75
5	M2	139	69	2.48
6	M2	100	56	3.11
7	M3	60	33	4.22
8	M3	51	25	5.29

### 4.1. Petrografik ince kesit analizleri

#### 4.1. Petrographic thin section analyses

Örnekler 3 farklı bölgeden alınmıştır. 1' den 4' e kadar olanlar birinci bölgeye (A1), 5 ve 6 ikinci bölgeye (M2), 7 ve 8 nolu örnekler üçüncü bölgeye (M3) aittir. Deney yapılan tüm kayaçlar olivin ojit bazalt karakterli olup, mikrogrenü-mikrolitik porfirik dokuya sahiptirler. Primer olarak labradorit, ojit, biyotit, olivin ve opak (magnetit) minerallerden oluşmaktadır. Birinci bölge bazaltlarında hacimsel olarak labradorit %47-50, ojit %25-28, olivin %18-20, biyotit %2-3, gözeneklilik %1-2 aralığındadır. Olivinlerde serpantinleşme oranı %5-15 aralığındadır. İkinci bölge bazaltlarında labradorit %46-48, ojit %26-27, olivin %19-20, biyotit %3, gözeneklilik %2 aralığındadır. Olivinlerin serpantinleşme oranları %15-35 aralığındadır. Üçüncü bölge

