

# JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

*Journal of Geological Engineering*

*Cilt - Volume 40*

*Sayı - Number 2*

*ISSN 1016 - 9172*

*Aralık / December 2016*



**TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**Chamber of Geological Engineers of Turkey**

## **EDİTÖR / EDITOR**

Tamer TOPAL  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
06531, Ankara  
Tel: 0 312 210 26 90  
Faks: 0 312 210 57 50  
E-Posta: topal@metu.edu.tr

## **TEKNİK EDİTÖR / TECHNICAL EDITOR**

Yavuz KAYA  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

## **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

**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 : Şubat 2017  
Baskı Adedi : 1000

## **Yayın Kurulu / Editorial Board**

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

Jeoloji Mühendisliği Dergisi makale ve dizin özleri  
**SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts, EBSCO ve Cabell**  
uluslararası indeksleri tarafından taranmaktadır.

*Journal of Geological Engineering is indexed and abstracted by  
SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts, EBSCO and Cabell*

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

Hüseyin ALAN	Başkan / President
Yüksel METİN	İkinci Başkan / Vice President
Faruk İLGÜN	Yazman / Secretary
D. Malik BAKIR	Sayman / Treasurer
Canan DEMİRALP	Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Düzyün ESİNA	Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs
Murat AKGÖZ	Yayın Üyesi / Member of Publication

*Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.*

## **İçindekiler / Contents**

### **Makaleler / Articles**

- 123- **Ömer ÜNDÜL, Namık AYSAL**  
**Gökçeada'da Yüzeylenen Andezit ve Riyodasit Bileşimli Kayaların İçyapı Özelliklerinin Dayanım ve Deformasyon Özelliklerine Etkileri**  
*The Effects of Micro-Textural Properties on the Strength and Deformation Characteristics of Rocks with Andesite and Rhyodasite Compositions Exposed in Gökçeada*
- 149- **Mutluhan AKIN, İsmail DİNÇER, Ali ÖZVAN, Vural OYAN, Mücip TAPAN**  
**İgnimbritlerdeki Kılcal Su Emme Özelliğinin Ahlat Selçuklu Mezar Taşlarının Bozunmasındaki Rolü**  
*The Role of Capillary Water Absorption Characteristics of İgnimbrites on the Deterioration of Ahlat Seljuk Tombstones*
- 167- **Murat KARAHAN, Hakan ERSOY, M. Oğuz SÜNNETÇİ, Özge ÖRGEN**  
**Hacimsel Dane Oranının ve Dane Boyutunun Hamurda Kayaların (BIMRock) Dayanımı Üzerindeki Etkisi**  
*The Effect of Volumetric Block Proportion and Grain Size on BIMRock Strength*
- 177- **Orhan ARKOÇ, Tahir Çetin AKINCI, H. Selçuk NOGAY**  
**Yapay Sinir Ağları Yardımı ile Yeraltı Suyunda Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR) Tahmini: Ergene Havzası Doğu Akiferi Örneği**  
*Prediction of Sodium Absorption Ratio (SAR) in Groundwater with the Aid of Artificial Neural Networks: the East Aquifer of Ergene Basin*
- 189- **Orhan ARKOÇ**  
**Application of Water Quality Index with the Aid of Geographic Information System in Eastern Thrace to Assess Groundwater Quality**  
*Doğu Trakya Bölgesi'nde Yeraltı Suyu Kalitesinin Araştırılması Amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımı ile Su Kalite İndeksi Uygulaması*
- 209- **Fatma HOŞ ÇEBİ**  
**Ekizköy (Muğla-Milas) Erken-Orta Miyosen Kömürlerinin Organik Jeokimyası ve Paleoiklim Şartları**  
*Organic Geochemistry and Paleoclimate Conditions of the Early-Middle Miocene Coals at the Ekizköy (Muğla-Milas)*



## Gökçeada'da Yüzeyleyen Andezit ve Riyodasit Bileşimli Kayaların İyapı Özelliklerinin Dayanım ve Deformasyon Özelliklerine Etkileri

*The Effects of Micro-Textural Properties on the Strength and Deformation Characteristics of Rocks with Andesite and Rhyodasite Compositions Exposed in Gökçeada*

Ömer ÜNDÜL<sup>1</sup>, Namık AYSAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar İSTANBUL

Geliş (received) : 21 Haziran (June) 2016

Düzeltilme (revised) : 5 Ekim (October) 2016

Kabul (accepted) : 31 Ekim (October) 2016

### ÖZ

Kayaların iç yapı unsurlarının, fiziksel – mekanik ve elastik özelliklere ve çatlak gelişimine etkileri bilinmektedir. Bu çalışmada; Gökçeada'nın farklı bölgelerinden alınan farklı iç yapı özelliklerine ve bileşenlerine sahip volkanik kayaların mineralojik, petrografik ve mikroyapısal unsurlarının, kayanın fiziksel, elastik ve dayanım özelliklerine etkileri değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, yük altında çatlak gelişim süreçlerinin belirlenmesi için ayrıntılı analizler gerçekleştirilmiştir. Çatlak gelişim süreçleri, mekanik deneylere tabi tutulan örneklerden hazırlanan ince kesitler üzerinde yapılan ayrıntılı çalışmalar ile ortaya konmuştur. Mineralojik ve petrografik incelemelerden elde edilen sayısal veriler ve gözlemler, minerallerin kütlece oranlarının özgül ağırlık ve ateşte kızdırma kaybı (LOI) değerlerini etkilediğini göstermiştir. Bununla birlikte tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve elastik özelliklerin büyük oranda petrografik özelliklere bağlı olduğu anlaşılmıştır. Volkanik kayalarda UCS değerleri, hamurun fenokristallere oranla artmasıyla azalmaktadır. Biyotit mineralinin, tek eksenli sıkışma dayanımını etkileyen tek mineral olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, opak minerallerin ve biyotitin geometrik özelliklerinin, Young modülüne etkilerinin de önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Eksenel yükler altında, çatlak gelişimi fenokristal ve hamur malzemesinin oransal dağılımı ile yakından ilişkilidir. Hamur miktarının artışı ile eksenel kırıkların arttığı gözlenmiştir. Yük etkisi ile gelişen kırıklar altere olmamış fenokristallere gelince yön değiştirmektedir. Böylece eksenel ve makaslama kırıkları fenokristal artışı ile birlikte değişmektedir. Gerilme etkisi ile gelişen kırıkların uygulanan yüke ve konumlarına göre altere olmuş ve opaklaşmış fenokristallerin içine girebileceği de yer yer gözlenmiştir. Ayrıca, UCS deney sonuçlarının ve ince kesitlerin birlikte değerlendirilmesi ile fenokristallerdeki artışın yanal deformasyonda ve dolayısıyla Poisson oranında artış oluşturduğu da belirlenmiştir. Değerlendirilen diğer özelliklerin ise çalışılan kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin zayıf olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çatlak Gelişimi, Elastik Özellikler, Fiziko-Mekanik özellikler, Gökçeada, Volkanik Kayalar

Ö.Ündül

E-posta: oundul@istanbul.edu.tr

**ABSTRACT**

*The onset of dilation and uniaxial compressive strength of rocks are known to be affected by mineralogical, petrographical and microstructural features. In this study, volcanic rock samples with different micro-textural characteristics from different locations in Gökçeada (Turkey) were evaluated considering the effect of mineralogical, petrographical and microstructural features on their physical and mechanical properties. Furthermore, detailed analyses were also used to understand the cracking processes under axial loads. The analyses of the cracking processes were evaluated by using thin sections obtained from the mechanically tested specimens. The results from the quantitative mineralogical and petrographical studies and observations from thin sections revealed that the mineral mass fractions have an effect on the specific gravity and loss-on-ignition (LOI) values. On the other hand, uniaxial compressive strength (UCS) and elastic properties are mostly affected by petrographic variables (e.g., mineral content). The UCS values tend to decrease with a relative increase in the groundmass with respect to the phenocryst content and vice versa. Biotite is the only mineral that influences the UCS individually. Geometric features (e.g., Feret's diameter and perimeter) of opaque minerals and biotite are found to be important constituents influencing the Young's modulus of the rocks. Under axial loads, crack propagation is strongly dependent on the proportional distribution of the phenocryst and groundmass. It is observed that increasing groundmass content leads to predominantly axial cracks. The cracks tend to bend or propagate as a boundary crack when they reach the boundary of an unaltered phenocryst. Thus, axial and shear cracks co-exist with increasing amounts of phenocrysts, which hinder the crack propagation. Occasionally, cracks can penetrate the altered or opaque phenocrysts, depending on the degrees of orientation (with respect to applied load) of the same minerals. Furthermore, the synthesis of the measurements obtained from UCS tests and thin section observations reveals that an increase in the amount of phenocrysts, which promote the formation of more shear cracks in addition to axial cracks, causes an increase in the radial strain and Poisson's ratio. The other factors investigated have minor effects on the physical and mechanical properties of the studied rocks.*

**Keywords:** *Crack Propagation, Elastic Properties, Physico-Mechanical Properties, Gökçeada, Volcanic Rocks.*

**GİRİŞ**

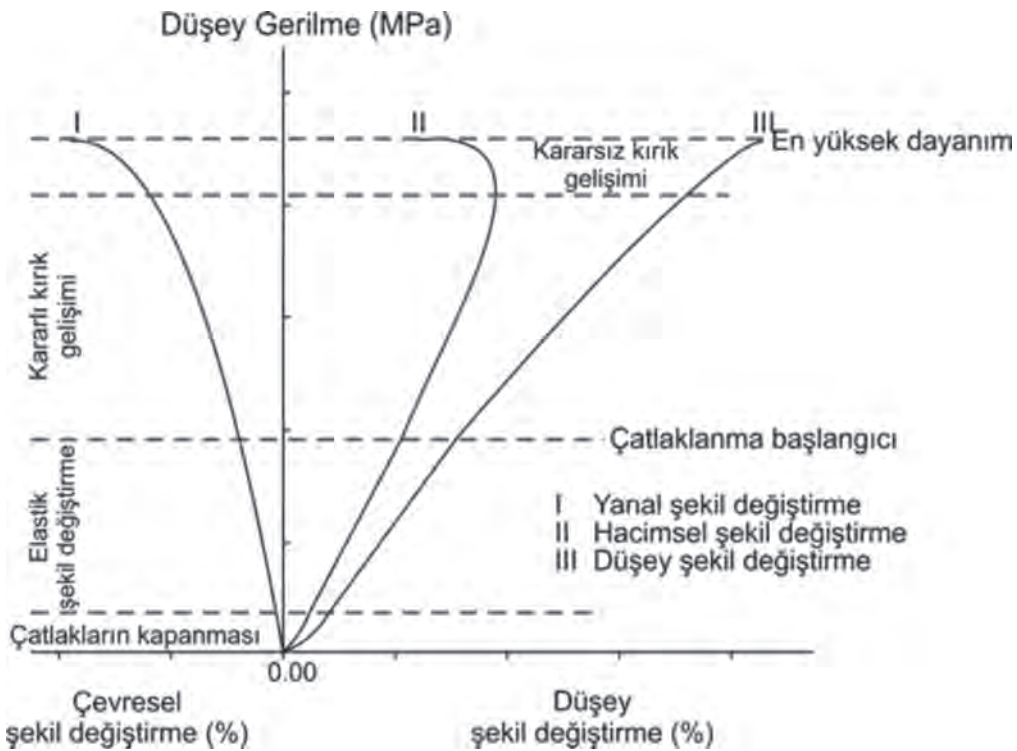
Kayaların yükler altındaki davranışlarının mineralojik bileşim, petrografik ve yapısal özellikler ile yakından ilişkili olduğu bilinmektedir (Přikryl, 2006; Ündül vd., 2015). Bu bağlamda, yük altındaki kayaların davranışlarındaki farklılıkların sebeplerinin ortaya konması, mühendislik çalışmalarında önemli bir yer teşkil etmektedir. Damarlı kayalar

gibi heterojen unsurlar içeren masif kayalarda, davranış farklılıklarının olacağı genel bir bilgidir (Amann vd., 2014). Diğer yandan, kaya dayanımındaki değişiklikler, gözle görülebilecek ölçekte heterojenlik gözlenmeyen ve mineralojik bileşenleri nispeten homojen kayalarda da gözlenmektedir (Eberhardt vd., 1999; Přikryl, 2006). Tapponnier ve Brace (1976), kayanın yenilme süreçlerindeki değişimlerinin kayayı

oluşturan pek çok bileşen tarafından kontrol edildiğini ve kaya içerisindeki en küçük bileşenlerin bile kayanın davranışı üzerinde önemli etkiler yapabileceğini ortaya koymuştur.

Kayaların aksel yükler altındaki davranışları Brace (1964) ve Bieniawski (1967)'den beri bilinmektedir (Şekil 1). Şekil 1'de verildiği gibi, kayaların aksel yükler altındaki yenilme süreci çatlakların kapanması, doğrusal elastik davranış, çatlaklanma başlangıcı, duraylı fissür gelişimi ve duraysız fissürlerin büyüme gelişmesi ile açıklanmaktadır. Çatlak yoğunluğunun kritik değeri aşması durumundan sonra, çatlakların birleşmesiyle kayanın yenilmesi gerçekleşmektedir.

Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri ve en yüksek dayanım değerlerinin tane boyu ile ilişkileri Hatzor ve Palchik (1997) ve Eberhardt vd. (1999) tarafından tartışılmıştır. Nicksiar ve Martin (2013a ve b), ise tane boyutlarındaki heterojenliğin  $\sigma_{CI}$  ve tek aksenli sıkışma dayanımı (UCS) üzerindeki önemini vurgulamıştır. Ayrıca, iç yapıdaki değişikliklerin  $\sigma_{CI}$  ve UCS üzerindeki etkisi ve önemi Nicksiar ve Martin (2013b), Amann vd. (2014) ve Ündül vd. (2015) tarafından değerlendirilmiştir.  $\sigma_{CI}$  ve UCS üzerinde minerallerin tekil etkileri ise Tapponier ve Brace (1976), Räsänen (2004), Lan vd. (2010), Mahabadi vd. (2012) ve Ündül vd. (2015) tarafından vurgulanmıştır.



Şekil 1. Gerilme şekil değiştirme grafiği üzerinde tek aksenli yükler altındaki temel kırılma mekanizmaları (Brace, 1964 ve Bieniawski, 1967'den değiştirilerek).

Figure 1. Stress-strain diagram showing basic fracture mechanisms under uniaxial compression (modified from Brace, 1964 and Bieniawski, 1967).

İç yapının  $\sigma_{C1}$  üzerindeki etkilerinin yanısıra fiziksel özelliklere, tek eksenli sıkışma dayanımına ve diğer mekanik özelliklere etkisinin araştırıldığı pekçok çalışma da bulunmaktadır. Bu çalışmalar genelde, mineral tanelerinin sayımına dayanan modal analizi ve petrografik değişkenlerin tanımlanmasını kapsamaktadır (Ulusay vd., 1994; Tuğrul ve Zarif, 1999; Yılmaz vd., 2011; Gupta ve Sharma, 2012; Yeşiloğlu-Gültekin vd., 2013). Bu ve benzeri çalışmalarda kaya iç yapısındaki heterojenliklerden dolayı çelişen sonuçların ortaya çıktığı da bilinmektedir (Prikryl, 2006). Bu nedenle, nitel incelemelere ek olarak sayısal petrografik incelemeler (Howarth ve Rowlands, 1986; Prikryl, 2001, 2006; Åkesson vd., 2004; Öztürk vd., 2004; Zorlu vd., 2004; Tandon ve Gupta, 2013) ile sayısal mineralojik araştırmalar (Coggan vd., 2013; Amann vd., 2014; Ündül vd., 2015) kaya mekaniği çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır.

Yukarıda verilen deneysel ve sayısal çalışmalar ile iç yapının; kayaların dayanımı, çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri ve fiziksel özelliklerdeki değişimlere etkisi pekçok yönden ele alınmıştır. Ancak mineral tanelerinin türü, farklı minerallerin ve hamur malzemesinin bir aradaki davranışları, bunların oransal dağılımları gibi parametrelerin kaya dayanımı ve çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerine

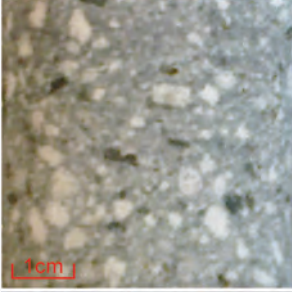
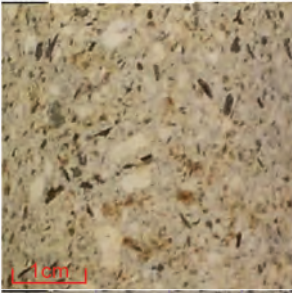
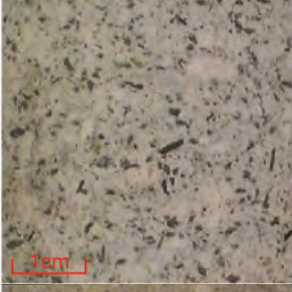
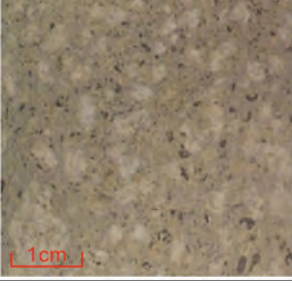
etkileri konularında literatürde eksiklikler bulunmaktadır.

Bu çalışma ile Çanakkale – Gökçeada'da yüzeyleyen ve bölgede Hisarlıdağ volkanikleri adı altında (Akartuna, 1950; Temel ve Çiftçi, 2002; Koral vd., 2009) değerlendirilen volkanik kayaların iç yapıları sayısal olarak tariflenmiş ve bu özelliklerin kayaların dayanımı, çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri ve fiziksel özelliklerine etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmaya konu olan kayalar genel olarak feldspat (çoğunlukla plajioklaz), amfibol, biyotit, nadiren kuvars ve hamurdan oluşmaktadır (Çizelge 1). Hamur genel olarak felsitik karakterli olup, gözle ayırt edilemeyecek kadar ince feldspat ve kuvars tanelerinden oluşmaktadır. Kayalar genel olarak andezit ve riyodasit bileşimindedir.

Araştırma sırasında, tek eksenli sıkışma dayanımı testleri, mineral bileşimlerinin sayısal olarak değerlendirmesine olanak sağlayacak şekilde modal mineralojik analizler, X-ışını kırınım analizleri ve değerlendirmeleri, mekanik deneylerden önce ve sonra sayısal petrografik analizler (tane boyları, mineral ve hamurun alansal dağılımı vb.) gerçekleştirilmiştir.

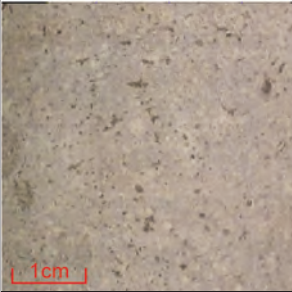
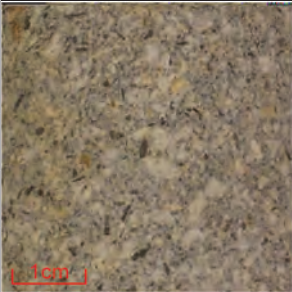

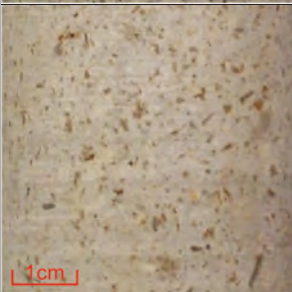
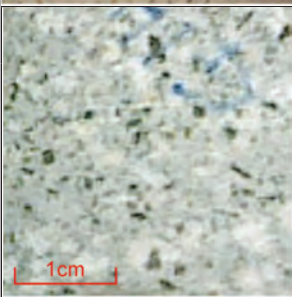


Çizelge 1. Sayısal XRD analiz sonuçları.  
Table 1. Quantitative XRD results.

Örneklerin tipik görüntüsü	Örnekleme Bölgesi	Örnek Nu.	Amfibol (%)	Biyotit (%)	Kil min. (%)	Ortoklaz (%)	Plajiyoklaz (%)	Kuvars (%)	Magnetit (%)
	L1	1	4.2	2.3	1.0	21.9	48.3	13.1	2.7
		2	3.1	2.1	1.5	23.5	47.8	13.0	2.6
		3	4.0	2.1	2.0	22.8	46.4	13.5	2.9
		4	4.9	2.5	1.1	23.5	45.6	13.3	2.8
	L2	5	18.9	1.3	1.2	25.1	26.6	11.9	0.7
		6	18.6	1.4	1.6	24.1	26.9	11.2	0.5
		7	19.4	1.8	1.2	24.4	25	12.1	0.7
		8	17.6	0.5	1.5	24.0	28.9	10.2	0.2
	L3	9	17.1	1.3	1.2	21.9	35.9	14.5	1.8
		10	16.9	0.8	1.4	21.5	36.4	14.3	1.9
		11	15.2	0.5	1.5	21.6	39.4	14.6	1.2
		12	16.1	1.2	1.5	21.2	37.5	14.0	1.7
	L4	13	2.5	0.4	6.50	20.0	51.1	8.9	2.8
		14	2.6	3.1	8.30	19.6	47.4	9.6	2.9
		15	2.0	2.9	8.20	19.6	48.1	9.9	2.9

Ündül, Aysal

Çizelge 1. (devamı)  
Table 1. (cont'd.)

		16	1.30	0.40	11.1	22.0	37.3	22.8	1.5
		17	0.9	0.20	11.9	21.9	37.3	22.5	1.3
	L5	18	1.0	0.30	10.7	23.3	36.6	22.6	0.9
		19	1.2	0.50	10.2	23.2	36.9	23.1	0.9
		20	6.9	1.6	5.4	21.0	40.9	12.0	2.7
		21	6.7	1.8	3.6	22.7	42.3	12.0	2.0
	L6	22	6.7	1.7	4.7	21.6	41.2	11.8	2.6
		23	5.7	1.9	4.0	22.1	41.8	12.4	2.3
		24	6.3	1.9	4.2	21.6	42.7	12.0	2.8
		25	10.1	1.1	4.7	20.7	43.5	14.0	3.0
		26	9.7	3.0	4.6	20.3	43.2	13.8	2.9
	L7	27	8.9	1.6	6.3	20.3	45.9	9.9	3.0
		28	9.6	2.9	4.6	20.7	42.9	13.9	2.9
		29	1.1	0.5	2.0	25.1	42.3	23.3	0.9
		30	1.0	0.9	2.1	26.3	38.2	25.5	0.8
	L8	31	-	-	-	-	-	-	-
		32	-	-	-	-	-	-	-
		33	6.2	2.5	6.5	21.0	37.0	13.8	2.7
		34	14.7	1.7	5.7	17.2	41.0	16.1	1.4
	L9	35	19.5	1.5	7.9	16.3	36.5	12.6	2.2

1-15, 20-28 ve 33-35 arası örnekler andezit bileşimli, 16-19 ve 29-32 arası örnekler riyodasit bileşimindedir.

Kil min.: Klorit, vermikülit ve smektit minerallerinin kütlece oranlarının toplamı

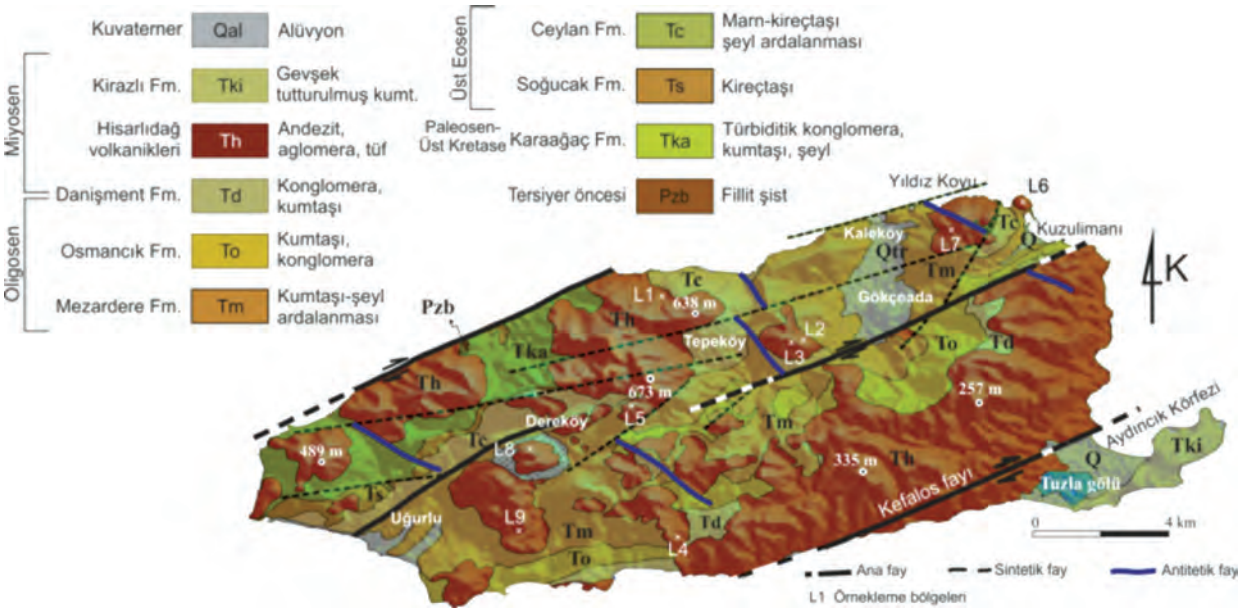
Bu tabloda sadece ana bileşenlere ait kütlece oranların verildiği göz önünde bulundurulmalıdır.

## YÖNTEMLER

### Örneklerin Alınması

Bu çalışma sırasında kullanılan örnekler Gökçeada'nın farklı bölgelerinden (Şekil 2), 50x50x50 cm boyutlu bloklar olarak ayrıştırma etkisinden uzak olacak şekilde, ANON (1995)'e göre taze - az ayrılmış seviyelerden alınmış, gözle görülebilecek boyutta heterojen bir yapı (damar vb.) içermemelerine dikkat edilmiştir. Laboratuvara getirilen bloklardan karot örnekleri, akma yüzeyine dik doğrultuda alınmıştır.

alınarak öğütülmüş ve Bruker AXS D8 marka cihaz ile Co K $\alpha$  radyasyonunda inceleme yapılmıştır. Toz örneklerin 2.5-80° 2 $\theta$  açıları, 1° /dakika ilerleme hızında analiz edilmiştir. DIFFARCplus (Bruker AXS) ve Rietveld analiz programı AutoQuan (GE SEIFERT) yazılımları kullanılarak örneklerin kalitatif ve ardından sayısal mineralojik bileşimleri belirlenmiştir. Burada elde edilen değerler, çalışmanın bundan sonraki kısmında, minerallerin "kütlece oranı" olarak ifade edilecektir. Bunun yanında kızdırma



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Koral vd. 2009'dan değiştirilerek) üzerinde örnek yerlerinin gösterimi.

Figure 2. Geological map of the study area (modified from Koral et al. 2009) showing the sampling locations.

### Sayısal Mineralojik ve Petrografik Analizler

Mekanik deneylerde kullanılan tüm örnekler üzerinde mineralojik bileşimlerin tariflenebilmesi için X-ışını kırınım analizleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan örnekler 0.5 mm boyutunun altına indirildikten sonra, örnekleri temsil edecek şekilde bir kısmı

kaybı (LOI) değerleri örneklerin 1050 C°'de ısıtıldıktan sonraki ağırlık değişimi ile tespit edilmiştir.

Mekanik deneylerde kullanılan bütün örneklerden, deney öncesinde ve sonrasında ince kesitler hazırlanmıştır. Yüklere bağlı kırık gelişiminin izlenebilmesi için ince kesitler

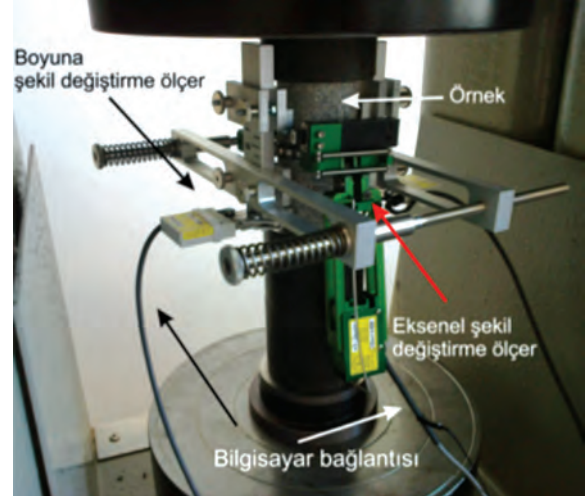
uygulanan yüke paralel olacak şekilde hazırlanmış ve kesit yapımından önce, gerilmelere bağlı kırıkların daha kolay tespit edilebilmesi için yarı akışkan mavi bir sıvı örnekler emdirilmiştir. İnce kesitlere ait dijital görüntüler NIS Elements Görüntüleme yazılımı 4.00'ı kullanan Nikon Digital Sight DS\_U3 sistemi ile elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler ImageJ v1.46r (Rasband, 2012) görüntü analiz programı yardımıyla analiz edilmiştir.

Petrografik çalışmalarda 180 mikrondan büyük mineraller detaylı incelenmiştir. Bu boyuttan küçük mineraller hamura dahil edilmiş olup, bu boyutun altındaki minerallerin homojen olarak benzer boyutlarda olduğu gözlenmiştir. Petrografik incelemeler sırasında incelenen her bir mineral tanesinin Feret çapı ve çevresi tek tek ölçülmüştür. Bu ölçümler minerallerin kapladığı alanların ve birbirlerine göre oransal bolluklarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Her bir mineral için hesaplanarak bulunan alansal dağılımlar bu çalışmada mineralin "alansal dağılımı" olarak ifade edilmiştir.

### Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyleri

Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri servo-hidrolik kontrollü 2000 kN kapasiteli test cihazında gerçekleştirilmiştir. Düşey ve yanal şekil değiştirmeler 0.001 mm hassasiyette kaydedilmiştir (Şekil 3). Deneyler sırasında, 43 mm çaplı 35 adet karot örneğinin boyutları ve yükleme yüzeylerinin paralelliği ISRM (2007)'de önerilen yöntemle göre belirlenmiştir. Deney sırasında, dijital geri bildirim, çevresel şekil değiştirme ile sağlanmış ve kullanılan kontrol değeri 0.02 mm/dk olarak belirlenmiştir. Böylece karot örneği üzerine gelen yüklerin

deformasyon kontrollü olarak sabit bir hızda artması sağlanmıştır.



Şekil 3. Tek eksenli deney düzeneği.

Figure 3. Experimental setup for the uniaxial strength test.