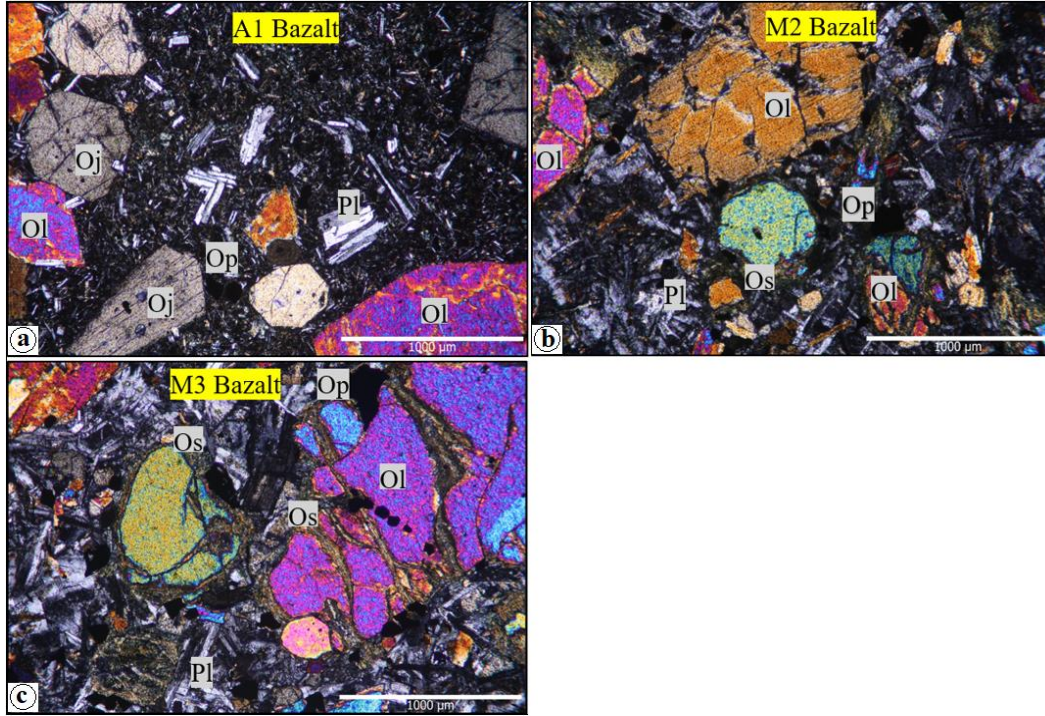


bazaltlarında labradorit %46-47, ojit %27-28, olivin %19-20, biyotit %2-3, gözeneklilik %2 ve olivinlerin serpantinleşme oranı en yüksek olup %70-80 düzeyindedir. Her üç ayrı bölgedeki bazaltların mikrogrenü-mikrolitik hamuru içerisinde mevcut olivinlerin serpantinleşme oranı toplam kayadaki serpantinleşme oranına yaklaşık eşittir. A1, M2 ve M3 bazaltlarına ait ortalama mineral yüzdeleri ve serpantinleşme oranları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde mineral içeriği olarak üç sahanın bazaltlarında önemli bir değişiklik görülmemiştir. Ancak, olivin mineralinin serpantinleşme oranlarının üç saha için birbirinden oldukça farklı olduğu yapılan ince kesit analizlerinde ortaya çıkmıştır. Söz konusu dayanım ve görünür gözeneklilik değerlerindeki değişime neden olan en önemli faktörün artan serpantinleşme oranı olduğu kanaatine varılmıştır.

**Tablo 2.** Bazaltların ince kesit analiz sonuçları  
*Table 2. Thin section analysis results of basalts*

Mineraller	Ortalama mineral içeriği (%)		
	A1	M2	M3
Labradorit	48.5	47	46.5
Ojit	26.25	25.5	27.5
Opak	2.5	3	2
Olivin	19	19.5	19.5
Biyotit	2.25	3	2.5
Boşluk	1.5	2	2
Os	8.25	24	75.5

Os: Olivinin serpantinleşme oranı

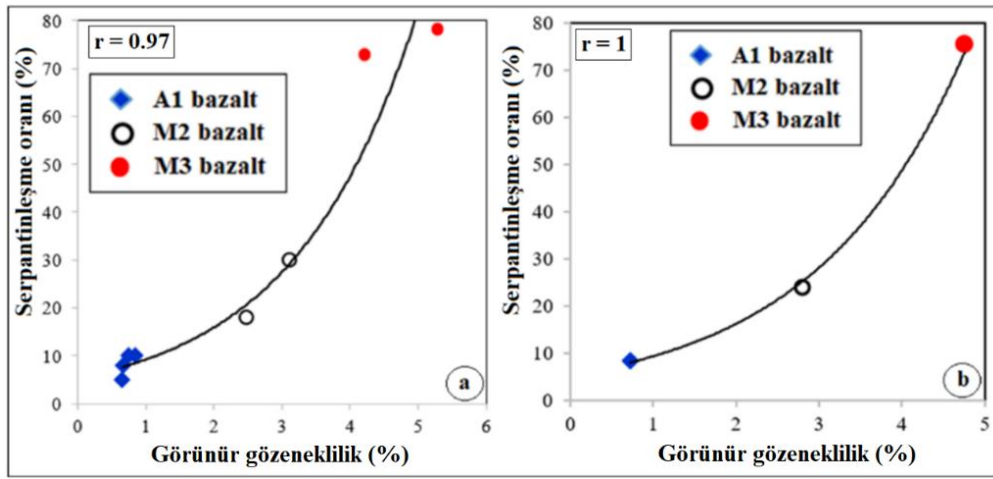


**Şekil 3.** Bazaltların mikroskop görüntüleri, A1 (a), M2 (b) ve M3 (c), Pl: Plajiyoklaz, Ol: Olivin, Oj: Ojit, Op: Opak mineral, Os: Olivinin serpantinleşmesi, çift nikol  
*Figure 3. Microscopic images of basalts, A1 (a), M2 (b) ve M3 (c), Pl: Plagioclase, Ol: Olivine, Oj: Augite, Op: Opaque mineral, Os: Serpentinization of olivine, cross-polarized light*