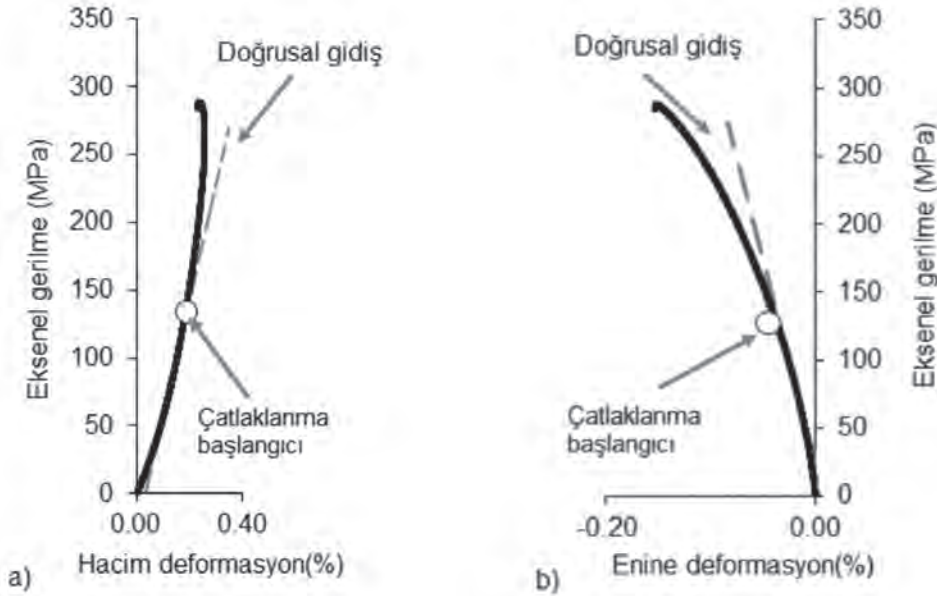
### Yenilme Başlangıcının Belirlenmesi

Tek eksenli yükler altında, kayada çatlaklanma başlangıcının belirlenmesi için gerilme – şekil değiştirme özellikleri esas alınarak ve bu esasa dayanacak şekilde mikro-ses aktivitesine göre önerilen yöntemler literatürde verilmiştir (Brace vd., 1966; Lajtai, 1974; Martin ve Chandler, 1994; Nicksiar ve Martin, 2012; Moradian vd., 2016).

Nicksiar ve Martin (2012), Amann vd. (2011 ve 2014) ve diğer pekçok araştırmacı tarafından güvenilirlikleri değerlendirilmiş olan farklı iki yöntem, bu çalışmada tek eksenli deneylerde çatlaklanma başlangıcının ( $\sigma_{C1}$ ) belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki, gerilmeye bağlı hacimsel deformasyon eğrisinin doğrusallıktan saptığı andaki en düşük eksenel gerilme değeridir (Brace vd., 1966) (Şekil 4a). Diğer yöntem ise, gerilme altında çevresel şekil

değiştirme eğrisinin doğrusallıktan saptığı nokta olarak ifade edilmektedir (Lajtai, 1974) (Şekil 4b).

amfibol, biyotit ve kuvarslardan oluştuğu, sayısal XRD sonuçları ile belirlenmiştir. Çizelge 2’de ise, petrografik incelemeler ile elde edilen



Şekil 4. Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin belirlenmesinde esas alınan yöntemler a) Brace vd. (1966)'nın önerdiği yöntem b) Lajtai (1974)'ün önerdiği yöntem.

Figure 4. Methodologies used to determine the crack initiation stress levels a) method proposed by Brace et al. (1966) b) method proposed by Lajtai (1974).

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Mineralojik ve Petrografik Bulgular

Çalışmalar sırasında elde edilen sayısal XRD sonuçları, örneklerin genel görünüşleri ile birlikte Çizelge 1’de verilmiştir. Örneklerin genelde feldspat (ortoklaz ve plajiyoklaz),

ana bileşenlerin alansal dağılımları verilmiştir. Hamur malzemesinin alansal dağılımının en yüksek olduğu ve tüm örnekler için % 46.6 - % 79 arasında değiştiği görülmektedir. Petrografik incelemeler sırasında mikroskopta tespit edilebilen feldspatların tamamına yakını plajiyoklaz türündedir (Şekil 5). Bu durum, XRD

Ündül, Aysal

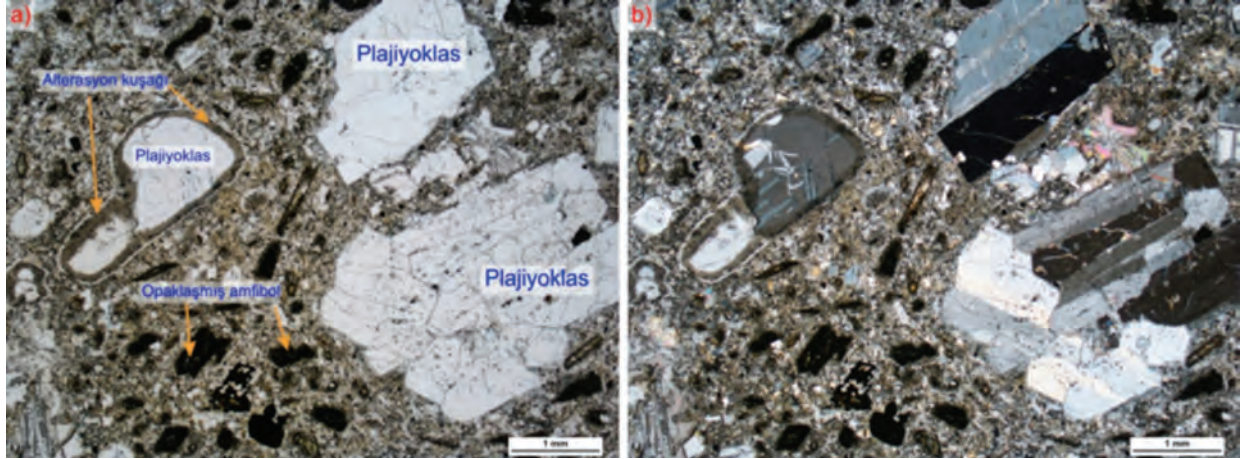
Çizelge 2. Çalışılan kayaları oluşturan hamur ve ana minerallerin normalize edilmiş alansal dağılımları.

Table 2. Normalized areal distribution of groundmass and main constitutive minerals of the studied rocks.

Örnek Nu.	Hamur (%)	Amfibol (%)	Biyotit (%)	Plajiyoklaz feldispat (%)	Opak mineral (%)
1	59.4	15.7	9.0	13.5	2.8
2	54.8	2.6	8.4	32.7	1.8
3	51.1	10.8	2.0	33.1	0.5
4	53.5	1.6	2.2	33.8	1.1
5	55.0	16.7	5.3	21.4	0.7
6	53.9	21.2	4.5	18.0	1.5
7	55.2	17.0	6.3	19.1	1.8
8	56.5	4.9	13.4	23.6	1.6
9	50.4	13.2	0.3	34.3	1.0
10	58.8	12.2	3.3	23.3	0.7
11	63.0	11.4	12.7	11.9	1.6
12	46.6	26.0	1.0	25.0	0.9
13	69.0	4.0	2.0	29.9	8.4
14	61.4	3.1	1.9	25.0	6.8
15	73.8	2.9	0.1	23.1	3.7
16	69.0	7.4	0.1	17.8	0.5
17	58.1	7.6	0.5	22.9	0.4
18	70.1	6.9	0.6	17.8	0.3
19	79.0	5.2	0.6	17.1	0.4
20	60.3	20.1	3.1	15.8	6.6
21	52.7	3.6	1.2	40.3	1.9
22	59.7	6.5	4.6	27.6	4.0
23	58.1	12.9	9.1	19.1	1.9
24	60.8	16.3	4.1	17.5	3.8
25	56.2	6.8	0.2	34.6	1.0
26	60.5	8.8	0.1	28.6	0.9
27	61.3	9.6	0.1	26.1	1.3
28	64.8	8.9	0.5	24.9	1.1
29	67.0	4.8	1.3	18.2	1.5
30	66.1	5.6	0.2	20.0	2.5
31	69.4	4.4	0.7	17.9	2.5
32	69.5	5.1	0.7	19.8	5.0
33	65.6	3.7	3.5	21.8	4.6
34	64.7	10.9	3.8	19.3	1.1
35	61.9	10.0	4.0	19.0	1.4

ile belirlenen ortoklazların büyük çoğunlukla felsitik hamur içerisinde dağıldığını işaret etmektedir. Oransal olarak XRD deteksiyon limitlerinin altında kalan opak mineraller petrografik çalışmalarda gözlenmiş, ayrıca bazı

minerallerin (örneğin amfibol) yer yer opaklaştığı da belirlenmiştir (Şekil 5). Bunlara ek olarak, petrografik çalışmalar sırasında ölçülmüş Feret çapları ve minerallerin çevre uzunlukları Çizelge 3'te sunulmuştur.



Şekil 5. Mekanik deneyler öncesinde elde edilen ince kesit üzerinde plajiyoklaz ve opaklaşmış amfibollerin görünümü a) tek nikol b) çift nikol görüntüsü.

Figure 5. General views of plagioclase and opacified amphiboles on thin sections prepared prior to mechanical tests a) parallel nicols b) cross nicols.

Çizelge 3. Çalışılan kayaları oluşturan ana mineral bileşenlerine ait ortalama Feret çapları ve ortalama çevre uzunlukları.

Table 3. Average Feret's diameters and mean perimeters of main constitutive minerals constituting the studied rocks.

Örnek Nu.	Ortalama Feret çapı (mm)				Ortalama çevre uzunluğu (mm)			
	Amfibol	Biyotit	Plajiyoklaz feldspat	Opak min.	Amfibol	Biyotit	Plajiyoklaz feldspat	Opak min.
1	0.55	0.21	0.66	0.39	1.45	0.74	1.74	1.08
2	0.34	0.33	0.48	0.44	0.86	1.20	1.30	1.15
3	0.45	0.20	0.51	0.25	1.13	1.20	1.37	0.65
4	0.32	0.37	0.62	0.23	0.83	1.36	1.67	0.56
5	0.43	0.70	0.57	0.51	1.05	1.58	1.65	1.44
6	0.50	0.56	0.96	0.36	1.26	1.33	2.61	0.82
7	0.38	0.58	0.59	0.55	0.95	1.40	1.70	1.57
8	0.39	0.61	0.72	0.44	1.01	1.18	1.94	1.17
9	0.36	0.25	0.52	0.18	0.89	1.29	1.42	0.49

Ündül, Aysal

Çizelge 3. (devamı)

Table 3. (cont'd.)

Örnek Nu.	Ortalama Feret çapı (mm)				Ortalama çevre uzunluğu (mm)			
	Amfibol	Biyotit	Plajiyoklaz feldspat	Opak min.	Amfibol	Biyotit	Plajiyoklaz feldspat	Opak min.
11	0.32	0.21	0.49	0.22	0.80	1.31	1.33	0.64
12	0.34	0.20	0.57	0.19	0.85	0.74	1.51	0.53
13	0.43	0.39	0.68	0.45	1.04	1.06	1.90	1.13
14	0.39	0.72	0.63	0.34	0.94	1.83	1.68	0.85
15	0.39	0.28	0.79	0.37	0.97	0.57	2.00	0.94
16	0.37	0.41	0.56	0.27	0.95	0.82	1.50	0.75
17	0.49	0.40	0.60	0.24	1.17	0.5	1.67	0.67
18	0.45	0.48	0.64	0.30	1.11	1.24	1.77	0.80
19	0.35	0.48	0.54	0.26	0.86	0.92	1.44	0.67
20	0.43	0.37	0.46	0.37	1.03	0.91	1.25	0.94
21	0.36	0.25	0.58	0.28	0.89	1.08	1.56	0.71
22	0.45	0.48	0.38	0.35	1.16	1.11	1.18	0.87
23	0.35	0.24	0.49	0.24	0.88	1.26	1.35	0.59
24	0.31	0.46	0.64	0.23	0.77	1.51	1.71	0.59
25	0.30	0.28	0.46	0.21	0.75	0.80	1.21	0.39
26	0.29	0.19	0.37	0.19	0.75	0.40	0.98	0.35
27	0.31	0.18	0.32	0.20	0.78	0.35	0.85	0.44
28	0.28	0.19	0.32	0.18	0.73	0.80	0.86	0.36
29	0.58	0.67	0.54	0.22	1.47	2.24	1.44	0.58
30	0.46	0.75	0.51	0.28	1.17	2.33	1.35	0.76
31	0.63	0.52	0.60	0.35	1.57	1.94	1.61	0.95
32	0.67	0.71	0.66	0.29	1.60	2.08	1.73	0.79
33	0.34	0.49	0.65	0.36	0.85	2.48	1.83	0.91
34	0.29	0.24	0.66	0.23	0.73	2.17	1.70	0.62
35	0.37	0.81	0.54	0.32	0.91	1.64	1.65	0.88



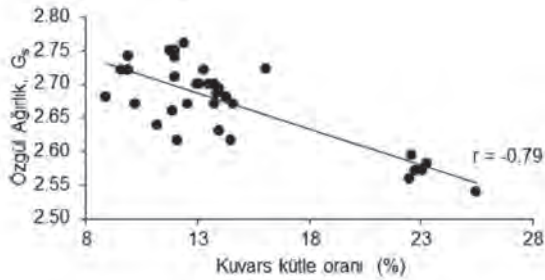
Çizelge 4. Çalışılan kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri.  
Table 4. The physical and mechanical properties of the studied rocks.

Örnek Nu.	LOI	$G_s$	$n_t$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$V_p$ (km/s)	E (GPa)	$\nu$ (-)	$\sigma_{maks}$ (MPa)	$\sigma_{CI, hacim}$ (MPa)	$\sigma_{CI, çap}$ (MPa)
1	0.44	2.70	5.57	25.5	4.99	-	-	108	-	52
2	0.49	2.70	5.42	25.5	4.59	-	-	158	-	-
3	0.53	2.70	4.72	25.7	4.83	57.0	0.25	272	126	127
4	0.62	2.72	5.43	25.7	5.12	53.5	0.24	217	107	101
5	2.35	2.66	5.51	25.1	3.83	33.9	0.22	200	78	79
6	2.45	2.64	5.97	24.8	3.64	29.4	0.21	135	74	71
7	2.57	2.62	5.12	24.8	3.34	30.8	0.20	154	71	71
8	2.70	2.67	7.61	24.7	3.60	27.0	0.20	102	47	46
9	1.40	2.62	1.77	25.7	4.74	53.4	0.17	238	109	101
10	1.49	2.68	4.29	25.6	4.45	51.2	0.15	154	76	73
11	1.35	2.67	3.56	25.7	4.45	48.7	0.15	148	62	63
12	1.57	2.63	2.44	25.6	4.89	56.2	0.25	289	130	129
13	2.02	2.68	5.80	25.2	4.53	38.6	0.14	169	91	68
14	1.63	2.72	7.56	25.1	4.52	39.4	0.15	123	54	53
15	1.88	2.72	7.55	25.1	4.41	40.3	0.16	124	55	54
16	2.11	2.57	0.84	25.5	4.59	42.8	0.18	233	107	109
17	2.07	2.56	0.29	25.5	4.96	43.5	0.22	231	112	106
18	2.13	2.59	1.88	25.4	4.66	42.0	0.18	229	110	100
19	2.15	2.57	0.66	25.5	4.72	44.8	0.14	242	117	112
20	0.72	2.71	6.62	25.3	4.42	37.6	0.17	151	74	70
21	0.76	2.75	7.63	25.4	4.56	40.3	0.2	162	74	73
22	0.77	2.75	8.52	25.2	4.29	38.3	0.18	153	69	69
23	0.79	2.76	8.28	25.3	4.34	39.3	0.17	144	71	68
24	0.90	2.74	7.36	25.4	4.34	41.3	0.18	160	70	65
25	1.30	2.69	5.37	25.5	4.74	49.0	0.16	247	101	100
26	1.17	2.70	6.17	25.3	4.93	44.5	0.21	237	107	102
27	1.44	2.74	7.48	25.4	4.83	43.8	0.17	153	65	62
28	1.14	2.69	5.14	25.5	4.85	45.0	0.16	189	84	83
29	2.06	2.58	2.81	25.1	4.35	41.6	0.18	195	84	84
30	1.11	2.54	3.67	24.5	4.33	38.0	0.20	180	79	81
31	1.54	2.56	2.93	24.9	4.16	39.8	0.16	167	77	72
32	2.09	2.54	1.93	24.9	4.58	41.7	0.20	205	90	91
33	1.51	2.67	5.51	25.2	3.80	31.8	0.17	137	61	62
34	1.77	2.72	6.81	25.4	4.60	42.6	0.15	151	67	57
35	2.92	2.67	6.15	25.1	3.97	27.4	0.16	102	49	48