#### 4.2. Parametreler arasındaki korelasyon analizleri

##### 4.2. Correlation analyses between parameters

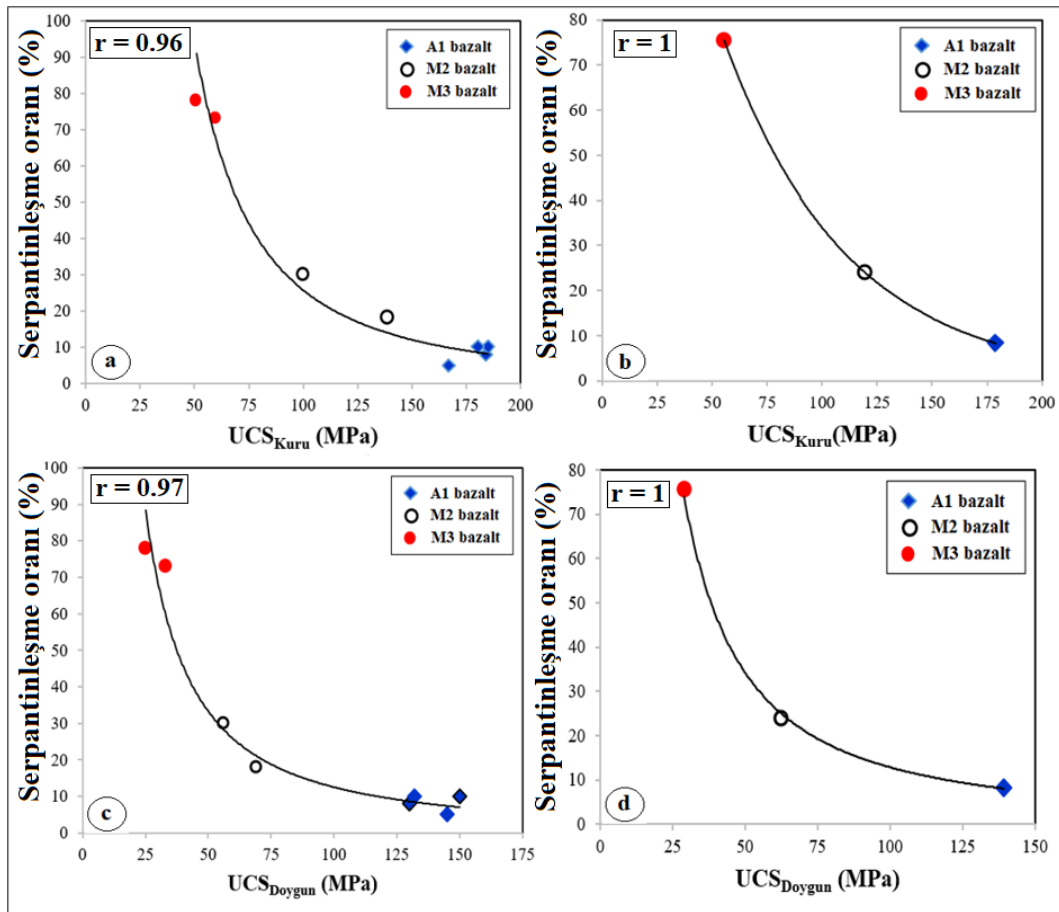
Serpantinleşme oranı ve görünür gözeneklilik değerleri arasındaki ilişki bütün kayalar için (Şekil 4a) ve üç saha için ortalama değerlere göre (Şekil 4b) araştırılmıştır. Grafiklere göre serpantinleşme oranı arttıkça görünür gözeneklilik değerleri de artmıştır.



Şekil 4. Serpantinleşme oranı ve görünür gözeneklilik arasındaki ilişki, bütün örnekler (a), ortalama değerler (b)

Figure 4. The relationship between the rate of serpentinization and the apparent porosity, all samples (a), average values (b)

Serpantinleşme oranı ve dayanım değerleri arasındaki ilişki grafikleri kuru ve doymun durumdaki bütün kayalar için (Şekil 5a ve 5c) ve üç saha için ortalama değerlere göre (Şekil 5b ve 5d) oluşturulmuştur.



Şekil 5. Serpantinleşme oranı ve dayanım değerleri arasındaki ilişki; serpantinleşme oranı ve UCS<sub>Kuru</sub> grafiği; bütün kayalar için (a), ortalama değerler için (b), serpantinleşme oranı ve UCS<sub>Daygun</sub> grafiği; bütün kayalar için (c), ortalama değerler için (d)

Figure 5. The relationship between the rate of serpentinization and strength values; serpentinization rate and UCS<sub>dry</sub> graph; for all rocks (a), mean values (b), rate of serpentinization and UCS<sub>Saturated</sub> graph; for all rocks (c), for mean values (d)

Serpantinleşme oranı arttıkça bazaltlarda hem kuru hem de doymun durumda dayanım değerlerinde önemli miktarda düşüş görülmüştür. Bütün kayaçların dikkate alındığı 5a ve 5c'deki grafiklerde elde edilen korelasyon katsayısı değerleri kuru örneklerde 0.96 iken doymun örneklerde 0.97 olarak elde edilmiştir. Ortalama değerler dikkate alındığında ise  $r$  değerleri yaklaşık 1'e yükselmektedir. Serpantinleşme oranı ile bazaltlardaki dayanım değerleri arasında çok yüksek bir ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır. Grafiklerdeki bazalt grupları (A1, M2 ve M3) ayrı ayrı incelendiğinde, A1 bazaltlarında serpantinleşme oranı ve UCS değerleri arasında ilişki gözlenmemiştir. Bu durumun A1 bazaltlarının taze olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü, aynı sahaya ait aynı tür kayaçların mühendislik özellikleri genellikle birbirine yakın çıktığından yüksek korelasyon elde etmek zor olmaktadır. Ayrıca, Tablo 1 dikkate alındığında A1 bazaltlarına ait görünür gözeneklilik değerlerinin %1'in altında olduğu anlaşılmaktadır.

Korelasyon katsayısının anlamlı olabilmesi için 3 nolu eşitlikten hesaplanan  $t$  değerinin tablodan belirlenen  $t$  değerinden büyük olması gerekmektedir. Diğer yöntemde ise, değişkenlere ilişkin korelasyon katsayısı değerinin ( $r$ ), Pearson korelasyon katsayısına ait kritik  $r$  değerinden büyük olması gerekmektedir (Tüysüz & Yaylalı, 2005; Alemdağ & Gürocak, 2011; Alkan & Dağ, 2018). Bu çalışmada bütün kayaçlar (8 adet) için yapılan korelasyon analizlerinin istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadıkları araştırılmıştır. Tablo 3 incelendiğinde hesaplanan  $t$  değerlerinin tabloda belirlenen  $t$  değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, değişkenlere ait korelasyon katsayısı Pearson korelasyon katsayısına ait kritik  $r$  değerinden büyüktür. Dolayısıyla, Serpantinleşme oranı ile görünür gözeneklilik,  $UCS_{kuru}$  ve  $UCS_{doymun}$  parametreleri arasında yapılan korelasyon analizleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

**Tablo 3.** Korelasyon analizinde kullanılan veriler  
*Table 3. Data used in the correlation analysis*

Korelasyon ilişkisi	Örnek sayısı	Korelasyon katsayısı, $r$	Pearson kritik $r$	$t_{hesap}$	$t_{tablo}$
Serpantinleşme oranı ve görünür gözeneklilik	8	0.97	0.707	9.69	2.36
Serpantinleşme oranı ve $UCS_{kuru}$	8	0.96	0.707	8.31	2.36
Serpantinleşme oranı ve $UCS_{doymun}$	8	0.97	0.707	10.68	2.36

Bazaltlara ait SEM görüntüleri A1, M2 ve M3 için Şekil 6'da verilmiştir. Mikro çatlakların özellikle M2 ve M3 bazaltlarında yaygın olduğu görülmektedir. SEM analizleri, A1 bazaltlarından elde edilen yüksek dayanım ve düşük görünür gözeneklilik özelliklerini mikro çatlakların görünmemesinden dolayı desteklemiştir. Benzer şekilde M3 bazaltlarının yüksek görünür gözeneklilik ve düşük dayanım özelliklerini mikro çatlak yapılarının fazla olması anlamında doğrulamıştır. Ancak, mikro çatlak oranı arttıkça serpantinleşme oranında artış gözlenmiştir.