$G_s$ : Özgül ağırlık,  $n_t$ : toplam porozite,  $\gamma$ : birim hacim ağırlık; E: Young Modülü;  $\nu$ : Poisson oranı;  $s_{maks}$ : en yüksek dayanım;  $\sigma_{CI, hacim}$ : Brace vd. (1966)'ya göre tespit edilen çatlaklanma başlangıcı gerilme değeri;  $\sigma_{CI, çap}$ : Lajtai (1974)'e göre tespit edilen çatlaklanma başlangıcı gerilme değeri

### Fiziksel Özelliklerdeki Değişimler

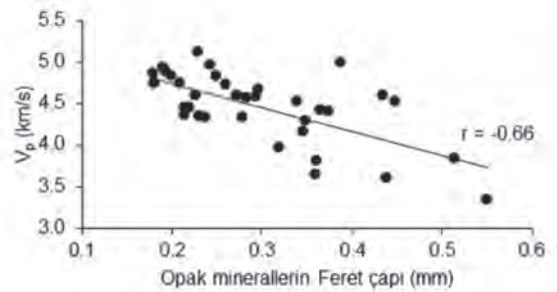
Çalışılan kayalara ait fiziksel özellikler toplu olarak Çizelge 4'te verilmiştir. Kuvars, magnetit ve biyotit minerallerinin kütlece oranının özgül ağırlığı önemli derecede değiştirdiği belirlenmiş ve Çizelge 5'teki eşitliklerde sunulmuştur. Magnetit ve biyotitin kütle oranlarındaki artışın özgül ağırlıkta artış meydana getirdiği, kuvarsin kütlece oranının ise özgül ağırlığı düşürdüğü görülmektedir (Şekil 6, Çizelge 5). Bu durum, magnetit ve biyotitin özgül ağırlıklarının içinde buldukları kayayı oluşturan diğer minerallerden nispeten yüksek olması, kuvarsin ise daha düşük özgül ağırlığı olması ile açıklanabilir. Sayısal mineralojik bulgular ile özgül ağırlık arasındaki ilişkilere benzer bir ilişki, sayısal petrografik özellikler (Örneğin, minerallerin alansal dağılımı, boyutları vb.) ile özgül ağırlık arasında tespit edilememiştir.



Şekil 6. Kuvars kütle oranı ile özgül ağırlığın değişimi.  
Figure 6. The change of specific gravity with mass fraction of quartz.

Schon (1996) ve Barton (2007), P-dalga hızının artan porozite ile azaldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, porozite ile P-dalga hızı arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Tandon ve Gupta (2013) de benzer şekilde bir ilişki bulamadıklarını ifade etmektedirler. Ancak bu çalışmada, sayısal petrografik veriler ve fiziksel özellikler arasındaki analizler sırasında,

P-dalga hızının, opak minerallerin ve biyotitlerin Feret çaplarının artmasıyla azaldığı gözlenmiştir. Korelasyon katsayısı yüksek olmasa da P-dalga hızındaki azalma eğilimi belirgindir (Şekil 7 ve Çizelge 5). Benzer bir ilişki opak minerallerin çevre uzunluklarıyla da tespit edilmiştir (Çizelge 5).



Şekil 7. Opak minerallerin Feret çapı ile kaya örneklerinin P-dalga hızları arasındaki ilişki.

Figure 7. The relation between the Feret's diameter of opaque minerals and the P-wave velocities of rock specimens.

Çizelge 5. Çalışılan kayalarda fiziko-mekanik ve petrografik özellikler arasındaki ampirik eşitlikler.

Table 5. Empirical equations between physico-mechanical and petrographical properties of the studied rocks.

Formül	r
$G_s = -0.0107M_k + 2.8255$	-0.79
$G_s = 0.0458M_{mag.} + 2.5820$	0.68
$G_s = 0.0449M_{bio.} + 2.6021$	0.63
$V_p = 0.0462M_{plj.} + 2.6147$	0.69
$V_p = 0.0484M_{felds.} + 1.4664$	0.67
$V_p = -2.8861F_{opa.} + 5.3214$	-0.66
$V_p = -0.9441P_{opa.} + 5.1855$	-0.65
$V_p = -1.3182F_{bio.} + 4.9994$	-0.60
$LOI = -0.0814M_{felds.} + 6.5564$	-0.70
$LOI = -0.0677M_{plj.} + 4.2314$	-0.63
$LOI = -0.4856M_{mag.} + 2.483$	-0.63
$LOI = -0.3724M_{bio.} + 2.0915$	-0.46

Çizelge 5. (devamı)

Table 5. (cont'd.)

Formül	r
$LOI = -0.0671C_{plg.} + 3.0915$	-0.64
$UCS = 5.2455M_k + 102.36$	0.47
$UCS = -13.531n_i + 246.23$	-0.64
$UCS = 97.058(C_{Plj} + C_{Amf})/C_{GrM} + 125.12$	0.37
$UCS = 219.75(C_{Plj} + C_{Amf})/C_{GrM}^I + 35.758$	0.76
$UCS = -7.5966C_b + 202.93$	-0.56
$v = 0.0882(C_{Plj} + C_{Amf})/C_{GrM} + 0.134$	0.56
$v = 0.1191(C_{Plj} + C_{Amf})/C_{GrM}^I + 0.1099$	0.66
$v = 0.3047(C_{Plj} + C_{Amf})/C_{GrM}^2 + 0.0709$	0.87
$v = -0.0026C_{GrM} + 0.3406$	-0.62
$v = -0.0038C_{GrM}^I + 0.4078$	-0.72
$v = -0.0038C_{GrM}^2 + 0.444$	-0.88
$E = -6.6561LOI + 52.326$	-0.55
$E = -57.69F_{opa.} + 58.573$	-0.72
$E = -18.502P_{opa.} + 55.578$	-0.69
$E = -26.325F_{bio.} + 52.743$	-0.66
$E = 106.78Ang_{opa.} + 36.92$	0.63
$\sigma_{Cl, hacim} = 0.46UCS^3$	0.97
$\sigma_{Cl, çap} = 0.44UCS^4$	0.97

<sup>1</sup> Andezit bileşimli örneklerden elde edilen değer

<sup>2</sup> Riyodasit bileşimli örneklerden elde edilen değer

<sup>3</sup> Brace vd. (1966) tarafından önerilen yönteme göre bulunan değer

<sup>4</sup> Lajtai (1974) tarafından önerilen yönteme göre bulunan değer

r = Korelasyon katsayısı

$C_{amf.}$  = Amfibol mineralinin alansal dağılımı

$C_{GrM}$  = Tüm kaya tipleri için hamur malzemesinin alansal dağılımı

$C_{plj.}$  = Plajiyoklazın alansal dağılımı

$Ang_{opa.}$  = Opak minerallerin köşeliliği

$F_{opa.}$  = Opak minerallerin Feret çapı

$F_{bio.}$  = Biotitin Feret çapı

$M_{bio.}$  = Biotit minerali kütlece oranı

$M_{Felds}$  = Feldspat minerali minerali kütlece oranı (Tablo 1'de verilen ortoklaz ve plajiyoklazların kütlece oranlarının toplamı)

$M_{mag.}$  = Magnetit minerali kütlece oranı

$M_{plg.}$  = Plajiyoklaz minerali kütlece oranı

$M_k$  = Kuvars minerali kütlece oranı

$n_i$ : Toplam porozite

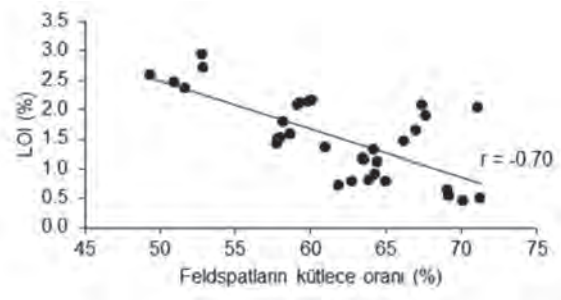
$P_{opa.}$  = Opak minerallerin çevre uzunluğu

$\sigma_{Cl, hacim}$ : bkz. Çizelge 4

$\sigma_{Cl, çap}$ : bkz. Çizelge 4

Bu çizelgede alansal dağılım ve kütlece oran olarak ana bileşenlerin etkileri sunulmuştur.

Ateşte kızdırma kaybı (LOI) değerleri kayaların fiziksel özelliklerinin ve ayrışma durumunun belirlenmesinde kullanılan önemli bir özelliktir (Arıkan vd., 2007; Ündül ve Tuğrul, 2012). Çalışılan kayalarda nispeten düşük LOI değerleri kayaların taze, az ayrışmış seviyelere ait olduğunu kanıtlamaktadır. Sayısal mineralojik çalışmaların sonuçlarına göre feldspat mineralleri (ortoklaz ve plajiyoklaz) ve magnetitin kütlece oranları, LOI değerlerini etkilemektedir. Buna ek olarak, plajiyoklaz mineralinin alansal dağılımının LOI'ye etki eden tek sayısal petrografik bileşen olduğu görülmüştür (Şekil 8 ve Çizelge 5). Örneklemeler taze ve az ayrışmış seviyelerde yapılmış olsa bile, petrografik çalışmalarda bazı minerallerin daha fazla altere oldukları, hatta zonlu plajiyoklazların Ca'ca zengin olan zonlarının, Na'ca zengin olan zonlarına oranla daha fazla altere olduğu gözlenmiştir. Kayaları oluşturan ana mineraller içerisinde plajiyoklazların ve kısmen de hamur içerisindeki ortoklazların, alterasyona en yatkın mineral grubu oldukları için LOI'ye etkisi en yüksek seviyede olmaktadır.



Şekil 8. Feldspatların kütlece oranı ile LOI arasındaki ilişki.

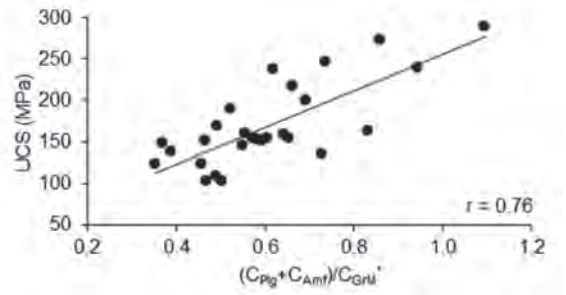
Figure 8. The relation between mass fractions of feldspars and LOI

### Tek Eksenli Deney Sonuçlarının Mineralojik ve Petrografik Özellikler İle Yorumlanması

Çalışılan kayaların tek eksenli sıkışma dayanımları 102 – 289 MPa arasında değişmektedir (Çizelge 4). Kaya içerisindeki akışkanların dolaşımını ve kayanın dayanımını yakından etkilediği düşünülen porozitenin, çalışılan kayaların tek eksenli sıkışma dayanımına etkileri bu çalışmada değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, artan porozite ile dayanımın düştüğünü göstermektedir. Benzer ilişkiler Ulusay vd. (1994) ve Baud vd. (2014) tarafından da ifade edilmiştir (Çizelge 5).

Bu çalışmaya konu olan kayalar içerisinde andezit bileşimli örneklerde, plajiyoklaz ve amfibolün alansal toplamalarının hamur malzemesine oranlarının, tek eksenli sıkışma dayanımına etki ettiği Şekil 9 ve Çizelge 5'te gösterilmektedir. Çalışılan kayalar için heterojenliği oluşturan unsur hamur içerisine dağılmış fenokristallerin alansal dağılımları ile hamur malzemesinin alansal dağılımının arasındaki oran ile açıklanmaktadır. Riyodasit bileşimli kayaların heterojenlik seviyeleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Bu durum, riyodasit örneklerinde, hamur malzemesinin çok daha yüksek oranlarda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Kayanın dayanımını etkileyecek iri fenokristaller ile

hamur malzemesi arasındaki orana ait kritik sınıır bu çalışmada tespit edilemese de, andezit bileşimli örneklerdeki değişim dikkat çekicidir (Şekil 9 ve Çizelge 5). Elde edilen bu sonuçlar dayanımın önemli ölçüde bu parametrelerden etkilendiğini göstermektedir. Şekil 9'da gösterildiği gibi andezit bileşimli örneklerde, fenokristallerin artışının tek eksenli sıkışma dayanımını artırdığı belirgindir. Bu durum, plajiyoklaz ve amfibol fenokristallerine ait elastik özelliklerin, hamur malzemesini oluşturan minerallerin (Örneğin, ortoklaz, kil mineralleri vd.) elastik özelliklerinden daha yüksek olması ile açıklanabilir (Ündül vd., 2015 ve Çizelge 6).



Şekil 9. Ana bileşenlerin tek eksenli sıkışma dayanımına etkileri (grafikte andezit bileşimli kayalara ait verilerin sunulduğuna dikkat edilmelidir. Kısaltmalar için Çizelge 5'teki açıklamalara bakınız).

Figure 9. Effects of major constituents on uniaxial compressive strength (note that only the data of rock specimens of andesitic compositions are plotted. For abbreviations, please refer to Table 5).

Çizelge 6. Minerallerin elastik modülleri ve Mohs sertlikleri.

Table 6. Elastic modulus and Mohs values of minerals.

	Amfibol	Biyotit	Ortoklaz	Plajiyoklaz	Kuvars
E (GPa) <sup>1</sup>	118-128	63-64	73-74	81-106	91-105
Mohs sertlik	5-6	2.5-3	6	6-6.5	7

<sup>1</sup> Veriler Prodaivoda et vd. (2004)<sup>1</sup>ten alınmıştır.

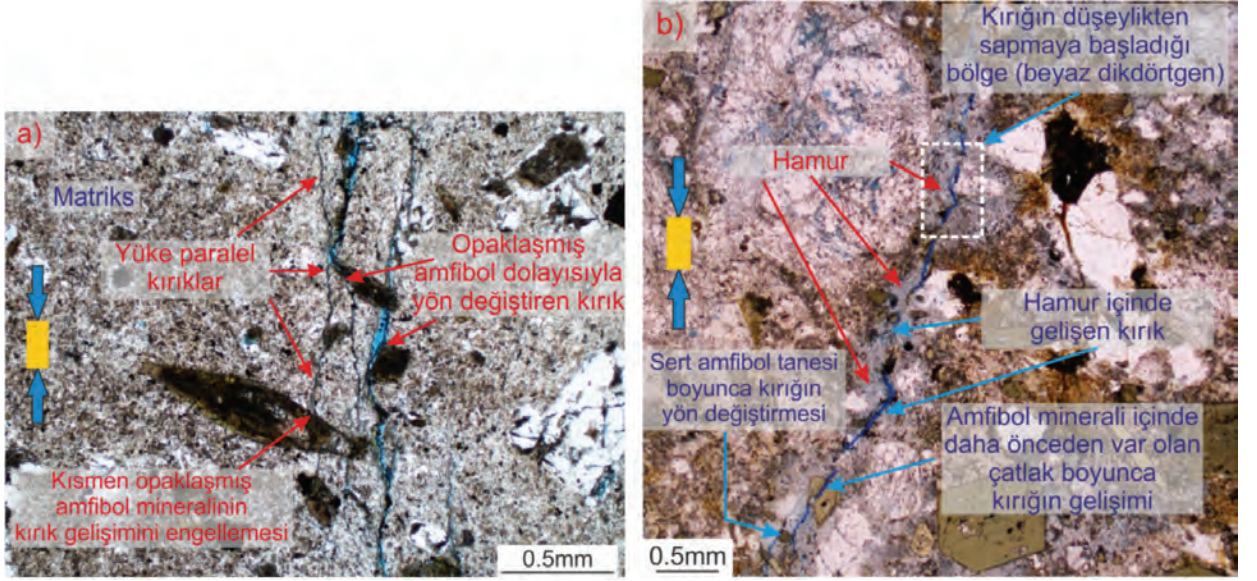
Kuvars miktarının artmasıyla tek eksenli sıkışma dayanımının artacağı farklı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir (Örneğin Zorlu vd., 2004; Tandon ve Gupta, 2013). Bu çalışmada, kuvars kütle oranı ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında oldukça zayıf bir ilişki tespit edilmiştir (Çizelge 5). Kuvarsların alansal dağılımları ile dayanım arasında ise bir ilişki tespit edilememiştir. Ulusay vd. (1994), kuvars içeriği ile dayanım arasında benzer şekilde zayıf ilişkilerden bahsetmiştir. Diğer yandan, bu çalışmada, biyotitin tek eksenli sıkışma dayanımına etkisinin, diğer minerallere göre daha yüksek oranda olduğu belirlenmiştir. Korelasyon katsayısı düşük olmakla beraber, biyotit fenokristallerinin artmasıyla tek eksenli sıkışma dayanımının düştüğü basit regresyon analizlerinde görülmektedir (Çizelge 5). Biyotitin, kaya dayanımına ve yenilmesine etkisi Mahabadi vd. (2012), Nicksiar ve Martin (2013a) ve Ündül vd. (2015) tarafından da ifade edilmektedir.

### **Tek Eksenli Gerilmeler Altında Çatlak Gelişimi**

Tek eksenli gerilmeler altında iki önemli mikro yapısal özellik, kaya içinde çatlak gelişmesi ile ilgili olarak ön plana çıkmaktadır. Bunlar fenokristaller ve hamur malzemesinin kaya içerisindeki dağılımlarıdır. Çatlak gelişimi Griffith (1924) kırılma teorisine göre, gelen yüke paralel şekilde gelişme eğilimindedir. Ancak gerilmeler ile oluşan çatlak, kaya içerisinde heterojen herhangi bir unsura ulaştığı zaman,

bulduğu ortamın ve karşılaştığı unsurun elastik özelliklerine göre yön değiştirebilir. Karşılaşılan unsur içerisinde kayanın oluşumundan ve/veya tektonik geçmişinden kaynaklanan çatlaklar var ise bu zayıflık düzlemleri boyunca da çatlak gelişimi devam edebilmektedir (Amann vd., 2014; Ündül vd., 2015). Gerilme artışıyla, gelişen çatlakların daha yüksek elastik özellikler gösteren unsurları keşbildiği de gözlenmiştir (Amann vd., 2014).

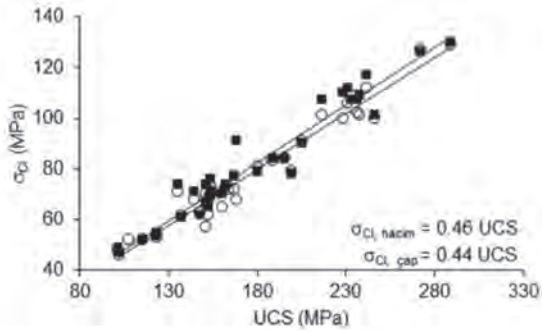
Çalışmaya konu olan kayalar içerisinde, riyodasit bileşimli örneklerde yükleme yönüne paralel çatlaklar, andezit bileşimli örneklere oranla daha belirgindir. Hamur malzemesinin daha fazla olduğu bu tip örneklerde, çatlak gelişimi eksenel yüke 0-5° açılarda gelişmektedir (Şekil 10a). Andezit bileşimli örneklerde ise daha fazla alana yayılmış fenokristallerden dolayı, gelişen çatlaklar yüke paralel gelişimini sürdürememektedir. Hamur malzemesinin genel elastik özelliklerinden daha yüksek elastik özelliklere sahip fenokristaller yüke paralel kırık gelişimini engellemektedir. Bu durumda, kırıklar mineral çevrelerini dolaşacak şekilde sınır çatlakları olarak gelişmektedir (Şekil 10b). Benzer bir durum Ündül vd. (2015) tarafından da belirtilmiştir. Çatlakların paralellikten sapması, çatlakların birbirleriyle bir araya gelip kararsız çatlak gelişimini artırmamasını geciktirmektedir. Böylece, kayanın yenilmesi daha yüksek gerilme değerlerinde gerçekleşmektedir. Bu durum, fenokristallerin artmasıyla tek eksenli sıkışma dayanımının artması arasındaki ilişkiyi de destekleyici yöndedir.



Şekil 10. Çatlak gelişiminin a) riyodasit bileşimli bir örnekte gelişimi, b) andezit bileşimli bir örnekte gelişimi.

Figure 10. Crack propagation a) in a specimen of rhyodacite composition b) in a specimen of andesitic composition.

Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri, yöntem kısmında ifade edildiği haliyle, iki farklı yöntem ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre çalışılan kayalarda çatlaklanma başlangıcı tek eksenli sıkışma dayanımının % 44-46'sı seviyelerinde başlamaktadır (Şekil 11). Nicksiar ve Martin (2013a), mağmatik kökenli kayalar için benzer bir oranı tespit etmiştir.

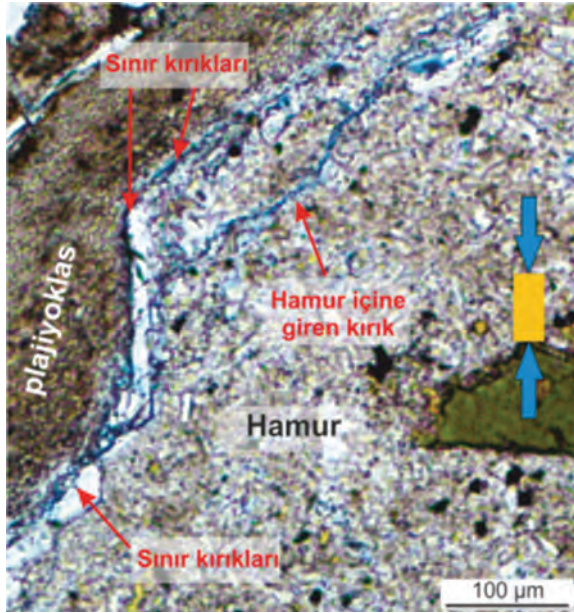


Şekil 11. Tek eksenli sıkışma dayanımı ile farklı yöntemler kullanılarak hesaplanan çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin ilişkisi.

Figure 11. The relationship between uniaxial compressive strength and the crack initiation stress levels obtained from two different methods.

## Çatlak Gelişimine Minerallerin Tekil Etkileri Plajiyoklazların Etkisi

Plajiyoklaz minerallerinin bulunduğu noktalarda, eksenel yüklere bağlı, tane sınırı kırıkları ve tane içi kırıklar gözlenmektedir. Tane içi kırıkların, plajiyoklazın içerisinde daha önceden oluşan kırıklar (dilinin düzlemleri) boyunca geliştiği ve bu kırıkların tane içinde birleşmediği gözlenmiş, kırıkların plajiyoklaz minerallerinin sınırlarından hamurun içerisine doğru yöneldiği belirlenmiştir. Bu durum, plajiyoklazların elastik modül değerlerinin, hamur malzemesinin elastik modülünden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 12).

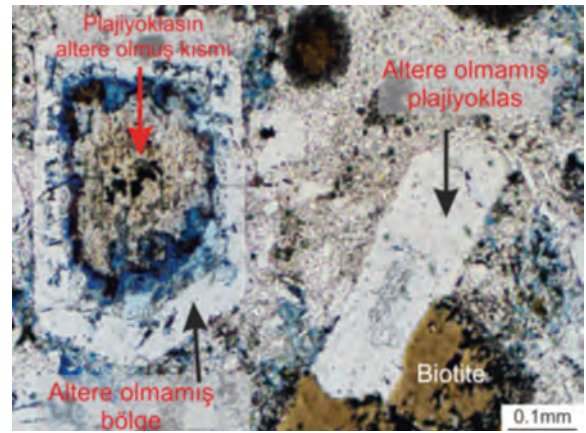


Şekil 12. Plajiyoklaz minerali ile hamur malzemesi sınırı boyunca sınır kırıklarının gelişimi ve kırığın hamur içerisine doğru gelişimini gösteren ince kesit görüntüsü.

Figure 12. A photomicrograph showing propagation of boundary cracks along the border of plagioclase and groundmass, and propagation of the crack within the groundmass.

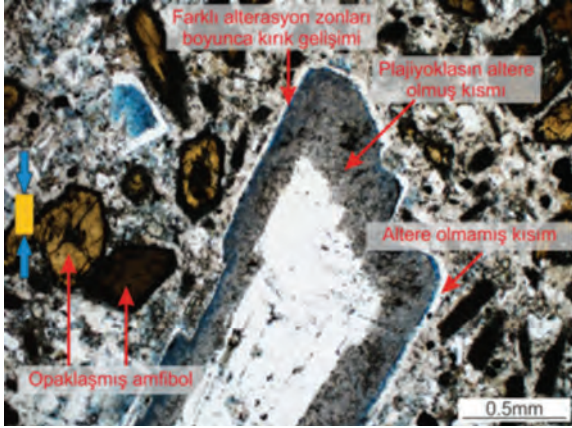
Diğer yandan altere olmuş plajiyoklazların kırık gelişimine etkileri Åkesson vd. (2004) tarafından tartışılmıştır. Araştırmacılar, kırık gelişiminde alterasyonun, ikizlenme düzlemlerinden daha etkin olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışılan kayaları oluşturan ana bileşenlerden plajiyoklazların alterasyon ile kırık gelişimine etkileri Şekil 13'te ve 14'te verilmiştir. Önemli miktarda plajiyoklaz tanesinde, iç kısımlarının anortit veya andezin bileşimli, dış kısımlarının ise albit bileşiminde olmasından dolayı orta kısımlarında killeşme

gözlenmiş, dış kısımlarının ise altere olmadan taze olarak korunduğu görülmüştür (Şekil 13). Ayrıca Şekil 13'te görüldüğü gibi, Ca'ca zengin zonda karbonatlaşma ve kaolinitik alterasyon egemenken, hemen yanında daha az Ca içeren oligoklaz – andezin bileşimli plajiyoklazda alterasyon gelişmemiştir. Bu iki farklı alterasyon zonuna ait sınırlar, farklı elastik özelliklerin sınırı olmasından dolayı, tane içi kırıkların gelişiminin gözlemlendiği alanlardır (Şekil 13 ve Şekil 14).



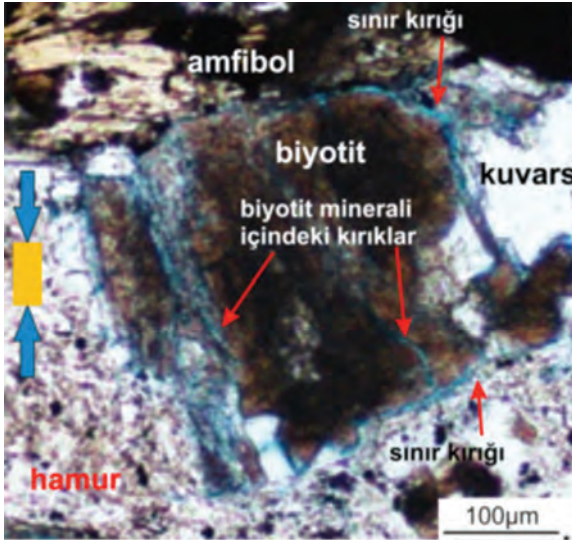
Şekil 13. Gerilmelere bağlı gelişen çatlakların kısmen altere olmuş plajiyoklaz örneğinde görünümü (Plajiyoklaz tanesinin orta kısmı anortik – andezin bileşiminde, dış kısmı ise albit bileşimindedir. Bu durumda alterasyon iç kısımlardan başlayıp daha dayanımlı dış kısımlara doğru ilerlemektedir. Çatlak altere olmuş ve olmamış kesimin sınırı boyunca devam etmektedir (Ündül, 2016'dan değiştirilerek)).

Figure 13. A view of stress induced cracks in a partially altered plagioclase (The central part of the plagioclase grain is in the composition of anorthic-andesine, the outer part is in albite composition. In this situation, the alteration starts from the central part to the outer sections. The crack is generated within this boundary of altered and unaltered sections (modified from Ündül, 2016)).



Şekil 14. Opaklaşmış amfibole ve plajiyoklaz tanesinde alterasyon zonuna ait mikroskop görüntüsü (Plajiyoklaz tanesinde altere olmuş ve altere olmayan kesim arasında elastik özellik değişiminden dolayı gelişebilen kırık mavi renk ile gösterilmektedir).

Figure 14. A photomicrograph of opacified amphibole and an alteration zone in plagioclase (The crack propagating along the altered and unaltered sections is given by blue dye).



Şekil 15. Tek eksenli yükler altında biyotit minerali içinde ve biyotit tanesi sınırlarında gelişen kırıkların ince kesit görüntüsü.

Figure 15. A photomicrograph showing the cracks propagated under uniaxial loads along the boundaries and within a biotite grain.

## Biyotitlerin Etkisi

Biyotitlerin çatlak başlangıcı ve kırık gelişimine etkileri Brace vd. (1972) tarafından ifade edilmiştir. Benzer şekilde Chen vd. (2004), sayısal simülasyonlar ile biyotitin muhtemel etkilerini varsayımsal olarak ortaya koymuşlardır. Bu çalışmaların yanında, Mahabadi vd. (2012), gerilme altındaki kaya örneğinin sayısal modellemesi çalışmalarında, gerilme dağılımına, çatlak oluşumuna ve kırık gelişimine etkiyen en zayıf bileşenin, biyotitler olabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan kayaların ana bileşenleri içerisinde tek başına kaya dayanımına en fazla etkiyen mineral, biyotit olarak tespit edilmiştir (Çizelge 5). Çalışılan kayalar içerisinde biyotit oranı nispeten düşük olsa da, ana bileşen mineraller incelendiğinde kaya dayanımına doğrudan etkiyen tek mineralin biyotit olmasından dolayı bu sonuç dikkat çekicidir. Biyotitlerin özellikle dilinim düzlemlerine paralel yönde daha kolay kırıldıkları ve kırık düzlemlerinin dilinimleri takip ettiği görülür. Dilinimlere dik yönde ise biyotit için maksimum mukavemet görülmekte ve kırık biyotit mineralinin etrafından devam etmektedir. Ayrıca yersel olarak kloritleşme ve opaklaşma etkisiyle de farklı davranışların olduğu görülmektedir.

## Amfibollerin Etkisi

İnce kesit çalışmalarında, amfibol minerallerinin bulunduğu kesimlerdeki kırık gelişiminin, plajiyoklazlardakine benzer şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Gerilmeye bağlı kırıklar amfibol mineralindeki önceden mevcut olan kırık-çatlaklar (dilinimleri) boyunca tane içine girebilmektedir. Amfibollerin opaklaşmış



örneklerinde de benzer bir şekilde, kırıklar sadece var olan mevcut kırıklar ile tane içine doğru ilerlemekte, aksi takdirde yön değiştirip sınır kırığı olarak devam etmektedir (Şekil 10a ve b).