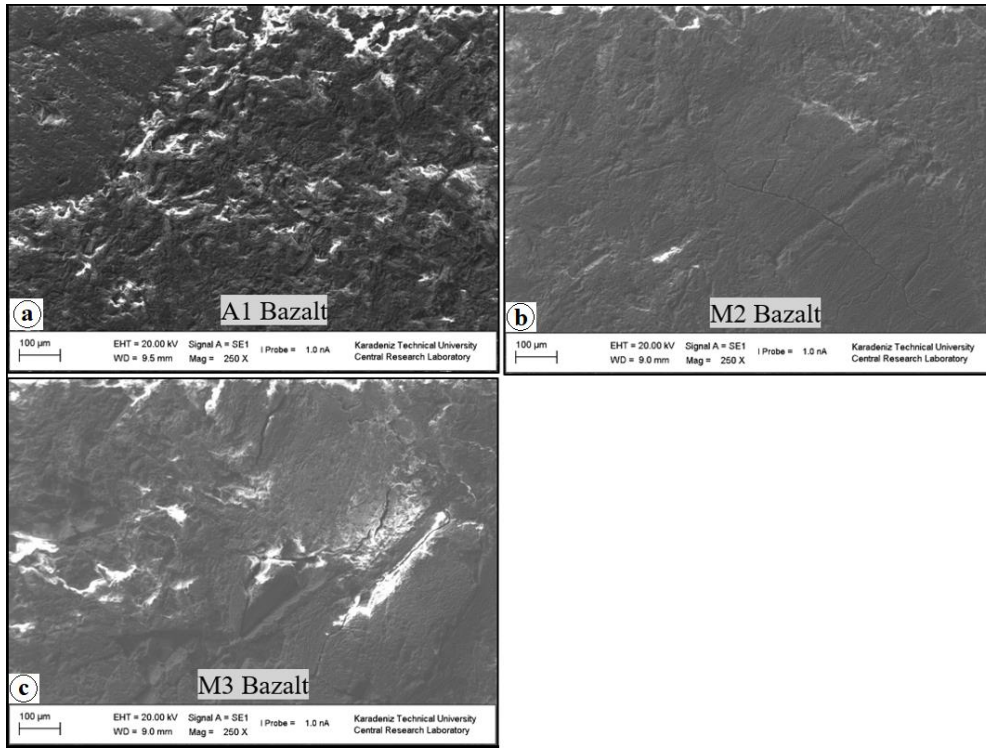
## 5. Tartışma

### 5. Discussion

Karaman & Kesimal (2015) kaya türünün aynı litolojiye sahip olması durumunda mühendislik özellikleri ile kayaçların  $n < \%1$  değerleri arasında anlamlı bir ilişki elde edilebilmesinin zor olduğunu bildirmiştir. Kahraman vd. (2005)  $n > \%1$  ve  $n < \%1$  için farklı türden kayalarda dayanım nokta yükü indeksi arasındaki ilişkiyi irdelemiş ve  $n > \%1$  olan örneklerde daha yüksek korelasyon katsayısı elde etmişlerdir. Kılıç & Teymen (2008) parametreler arasındaki ilişkilerin yüksek bir korelasyon değerlerine sahip olmasına karşın, düşük görünür gözenekliliğe ( $< \%2$ ) sahip kayalar için uygun olmayabileceğine dikkat çekmişlerdir. Bu çalışmada,  $n < \%1$  olan bazaltlarda (A1) UCS değerleriyle serpantinleşme oranı arasında ilişki gözlenmemiş olup literatürle uyumlu çıkmıştır.  $n > \%2$  olan aynı sahadan alınan bazaltlara (M2 ve M3) ait veriler analizlerdeki korelasyon katsayı değerlerini yükseltmiştir.

Diamantis vd. (2016) ultramafik kayaçlarda üç eksenli sıkışma dayanım parametreleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı, yanal basınç vb.) ile fiziksel, dinamik ve mekanik özellikler arasında korelasyon analizleri yapmışlardır. Bu kapsamda serpantinleşme oranı % 3 ila % 92 arasında değişen kayaçlar kullanmışlardır.





**Şekil 6.** Bazaltların SEM görüntüleri; A1 bazalt (a), M2 bazalt (b), M3 bazalt (c)  
**Figure 6.** SEM images of basalts; A1 basalt (a), M2 basalt (b), M3 basalt (c)

Yazarlar, serpantinleşme oranı ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı arasında korelasyon analizleri yapmışlar ve yüksek derecede korelasyon katsayıları ( $R^2=0.86-0.93$ ) elde etmişlerdir. [Giannakopoulou vd. \(2018\)](#) ofiyolit kompleksine ait, lertzolit, harzburjit ve dunit içeren peridotitlerde düşük ila orta oranda serpantinleşme ve deformasyon gözlemlenmiştir. Yazarlar serpantin yüzdesi ile kaya dayanımı arasında orta derecede bir ilişki ( $R^2=0.62$ ) bulmuşlardır.

Bu çalışmada, bazaltların dayanımına ve görünür gözenekliliğine etki eden en önemli faktörün olivinlerin serpantinleşmesi olduğu görülmüştür. Serpantinleşme kayaçların iç genişlemesine neden olduğundan, meydana gelen basınç nedeniyle özellikle M2 ve M3 bazaltlarında mikro çatlakların geliştiği düşünülmektedir. Şekil 1b'de çalışma sahasının jeolojik haritası incelendiğinde çalışma sahası yakın civarında bir volkan konisi ve 2 adet fay bulunmaktadır. Bunlar alterasyondan sorumlu başlıca jeolojik unsurlar olarak görülmüştür. Volkan konisine en yakın (< 1 km) M3 grubu bazaltlar, en uzak (10 km) A1 grubu bazaltlardır. Ayrıca M3 bazaltlarının güney ve güney batı yönlerinde farklı büyüklüklerde (~ 4–20 km) faylar mevcuttur. M2 grubu bazaltlar, fay konağına yakın olmakla birlikte, M3 grubuna oranla volkan konisinden daha uzaktadır. A1 grubu bazaltlar hem volkan konisinden ve hem de faylardan daha uzak alanda yer almaktadır. Dolayısıyla volkan konisi ve faylardan etkileşim oranları çokluk sırasına göre M3, M2 ve A1 şeklindedir. Ayrıca stratigrafik olarak M3 örneklerinin alındığı bazalt sahası en üstte, M2 örneklerinin alındığı bazalt sahası daha altta ve A1 örneklerinin alındığı bazalt sahası en alt seviyede yer almaktadır. Bu durumun yüzeysel alterasyon da etkili olabileceği kanaatine varılmıştır.

## 6. Sonuçlar

### 6. Conclusions

Bu çalışmada, Akçaabat (Trabzon), Akçakale-Mersin mahalle sınırları içinde 3 ayrı alanda yer alan serpantinleşme oranı değişken bazaltlar, dayanım ve görünür gözeneklilik değerlerindeki değişimi değerlendirmek için seçilmiştir. İnce kesit analizleri, olivinin serpantinleşmesinin A1, M2 ve M3 bazaltları için sırasıyla ortalama % 8.25, % 24 ve % 75.5 olduğunu göstermiştir. Test sonuçları, olivinin yüksek serpantinleşmesi ve buna bağlı gelişen mikro çatlak ve görünür gözenekliliğin M3 bazaltlarının dayanımını hem doymun hem de kuru durum için büyük ölçüde düşürdüğünü göstermiştir. Serpantinleşme kayaçların iç genişlemesine neden olacağından oluşan basınç nedeniyle özellikle M2 ve M3 bazaltlarında mikro çatlakların geliştiği düşünülmektedir. Serpantinleşme oranı ile UCS ve görünür gözeneklilik arasındaki korelasyon