### Hamur Malzemesinin Etkisi

Onodera ve Asoka (1980), Tuğrul ve Zarif (1999) ve Yılmaz vd. (2011) kaya içerisinde ortoklazın artmasıyla UCS'nin azaldığını ifade etmişlerdir. Önceki çalışmalara göre, ortoklazların kırık gelişiminde ve kırıkların bir araya gelmelerinde önemli etkileri olduğu görülmektedir. Çizelge 1'de ve önceki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde ifade edildiği üzere bu çalışmada değerlendirilen kayalarda ortoklaz, hamur malzemesi içindeki en önemli bileşenlerdendir. Hamur içerisinde diğer bileşenlere göre daha fazla bulunan ortoklaz, minerali hamur malzemesinin genel elastik özelliğini göreceli olarak düşürmektedir (Çizelge 6). Bu sebeple, hamur malzemesinin, diğer ana minerallerden daha düşük elastik özellikler göstermesi, gerilmeler altında gelişen kırıkların hamur içerisine doğru gelişmesini açıklamaktadır (Şekil 10 ve 12). Hamurun ufak taneli (felsitik) kuvars ve feldspatlardan oluşması ile camsı olması arasında da farklı davranışlar gözlenmektedir. Felsitik hamur genel olarak daha yüksek dayanımlı ve elastiklik özelliği fazla iken, camsı hamur veya hamurun camsı kesimlerinin daha gevrek olduğu ve kırılmaya daha yatkın olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, hamurun camsı kesimleri alterasyona karşı da daha duyarlı olup, felsitik hamura nazaran daha hızlı altere olurlar. Yine hamur içerisinde bulunan opak mineral taneleri hamurun fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmektedir.

### Elastik Özelliklerdeki Değişimler

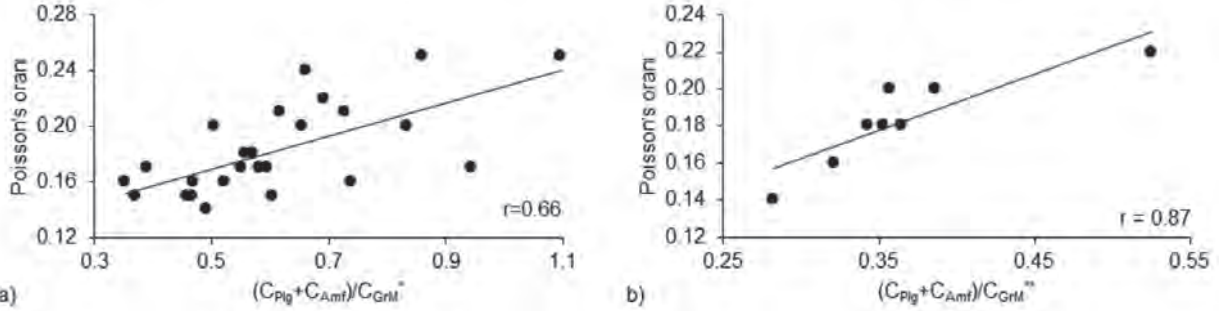
Young modülü ve Poisson oranı, kayaların jeomekanik davranışlarının belirlenmesinde kullanılan önemli mekanik parametrelerdendir (Gerçek, 2007; Hudson vd., 2011).

Çalışılan kayalar için, mineralojik, petrografik ve mekanik verilerin analizi; fenokristallerin ve hamur malzemesinin, Poisson oranını etkileyen temel parametreler olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanında, minerallerin kütlece oranları ile Poisson oranı arasında bir ilişki saptanamamıştır.

Hamur içeriğinin fenokristallere göre daha fazla olduğu kaya örneklerinde (örneğin riyodasit bileşimli örnekler) tek eksenli gerilme koşulları altında, kırıkların uygulanan yük doğrultusuna paralel olarak geliştiği gözlenmiştir (Şekil 10a). Bu paralellik kırığın heterojen bir unsur (örneğin bir fenokristal) ile karşılaşmasına kadar devam etmektedir. Kaya örneklerinin heterojenliği, içerdikleri fenokristallerin hamur malzemesine oranla artmasıyla yükselmektedir. Bu durum, özellikle andezit bileşimli kayalar için geçerlidir. Nispeten homojen bir dokuda kırıklar paralel olarak gelişirken, artan heterojenlik ile, uygulanan yüke paralel ve makaslama kırıkları beraber gelişmektedir. Böylece, Poisson oranı hamur malzemesinin artmasıyla azalmakta, fenokristallerin artmasıyla eksenel ve makaslama kırıklarının birlikte gelişmesinden dolayı artmaktadır (Ündül vd., 2015). Poisson oranındaki bu değişimler ile hamur malzemesi ve fenokristallerin alansal dağılımları arasındaki ilişkiler Şekil 16a ve 16b ile Çizelge 5'te sunulmuştur. Şekil 17 ise Poisson oranının, hamur malzemesi ve fenokristallerin alansal dağılımlarının oranlarına göre değişimini göstermektedir. Hamur malzemesinin Poisson

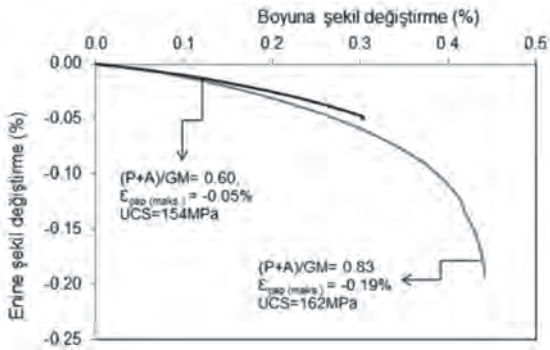
oranına tek başına etkisi, plajiyoklaz, amfibol ve hamur malzemesinin birlikte yapacağı etkiye göre daha yüksek seviyede olmaktadır (Çizelge 5).

Sayısal petrografik ve elastik özelliklerin birlikte değerlendirilmesi sonrasında, Young modülünün opak minerallerin artan tane boyu ve çevre uzunlukları ile azaldığı ortaya konmuştur



Şekil 16. Plajiyoklaz ve amfibollerin toplam alansal dağılımlarının hamur malzemesine oranı ile Poisson oranı arasındaki ilişkiler: a) andezitik bileşimdeki örnekler, b) riyodasit bileşimindeki örnekler.

Figure 16. The relation between Poisson ratio and the sum of areal distribution of plagioclase and amphibole: a) specimens of andesitic composition b) specimens of rhyodasitic composition.



Şekil 17. Yük altında enine ve boyuna şekil değiştirmelerin değişimi: a) hamur malzemesinin nispeten daha fazla olduğu örnek ((P + A) / GM = 0.60,  $E_{rad}(\max) = -0.05\%$ ), b) fenokristallerin nispeten daha fazla olduğu örneğe ((P + A) / GM= 0.80,  $E_{rad}(\max) = -0.19\%$ ).

Figure 17. Changes of axial and radial strains under stress: a) specimen with relatively higher groundmass content ((P + A) / GM = 0.60,  $E_{rad}(\max) = -0.05\%$ ), b) specimen with relatively higher phenocryst content ((P + A) / GM= 0.80,  $E_{rad}(\max) = -0.19\%$ ).

(Çizelge 5). Diğer yandan opak minerallerin küresel şekile yaklaşmaları Young modülünü artırmaktadır. Bu durum, nispeten zayıflamış opak mineralin küresel şekle yaklaşmasıyla, yani etrafında biriken gerilmeyi çevresine yaymasıyla açıklanabilir. Bunun yanı sıra, biyotitler, tek eksenli sıkışma dayanımında olduğu gibi Young modülüne de etki etmektedir. Biyotit minerallerinin boyutları büyüdükçe Young modülünde azalmalar gözlenmektedir (Çizelge 5).

## SONUÇLAR

Andezit ve riyodasit bileşimli kayaların iç yapıları ile fiziksel, mekanik ve deformasyon özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1) Bölgedeki kayaların en yüksek dayanımları taze ve az ayrılmış seviyeler için 108-289 MPa arasında değişmektedir. Çatlaklanma

başlangıcı gerilme seviyeleri ise, tek eksenli sıkışma dayanımlarının yaklaşık % 44- % 46 seviyelerinde olduğu ortaya konmuştur.

- 2) Çalışılan kayaları oluşturan ana bileşenlerin kütlece oranları, özgül ağırlığı etkilemektedir.
- 3) Opak minerallerin ve biyotitin tane boylarındaki artışlar  $V_p$ 'nin düşmesine, feldspat minerallerinin kütlece oranındaki artışlar ise artmasına neden olmaktadır.
- 4) Feldspat minerallerinin kütlece oranlarının artması LOI'nin yüksek değerler almasına neden olmaktadır.
- 5) Minerallerin ve hamur malzemesinin alansal dağılımı ve porozite, UCS'i etkileyen ana unsurlardır. Bileşenlerin kütlece oranlarının UCS üzerinde bir etkisi gözlenmemiştir.
- 6) Fenokristaller ve hamur, çatlaklanma gelişimi için öne çıkan bileşenlerdir. Ayrıca fenokristallerin artması enine deformasyonu ve dolayısıyla Poisson oranını artırmaktadır. Hamur içeriğinin artmasıyla, genel olarak gerilme yönüne paralel kırıklar oluşmaktadır. Böylece Poisson oranı nispeten daha düşük değerler almaktadır.
- 7) Çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin ve tek eksenli sıkışma dayanımlarının hamur, plajiyoklaz ve amfibol fenokristallerinden etkilendiği belirgindir. Biyotitler ise ana bileşenler içindeki en zayıf bileşen olup, biyotit artışı ile  $\sigma_{CI}$  ve UCS azalmaktadır.
- 8) Young modülü değerleri biyotitin artan tane boyu ve artan LOI değeri ile azalmaktadır.
- 9) Opak ve altere mineraller  $\sigma_{CI}$  ve UCS'i etkilemektedir. Artan opak mineral miktarı ile UCS azalmaktadır. Minerallerin taze

oldukları durumda içlerinde kırık gelişimi gözlenmez iken opaklaşmış ve altere oldukları durumlarda aynı mineraller içerisinde kırıklar gelişebilmektedir.

- 10) Örneklerin tek eksenli gerilmeler altındaki yenilme süreçlerinde kırıklar genel olarak, hamur ve fenokristallerin sınırları boyunca gelişmekte ve artan gerilmeler ile hamur malzemesine doğru ilerlemektedir.
- 11) Fiziksel özelliklerdeki değişimler, sayısal mineralojik analizler ile tespit edilebilmektedir. Diğer yandan, petrografik araştırmalar (mineral türü ve miktarı, tane geometrisi, önceki çatlak ve kırıklar vb.) kayanın tek eksenli yükler altındaki davranışını belirlemede daha yararlıdır.
- 12) Taze ve altere olmuş minerallerin bir arada olması, kayaların oluşumlarından sonraki dönemlerde oluşmuş kırık ve çatlaklar, tekil olarak herbir mineralin  $\sigma_{CI}$ , UCS ve çatlaklanma gelişimi üzerindeki etkisinin tam olarak anlaşılmasını engellemekte ve basit regresyon analizlerinde düşük korelasyon katsayılarının bulunmasına neden olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Akartuna, M., 1950. Imroz Adasında bazı Jeolojik müşahadeler. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 2(2), 8–18.
- Åkesson, U., Hansson, J., Stigh, J., 2004. Characterisation of microcracks in the Bohus granite, western Sweden, caused by uniaxial cyclic loading. Engineering Geology, 72, 131–142.
- Amann, F., Button, E. A., Evans, K. F., Gischig, V. S., Blümel, M., 2011. Experimental study of

- the brittle behavior of clay shale in shortterm unconfined compression. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 44 (4), 415–430.
- Amann, F., Ündül, Ö., Kaiser, P., 2014. Crack initiation and crack propagation in heterogeneous sulfate rich clay rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47 (5), 1849–1865.
- ANON, 1995. The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, 207–242.
- Arıkan, F., Ulusay, R., Aydın, N., 2007. Characterization of weathered acidic volcanic rocks and a weathering classification based on a rating system. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, 415–430.
- Barton, N., 2007. *Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy*. Taylor and Francis, London, 729 p.
- Baud, P., Wong, T. F., Zhu, W., 2014. Effects of porosity and crack density on the compressive strength of rocks. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 67, 202–211.
- Bieniawski, Z. T., 1967. Mechanism of brittle failure of rock part I—theory of fracture process. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 4 (4), 395–406.
- Brace, W. F., 1964. Brittle fracture of rocks. In: Judd, W.R. (Ed.), *State of Stress in the Earth's Crust: Proc., International Conference*, Santa Monica, Calif. American Elsevier Publishing Company, New York, 110–178 p.
- Brace, W. F., Paulding, B. R., Scholz, C., 1966. Dilatancy in fracture of crystalline rocks. *Journal of Geophysical Research*, 71 (16), 3939–3953.
- Brace, W. F., Silver, E., Hadley, K., Goetze, C., 1972. Cracks and pores: a closer look. *Science* 178 (4057), 162–164.
- Chen, S., Yue, Z. Q., Tham, L. G., 2004. Digital image-based numerical modeling method for prediction of inhomogeneous rock failure. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41, 939–957.
- Coggan, J. S., Stead, D., Howe, J. H., Faulks, C. I., 2013. Mineralogical controls on the engineering behavior of hydrothermally altered granites under uniaxial compression. *Engineering Geology*, 160, 89–102.
- Eberhardt, E., Stimpson, B., Stead, D., 1999. Effect of grain size on the initiation and propagation threshold of stress-induced brittle fracture. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 32 (2), 81–99.
- Gerçek, H., 2007. Poisson's ratio values for rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44, 1–13.
- Griffith, A. A., 1924. Theory of rupture. *Proceedings of the First International Congress of Applied Mechanics: Delft*, 55–63 p.
- Gupta, V., Sharma, R., 2012. Relationship between textural, petrophysical and mechanical properties of quartzites: a case study from northwestern Himalaya. *Engineering Geology*, 135–136, 1–9.
- Hatzor, Y. H., Palchik, V., 1997. The influence of grain size and porosity on crack initiation stress and critical flaw length in dolomites. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 34 (5), 805–816.
- Howarth, D. F., Rowlands, J. C., 1986. Development of an index to quantify rock texture for qualitative assessment of intact rock properties. *Geotechnical Testing Journal*, 9 (4), 69–79.