derecesi kuru ve doymun numuneler için 0.96-0.97 arasında değişmiştir. Ancak A1, M2 ve M3'ün ortalama değerleri (serpantinleşme oranı, UCS, n (%)) daha yüksek korelasyon katsayıları ( $r \approx 1$ ) sergilemiştir. Bu çalışmada kullanılan bazaltlarda birbirinden oldukça farklı serpantinleşme oranı görülmüştür. Özellikle M3 bazaltlarındaki serpantinleşmeye volkan konisi ile fay hattına yakınlık ve M3'ün stratigrafik olarak daha yüksek kotlarda bulunmasının neden olabileceği düşünülmüştür.

### **Teşekkür**

#### *Acknowledgement*

Yazarlar, SEM analizlerindeki yardımları için Öğr. Gör. Ümit ÖZSANDIK'a teşekkür ederler.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Kadir KARAMAN: Makale yazımı, grafik çizimi ve sonuçların yorumlanması, Hasan KOLAYLI: Mineralojik ve petrografik analiz, örneklerin temini ve sahanın jeolojik yorumu, Yaşar ÇAKIR: Örnek yerlerinin tespiti ve genel jeoloji, Erdoğan TİMURKAYNAK: Laboratuvar çalışmaları (UCS ve görünür gözeneklilik deneyleri).

### **Etik beyanı**

#### *Declaration of ethical code*

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

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### **Çıkar çatışması beyanı**

#### *Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Kaynaklar**

#### *References*

- Alemdag, S., Gurocak, Z., Solanki, P., & Zaman, M. (2008). Estimation of bearing capacity of basalts at the Atasu dam site, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 79–85. <https://doi.org/10.1007/s10064-007-0112-3>.
- Alemdağ, S., & Gürocak, Z. (2011). Üst Kretase yaşlı bazaltlarda (Trabzon/Türkiye) birleşik ayrışma indeksi (UAI) ile fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler arasındaki ilişkiler. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 1-10.
- Alkan, F., & Dağ, S. (2018). Gümüşhane yöresinde yüzeylenen magmatik kökenli bazı kayaların jeomekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(2), 203–216. <https://doi.org/10.17482/uumfd.409184>.
- Breuninger, T., Menschik, B., Demharter, A., Gamperl, M., & Thuro, K. (2021). Investigation of critical geotechnical, petrological and mineralogical parameters for landslides in deeply weathered dunite rock (Medellin, Colombia). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11141. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111141>.
- Dağ, S. (2018). Determining the degree of saturation of rocks as a function of time a case study from mountainous area of Turkey. *Journal of Mountain Science*, 15(10), 2307–2319. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5055-6>.
- Deschamps, F., Godard, M., Guillot, S., & Hattori, K. (2013). Geochemistry of subduction zone serpentinites: A review. *Lithos*, 178, 96–127. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.05.019>.

- Diamantis, K., Exarhakos, G., Migiros, G., & Gartzos, E. (2016). Evaluating the triaxial characteristics of ultramafic rocks from central Greece using the physical, dynamic and mechanical properties. *Open Access Library Journal*, 3(12), 1-20. <https://doi.org/10.4236/oalib.1103214>.
- Escartin, J., Hirth, G., & Evans, B. (2001). Strength of slightly serpentinized peridotites: Implications for the tectonics of oceanic lithosphere. *Geology*, 29, 1023–1026. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<1023:SOSSPI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<1023:SOSSPI>2.0.CO;2)
- Franklin, J.A. (1970). *Classification of rock according to its mechanical properties* [Ph.D. Dissertation, University of London Imperial College, London, U.K.]
- Giannakopoulou, P.P., Petronias, P., Rogkala, A., Tsikouras, B., Stamatis, P.M., Pomonis, P., & Hatzipanagiotou, K. (2018). The influence of the mineralogical composition of ultramafic rocks on their engineering performance: a case study from the Veria-Naousa and Gerania Ophiolite Complexes (Greece). *Geosciences*, 8, 251. <https://doi.org/10.3390/geosciences8070251>.
- Goodman, R.E. 1993. *Engineering geology: rock in engineering construction*. Wiley, New York. 412 pp.
- Gurocak, Z., & Kılıç, R. (2005). Effect of weathering on the geomechanical properties of the Miocene basalts in Malatya, Eastern Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64, 373–381. <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0005-2>.
- Gültekin, Z., & Dağ, S. (2023). Investigation of changes in geomechanical properties of sandstones under different saturation and anisotropy conditions example from Gümüşhane NE Türkiye. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 616–631. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1274987>.
- ISRM. (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods. International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, (pp. 628). Ankara, Turkey.
- Juneja, A., & Endait, M. (2017). Laboratory measurement of elastic waves in basalt rock. *Measurement*, 103, 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.02.040>.
- Kahraman, S., Gunaydin, O., & Fener, M. (2005). The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42(4), 584–589. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2005.02.004>.
- Karaman K. & Kesimal A. (2015). Evaluation of the influence of porosity on the engineering properties of volcanic rocks from the Eastern Black Sea Region: NE Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 557–564. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1217-6>.
- Karaman, K., & Bakhytzhan, A. (2020). Prediction of concrete strength from rock properties at the preliminary design stage. *Geomechanics and Engineering*, 23, 115-125. <https://doi.org/10.12989/gae.2020.23.2.115>.
- Kaya, A., & Karaman, K. (2015). Utilizing the strength conversion factor in estimation of the uniaxial compressive strength from the point load index. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(1), 341–357. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0721-1>.
- Kılıç, A., & Teymen, A. (2008). Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 237–244. <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0128-3>.
- Liu, Z., Zhang, C., Zhang, C., Wang, H., Zhou, H., & Zhou, B. (2022). Effects of amygdale heterogeneity and sample size on the mechanical properties of basalt. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(1), 93-107. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.10.001>.
- Murthy, P.S.K., Gupta, S., Kumar, D., & Dixit, M. (2021). The effect of porosity on engineering properties of vesicular amygdaloidal basalts. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 5(11), 134-137. <https://doi.org/10.33564/IJEAST.2021.v05i11.019>.
- Sharo, A.A. & Al-Tawaha, M.S. (2019). Prediction of engineering properties of basaltic rocks in Jordan. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10(1), 1731-1739. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-0551-6>.

- Tarawneh, K., Amaireh, M., Abdelhadi, N., Titi, A., & Dweirj, M. (2022). Characterization of the physical and mechanical properties of the Harrat Ash Shaam Basalt (HASB)/Northeast Jordan. *Open Journal of Civil Engineering*, 12, 463-475. <https://doi.org/10.4236/ojce.2022.124026>.
- Tuğrul, A., & Zarif I.H. (1999). Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from turkey. *Engineering Geology*, 51, 303-317. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00071-4).
- Tüysüz, N., & Yaylalı, G. (2005). *Jeostatistik kavramlar ve bilgisayarlı uygulamalar*, 1. Baskı, K.T.Ü. Yayınları, Trabzon.
- Ulusay, R., Tureli, K., & Ider, M.H. (1994). Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques. *Engineering Geology*, 38, 135-157.
- Youssof Mahamat Tahir, O., & Karaman, K. (2021). Dönüşüm faktörünü kullanarak nokta yükü dayanım indeksinden bazaltların tek eksenli basınç dayanımının tahmini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1242-1249. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.937826>.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., & Abdioğlu, E. (2014). Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides, northeast Turkey: implications for pre-eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. *Mineralogy and Petrology*, 108, 439-467. <https://doi.org/10.1007/s00710-013-0306-2>.