- Hudson, J. A., Cosgrove, J. W., Kemppainen, K., Johansson, E., 2011. Faults in crystalline rock and the estimation of their mechanical properties at the Olkiluoto site, western Finland. *Engineering Geology*, 117, 246-258.
- ISRM, 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. Kozan, Ankara, 1974–2006 p.
- Koral, H., Öztürk, H., Hanilçi, N., 2009. Tectonically induced coastal uplift mechanism of Gökçeada Island, Northern Aegean Sea, Turkey. *Quaternary International*, 197, 43–54.
- Lajtai, E. Z., 1974. Brittle fracture in compression. *International Journal of Fracture*, 10 (4), 525–536.
- Lan, H., Martin, C. D., Hu, B., 2010. Effect of heterogeneity of brittle rock on micromechanical extensile behavior during compression loading. *Journal of Geophysical Research*, 115, 1-14.
- Mahabadi, O. K., Randall, N. X., Zong, Z., Grasselli, G., 2012. A novel approach for microscale characterization and modeling of geomaterials incorporating actual material heterogeneity. *Geophysical Research Letters*, 39, 6 p.
- Martin, C. D., Chandler, N. A., 1994. The progressive fracture of Lac du Bonnet granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts*, 31 (6), 643–659.
- Moradian, Z., Einstein, H. H., Ballivy, G., 2016. Detection of Cracking Levels in Brittle Rocks by Parametric Analysis of the Acoustic Emission Signals. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49 (3), 785-800.
- Nicksiar, M., Martin, C. D., 2012. Evaluation of methods for determining crack initiation in compression tests on low-porosity rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45 (4), 607–617.
- Nicksiar, M., Martin, C. D., 2013a. Crack initiation stress in low porosity crystalline and sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 154, 64–76.
- Nicksiar, M., Martin, C. D., 2013b. Factors Affecting Crack Initiation in Low Porosity Crystalline Rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 154, 64-76.
- Onodera, T. F., Asoka, K. H. M., 1980. Relation between texture and mechanical properties of crystalline rocks. *Bulletin of International Association for Engineering Geology*, 22, 173–177.
- Öztürk, C. A., Nasuf, E., Bilgin, N., 2004. The assessment of rock cutability, and physical and mechanical rock properties from a texture coefficient. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 104 (7), 397–402.
- Přikryl, R., 2001. Some microstructural aspects of strength variation in rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 38 (5), 671–682.
- Přikryl, R., 2006. Assessment of rock geomechanical quality by quantitative rock fabric coefficients: Limitations and possible source of misinterpretations. *Engineering Geology*, 87, 149–162.
- Prodaivoda, G. T., Maslov, B. P., Prodaivoda, T. G., 2004. Estimation of thermoelastic properties of rock-forming minerals. *Russian Geology and Geophysics*, 45 (3), 389-404.
- Räsänen, M., 2004. Relationships between texture and mechanical properties of hybrid rocks from the Jaala–Iitti complex, southeastern Finland. *Engineering Geology*, 74, 197-211.

- Rasband, W. S., 2012. ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. <http://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2012.
- Schon, J. H., 1996. Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics. Elsevier, New York, 583 p.
- Tandon, R. S., Gupta, V., 2013. The control of mineral constituents and textural characteristics on the petrophysical & mechanical (PM) properties of different rocks of the Himalaya. Engineering Geology, 153, 125–143.
- Tapponnier, P., Brace, W. F., 1976. Development of stress-induced microcracks in Westerly granite. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 13, 103–112.
- Temel, Ö., Çiftçi İ., 2002. Gelibolu Yarımadası, Gökçeada ve Bozcaada Tersiyer çökellerinin stratigrafisi ve ortamsal özellikleri. TPJD Bulletin 14 (2), 1740.
- 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.
- 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 (1–2), 135–157.
- Ündül Ö., Amann F., Aysal, N., Plötze, M., 2015. Micro-Textural effects on crack initiation and crack propagation of andesitic rocks. Engineering Geology, DOI: 10.1016/j.enggeo.2015.04.024.
- Ündül, Ö., Tuğrul, A., 2012. The influence of weathering on the engineering properties of dunites. Rock Mechanics and Rock Engineering, 45 (2), 225-239.
- Ündül, Ö., 2016. Assessment of mineralogical and petrographic factors affecting petro-physical properties, strength and cracking processes of volcanic rocks. Engineering Geology, 210, 10–22.
- Yeşiloğlu-Gültekin, N., Sezer, E. A., Gökçeoğlu, C., Bahyan, H., 2013. An application of adaptive neuro fuzzy inference system for estimating the uniaxial compressive strength of certain granitic rocks from their mineral contents. Expert Systems with Applications, 40 (3), 921–928.
- Yılmaz, N. G., Göktan, R.M., Kibici, Y., 2011. Relation between some quantitative petrographic characteristics and mechanical strength properties of granitic building stones. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 48 (3), 506–513.
- Zorlu, K., Ulusay, R., Ocakoğlu, F., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., 2004. Predicting intact rock properties of selected sandstones using petrographic thin-section data. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41 (1), 93 – 98.

## İgnimbiritlerdeki Kılcal Su Emme Özelliğinin Ahlat Selçuklu Mezar Taşlarının Bozunmasındaki Rolü

*The Role of Capillary Water Absorption Characteristics of Ignimbrites on the Deterioration of Ahlat Seljuk Tombstones*

Mutluhan AKIN<sup>1</sup>, İsmail DİNÇER<sup>1</sup>, Ali ÖZVAN<sup>2</sup>, Vural OYAN<sup>3</sup>, Mücip TAPAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, NEVŞEHİR

<sup>2</sup>Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, VAN

<sup>3</sup>Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, VAN

<sup>4</sup>Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, VAN

Geliş (received) : 06 Haziran (June) 2016

Düzeltilme (revised) : 26 Temmuz (July) 2016

Kabul (accepted) : 28 Temmuz (July) 2016

### ÖZ

Selçuklular dönemine ait Ahlat Selçuklu mezar taşları, dünya üzerindeki bilinen en büyük Müslüman Mezarlığı olması ve taşıdığı tarihsel önem nedeniyle UNESCO'nun Dünya Kültür Mirası Geçici Listesi'nde yer almaktadır. Mezar taşı olarak, bölgede oldukça yaygın olarak bulunan ve piroklastik bir kaya türü olan ignimbiritler kullanılmış olup, yumuşak olmaları ve kolay işlenebilmelerini nedeni ile üzerlerine çeşitli motifler ve yazıtlar işlenmiştir. Ancak söz konusu mezar taşları, yaklaşık 800 yıllık süreç içerisinde bozunma etkilerine maruz kalmıştır. Mezar taşları incelendiğinde dikkati çeken en önemli unsur, birçok mezar taşının orta bölgelerine yakın kısımlarından kırılmış olmasıdır. Bu çalışma kapsamında Ahlat Selçuklu mezar taşlarının bozunmasına neden olan unsurların açığa çıkarılması amacıyla taze ignimbirit örnekleri üzerinde deneysel çalışmalar yapılmış ve özellikle kılcal su emmenin bozunma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Buna göre, ignimbiritlerin yüksek gözenekliliği ve kılcal su emme özelliği mezar taşlarının bozunmasındaki en önemli etkidir.

**Anahtar Kelimeler:** Ahlat Taşı, Bozunma, Ignimbirit, Kılcal Su Emme, Selçuklu.

### ABSTRACT

*The Seljuk Tombs of the Seljuk Empire in the Ahlat region are included in UNESCO's World Heritage Tentative List due to the fact that the tombstones are known to be the largest graveyards of Muslims with their historical significance. Tombstones were erected using ignimbrite type pyroclastic rocks which are widespread in the region, and several inscriptions and patterns were carved on them thanks to their*

M. Akın

E-posta:mutluhanakin@nevsehir.edu.tr

*softness and easy processing. However, these tombstones have been subjected to weathering effects for almost a duration of 800 years. The most striking point after the inspection of tombstones is that many of them were broken from the middle section. In this study, experimental studies were carried out on fresh ignimbrite specimens and particularly the effect of capillary water absorption on deterioration was investigated to reveal the factors leading to deterioration of Ahlat Seljuk tombstones. Accordingly, high porosity and capillary water absorption characteristics of the ignimbrites are found to be the major reasons for the deterioration of tombstones.*

**Keywords:** Ahlat Stone, Deterioration, Ignimbrite, Capillary Water Absorption, Seljuk.

## GİRİŞ

Kaya malzemeleri, doğal ve dayanıklı olmaları sebebiyle, geçmişten günümüze birçok yapıda ve tarihi eserde kullanılmıştır. Ancak, kaya kütlelerinde olduğu gibi, doğal yapıtaşları da atmosferik etkiler altında zamana bağlı olarak bozunma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle doğal yapı malzemelerinin bozunma davranışlarının ortaya konması, uygulama ve yenileme (restorasyon) çalışmaları için oldukça önemlidir. Bu amaca paralel olarak son yıllarda yapıtaşı bozunmasına yönelik birçok bilimsel araştırma gerçekleştirilmiştir (Topal ve Doyuran, 1997; Siegesmund vd., 2002; Prikryl vd., 2003; Topal ve Sözmen, 2003; Öner vd., 2006; Török, 2006; Akın ve Özsan, 2011, Korkanç, 2013; Cardanes vd., 2014).

Piroklastik bir kaya türü olan ignimbirit, hafif ve kolay işlenebilir olmasından dolayı sıklıkla tercih edilen yapıtaşlarından biridir. Aynı zamanda yüksek ısı ve ses yalıtım özelliğine sahip olan ignimbiritler, tarihi birçok yapıda kullanılmasının yanı sıra, günümüzde de yapı sektöründe özellikle kaplama taşı olarak tercih edilmektedir. Van Gölü'nün batı sahilinde yer alan Ahlat ilçesi ve yakın çevresindeki tarihi eserlerde

ve güncel yapılarda da ignimbiritler yoğun olarak kullanılmıştır. Selçuklular 1000'li yılların başlarında Ahlat yöresinde hüküm sürmeye başladıklarında, mimari eserlerinde kolay işlenebilir olmasından dolayı bölgede yaygın olarak bulunan ignimbiritleri kullanmışlardır. Bu eserlerin en önemlilerinden bir tanesi de bu çalışmanın ana konusunu oluşturan tarihi Ahlat Selçuklu Mezarları'dır (Şekil 1).

Yaklaşık 1700 m kotundaki düz bir arazi üzerinde yer alan ve ignimbirit kullanılarak yapılan bu mezar taşları, bölgenin sert iklim koşullarının da etkisiyle yaklaşık 800 yıldır bozunma etkilerine maruz kalmaktadır. 1950-2015 arasındaki meteorolojik gözlemlere göre, bölgenin kurak bir iklime sahip olduğu ve ortalama en düşük sıcaklık değerlerinin Aralık – Mart ayları arasında olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Öte yandan, ilde gözlenen en düşük sıcaklık -22 C° olarak Şubat, en yüksek sıcaklık ise 38 C° olarak Temmuz ayında ölçülmüştür ([www.mgm.gov.tr](http://www.mgm.gov.tr)). Bölgedeki yüksek sıcaklık farkları, özellikle atmosferik koşullara maruz kalan Selçuklu Mezar Taşları'nı etkileyen unsurların başında gelmektedir.





Şekil 1. Ahlat Selçuklu Mezarları yerbulduru ve jeoloji haritası (Akbaş vd., 2015'ten değiştirilerek).

Figure 1. Location and geological map of the Ahlat Seljuk Tombs (after Akbaş et al., 2015).

Bölgede kar yağış miktarı da yüksek olup, bugüne kadar ölçülen en yüksek kar yağışı, 1968 yılında 343 cm olarak ölçülmüştür ([www.mgm.gov.tr](http://www.mgm.gov.tr)). Özellikle soğuk dönemlerde çevrimsel olarak etkili olan donma-çözülme, yöredeki yapıtaşlarının bozunmasındaki en önemli etkenlerden bir tanesidir (Özvan vd., 2015). Kimyasal ve fiziksel bozunma karşısında oldukça hassas olan bu ignimbiritler, Nemrut volkanizmasının ürünüdürler (Aydar vd., 2003; Karaoğlu vd., 2005; Özdemir vd., 2006). Kültürel miras olan Ahlat Selçuklu Mezar Taşları'nda bozunmanın izleri gözlenebilmektedir (Şekil 2). Özellikle Ahlat yerleşim merkezine daha yakın olan mezar taşlarında kuru iklim ve yüksek

karbon içeriğine bağlı olarak liken oluşumları dikkati çekmektedir. Söz konusu likenler daha çok Selçuklu Mezar Taşları'nın üst bölgelerinde yer almaktadır. Literatürde likenlerin yapıtaş bozunmasındaki rolü konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. Liken oluşumları zaman içerisinde doğal yapıtaşlarının görünümü ve özellikleri üzerinde olumsuz etkiler yaratabilirler (Garty, 1992; Lisci vd., 2003). Öte yandan, diğer bazı araştırmacılar ise kaya yüzeyini kaplayan likenlerin kayayı fiziksel bozunmanın etkilerinden koruduğunu öne sürmektedir (Arino vd., 1995; Seaward, 2001; Mottershead vd., 2003; Garcia-Valles vd., 2003; Carter ve Viles, 2005).

Akın, Dinçer, Özvan, Oyan, Tapan

Çizelge 1. Bitlis ili ve civarına ait uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama sıcaklık değerleri (1950 – 2015, www.mgm.gov.tr).

Table 1. Average temperature values of the long-term period in Bitlis and close vicinity (1950-2015, www.mgm.gov.tr).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Sıcaklık (°C)	-3.0	-2.1	1.7	7.6	13.2	18.5	22.8	22.4	17.6	11.3	4.7	-0.9



Şekil 2. Ahlat Selçuklu mezar taşlarından çeşitli görünümeler.

Figure 2. Several views of the Ahlat Seljuk Tombstones.

Fiziksel ve kimyasal etkiler nedeniyle bozulan bu tarihi mezar taşları üzerinde yapılan arazi incelemelerinde dikkati çeken en önemli problemler, mezar taşlarının yaklaşık orta noktalarından kırılması, renk değişimleri ve liken oluşumlarıdır (Özvan vd., 2015). Ancak, tüm bu olumsuz etkenlere karşın, mezar taşlarının birçoğunun üzerindeki yazıtlar korunmuş durumdadır. Bu çalışma, Ahlat Selçuklu Mezar Taşları'nın bozunmasında ve yaklaşık orta noktalarından kırılmasındaki nedenlerin araştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, ignimbiritlerin fiziko-mekanik özelliklerinin ortaya konması ve kılcal su emme (kapilarite) özelliğinin Ahlat Selçuklu Mezar Taşları'nın bozunması üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Arazide mezar taşlarının yakınındaki ignimbirit ocaklarından alınan blok örnekler laboratuvara nakledilerek karot örnekler alınmış ve deneysel çalışmalar bu örnekler üzerinde uygulanmıştır. Ayrıca ignimbiritlerdeki gözenek boyutları ve dağılımı civa porozimetresi deneyleri ile belirlenmiştir. Son olarak, ignimbiritlerdeki kılcal su emmenin bozunma üzerindeki etkisi bir model deney üzerinde incelenerek mezar taşlarında gözlenen bozunma modeli açıklanmaya çalışılmıştır.

## AHLAT SELÇUKLU MEZAR TAŞLARININ TARİHSEL ÖNEMİ

Van Gölü'nün batı sahilinde kurulmuş olan ve Bitlis iline bağlı olan Ahlat ilçesi tarihi bir yerleşimdir. Nemrut ve Süphan volkanlarının ortasında kurulmuş olan Ahlat, Selçuklular'dan kalma birçok cami, hamam, kümbet ve mezar gibi tarihi yapı barındırmaktadır. Selçuklu Türkleri Ahlat'a 1093 yılında gelmişler ve bu

yörede 1230 yılına kadar hüküm sürmüşlerdir. Bölgedeki tarihi yapılar, Selçuklu mimarisinin en güzel eserleri arasında yer almaktadır. Tarihi Ahlat Selçuklu Mezarlığı, dünya üzerindeki en büyük Müslüman Mezarlığı olup (Karamağaralı, 1992), UNESCO'nun Dünya Kültür Mirası Geçici Listesi'nde yer almaktadır. Üzerlerinde farklı desen, rölyef ve yazıtlar içeren Selçuklu Mezar Taşları farklı kalınlık ve genişliklerde olup, yaklaşık 1-2 m yüksekliktedir. Bu mezar taşlarından en yüksek olanı, toprağa gömülü olan kısmı dahil olmak üzere, 5 m'dir. Mezar taşlarının tamamı, yöresel olarak Ahlat Taşı olarak da adlandırılan ignimbirit kullanılarak yapılmıştır.

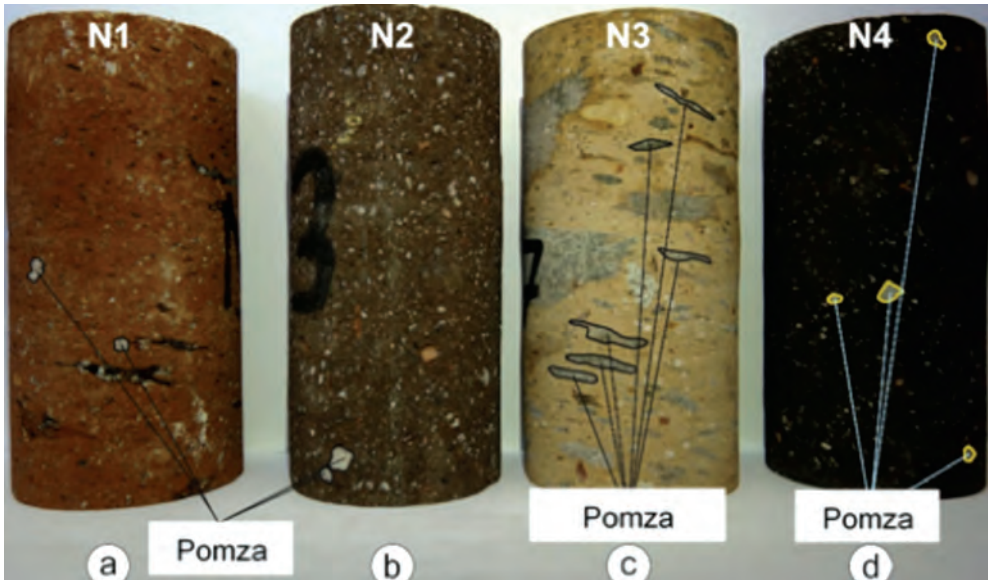
## İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Van Gölü'nün güneybatısında yer alan Kuvaterner yaşlı Nemrut stratovolkanı, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kıta-kıta çarpışmasının bir ürünüdür (Keskin, 2007). Deniz seviyesinden yaklaşık 2950 m yüksekte olan bu volkanın taban alanı 210 km<sup>2</sup>'dir ve 7x8 km'lik bir kaldera çapına sahiptir (Şekil 1). Karaoğlu vd. (2005) ve Özdemir vd. (2006) tarafından belirtildiği üzere, Nemrut volkanizması, kaldera öncesi, kaldera sonrası ve geç dönem olmak üzere üç ana safhaya ayrılmaktadır. Kaldera öncesi dönemdeki ilksel volkanizma malzemesini lav akıntıları, lav domları ve ignimbiritler gibi büyük miktarda piroklastik malzeme oluşturmaktadır. Kaldera sonrası dönem ise riyolitik lav akıntıları ve dayklar ile temsil edilmektedir. Geç dönem volkanizmasında ise vitrofirik, riyolitik ve bazaltik lav akıntıları bulunmaktadır. Nemrut volkanizmasının ürünü olan ignimbiritler kaldera öncesi dönemde patlama ürünü olarak yüzeye çıkmışlar ve Nemrut volkanının yamaçları

boyunca tüm yönlerde yayılmışlardır (Şekil 1). Bölgedeki ignimbiritlerin toplam hacmi 58 km<sup>3</sup> civarındadır (Özdemir vd., 2006).

Bölgede yayılım gösteren ignimbiritler heterojen bir yapı göstermekte olup, farklı oranlarda pomza, volkanik cam ve litik malzeme içerebilmektedirler. Piroklastik akma ürünü olan bu ignimbiritler, yer çekimi ve laminer akım sistemi içerisinde yüksek sıcaklık koşullarında oluşmuşlardır. Bu nedenle Ahlat bölgesinde farklı renk, doku ve yapısal özellik gösteren ve farklı kaynaklaşma derecelerine sahip ignimbiritler mevcuttur.

Taşları'nın yapımında kullanılmıştır. Bölgedeki ignimbirit oluşumları genel olarak masif ve hamur ağırlıklı bir yapı gösterebilir de, zaman zaman farklı boyutlarda hamur içerisinde dağılmış pomza ve litik malzeme de gözlenmektedir. Ancak, genel olarak değerlendirildiğinde litik malzemeye oranla pomza parçacıkları hamur içerisinde daha çok bulunmaktadır. Nemrut ignimbiritlerinin kaynaklaşma dereceleri de iyiden kötüye kadar değişmektedir. Orta-iyi derecede kaynaklaşmış olan N3 ignimbiritleri sarımsı gri-krem renklidir ve diğer ignimbiritlere oranla daha iri ve fazla litik malzeme içermekle



Şekil 3. Çalışmada incelenen dört farklı ignimbirit örneğinden görünüşler.

Figure 3. Close-up views of four different ignimbrite samples investigated in this study.

### MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, bölgedeki tarihi eserlerde ve yapılarda yaygın olarak kullanılan N1 (kırmızımsı kahverengi), N2 (koyu kahverengi), N3 (sarımsı gri) ve N4 (siyah) olmak üzere dört farklı ignimbirit seviyesi değerlendirilmiştir (Şekil 3). Bu örneklerden N1 ve N2, Selçuklu Mezar

birlikte pomza tanelerinde daha fazla yassılaşıma gözlenmektedir. Oldukça koyu renkli olan N4 grubu ignimbiritler ise ignimbirit seviyeleri arasında en alt seviyede bulunmaktadır (Özvan vd., 2015).

Ahlat Selçuklu Mezarlığı yakınında bulunan ve tarihi mezar taşlarının yapımında

da kullanıldığı düşünülen ocaklardan yaklaşık 50x50x30 cm boyutlarında blok örnekler alınmıştır. Araziden laboratuvara nakledilen blok örneklerden boy/çap oranı en az 2/1 olan NX çaplı karot örnekler alınmıştır. Deneysel çalışmalar, UNE-EN 1925 (1999), ISRM (2007) ve TS699 (2009) standartları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ignimbirit örneklerinin birim hacim ağırlığı (g), görünür gözenekliliği (n), ağırlıkça su emme yüzdesi, P-dalgası hızı (Vp), tek eksenli basınç dayanımı ve kılcal su emme katsayısı (C) belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Selçuklu Mezar Taşları'nda kullanılan ignimbiritlerin su emme potansiyelleri belirlenerek, kılcal su emmenin mezar taşlarının bozunmasındaki rolü incelenmiştir. Örnekler üzerindeki kılcal su emme deneyleri UNE-EN 1925 (1999) standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre, su derinliği 3.00±1 mm olan bir kabın içerisine 3 adet ignimbirit örneği (boy/çap oranı 1) dik olarak yerleştirilmiştir. Su seviyesinde buharlaşmaya bağlı olarak değişim olmaması için deney kabı yeterince büyük seçilmiştir. 24 saat su içinde bekletilen örnekler tarafından emilen su belirli zaman aralıklarında (3, 5, 10, 15, 30, 60, 480 ve 1440 dakika) tartılarak ölçülmüştür. Kılcal su emme katsayısı (C) aşağıdaki formülle belirlenmiştir.

$$w = c \cdot t^{0.5} \quad (1)$$

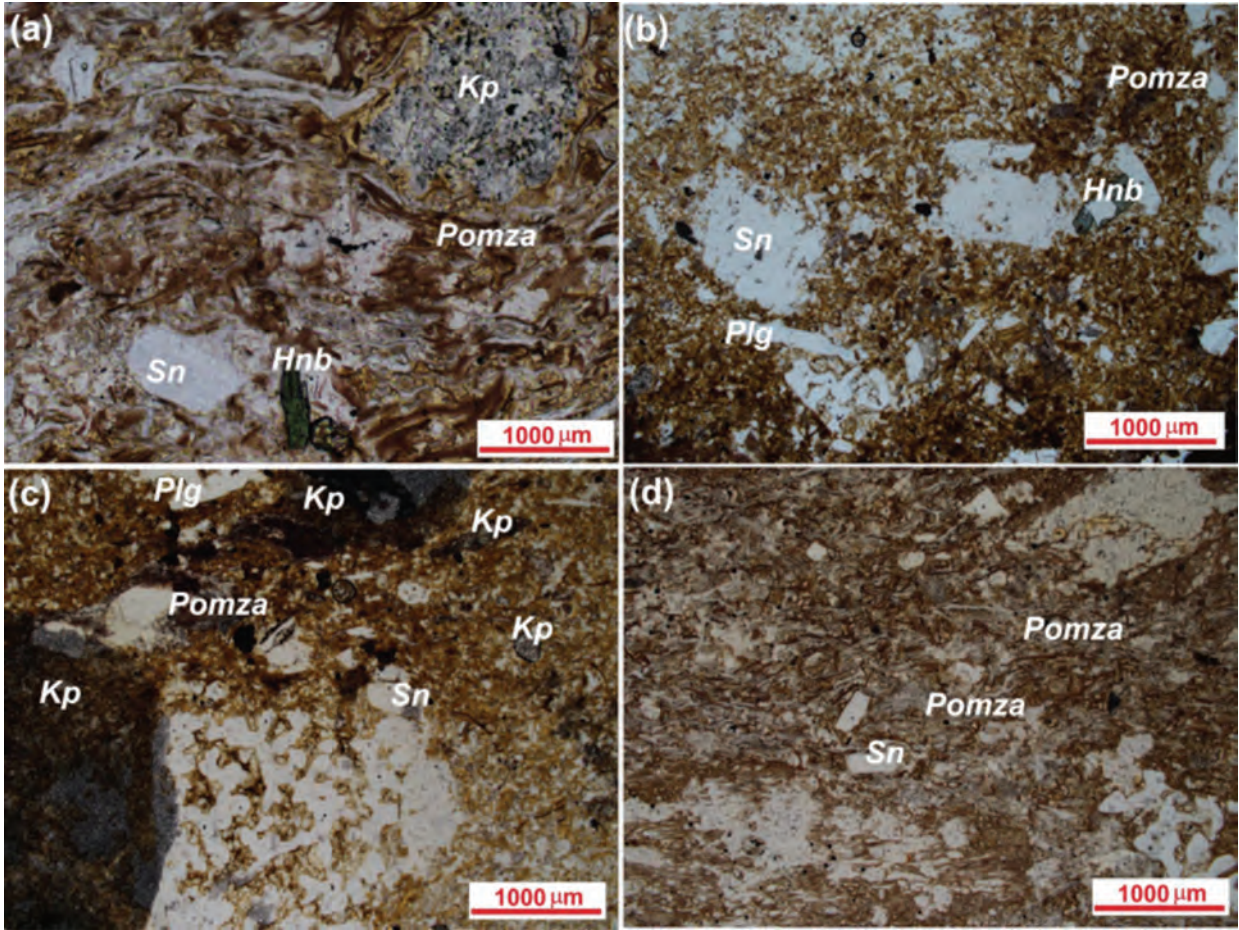
Formülde w emilen su miktarını (gr/m<sup>2</sup>), t ise emilme zamanını (s) göstermektedir.

Ahlat Selçuklu Mezar Taşları, genellikle 1.5-2 m yükseklikte olmakla birlikte, en yüksek mezar taşı 5 m'dir (Elmastaş, 2001).

Laboratuvar ortamında gerçek boyutlu mezar taşlarının kullanımı mümkün olmadığından, mezar taşlarındaki kılcal su emme özelliğini incelemek amacıyla 1:10 ölçeğinde, 5 cm'lik kısmı toprak içine gömülü olacak şekilde ignimbirit malzemenin model mezar taşları yapılmıştır. Model olarak kullanılan örnekler, kılcal hareketi doğrudan etkilememek için litik malzeme yönlenmeleri düşeye yakın olacak şekilde toprağa yerleştirilmiştir. Model deney sırasında, mezar taşlarındaki kılcal su emmenin ve buna bağlı kılcal tuz hareketinin gözlenmesi için model mezar taşları haftada iki kez %14'lük MgSO<sub>4</sub> çözeltisi ile sulanmıştır.

## AHLAT İGNİMBİRİTLERİNİN PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Çalışma kapsamında incelenen ignimbirit örneklerinin ince kesit görüntüleri Şekil 4'te sunulmaktadır. Buna göre N1 nolu örnek içinde hornblend, sanidin, kayaç parçaları ve pomza kıymıkları; öteksitik hamur içinde dağılmış durumdadır (Şekil 4-a). İncelenen kesitlerde ortalama litik malzeme oranı N1 nolu örnek için % 13 civarındadır. N2 nolu örnek içinde hornblend, plajiyoklaz ve sanidin kristalleri ile birlikte pomza parçaları bulunmaktadır (Şekil 4-b). N2 nolu örnek için litik malzeme oranı ise % 17'dir. N3 nolu örnek plajiyoklaz, sanidin ve pomza ile yoğun kayaç parçalarından oluşmaktadır (Şekil 4-c). Litik malzeme oranı % 32'dir. N4 nolu örnek içinde pomza parçaları ve sanidin kristalleri egemendir (Şekil 4-d) ve litik malzeme oranı % 20'dir.



Şekil 4. Çalışma kapsamında incelenen ignimbritlerin ince kesit fotoğrafları (Hnb: hornblend, Kp: kayaç parçası, Plg: plajiyoklaz, Sn: sanidin).

Figure 4. Thin section views of the studied ignimbrites (Hnb: hornblende, Kp: lithic fragment, Plg: plagioclase, Sn: sanidine).

İncelenen Ahlat ignimbritlerinin kimyasal bileşimi Çizelge 2’de verilmiştir. Buna göre örnekler % 60-70 oranında  $\text{SiO}_2$  içermektedir. % 15 civarında bulunan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ignimbritlerin diğer önemli bileşenini oluşturmaktadır. Öte

yandan örneklerde % 5 oranında  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  belirlenmiştir. Toplam alkali silika diyagramına (Le Bas vd., 1986) göre Ahlat ignimbritleri trakit ve riyolit grubundadır.

Çizelge 2. İncelenen ignimbirit örneklerinin kimyasal bileşimleri.

Table 2. Chemical composition of the investigated ignimbrite specimens.

%	Örnekler			
	N1	N2	N3	N4
SiO <sub>2</sub>	66.25	66.80	72.43	66.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.03	15.53	12.44	16.24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.47	4.49	4.28	4.62
MgO	0.21	0.20	0.04	0.23
CaO	1.45	1.46	0.45	1.55
Na <sub>2</sub> O	5.90	5.85	4.96	5.73
K <sub>2</sub> O	5.11	5.11	5.10	5.01
TiO <sub>2</sub>	0.40	0.38	0.26	0.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.07	0.01	0.06
MnO	0.14	0.14	0.11	0.14
Toplam	100	100	100	100

## AHLAT İGNİMBİRİTLERİNİN FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Ahlat ignimbiritleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te özetlenmiştir. Buna göre, N1, N2, N3 ve N4 kodlu ignimbiritlerin ortalama birim hacim

ağırlıkları sırasıyla 15.13, 15.77, 16.82 ve 14.85 kN/m<sup>3</sup>'tür. Bu değerler, Ahlat ignimbiritlerinin çok düşük birim hacim ağırlığa sahip kaya grubunda (NBG, 1985) olduğunu göstermektedir. Öte yandan, incelenen örneklerin gözenekliliği çok yüksek olup, % 20.35 ile % 31.53 arasında değişmektedir. Örneklerin tek eksenli basınç dayanımları incelendiğinde, N1, N2 ve N4 nolu örneklerin dayanımları benzer olup, 12.10 MPa ile 15.78 MPa arasında değişmektedir. Ancak, sarımsı gri renkli N3 nolu örnek grubunun dayanımı, iyi kaynaklaşma derecesine de bağlı olarak, daha yüksek olup, 28.92 MPa olarak belirlenmiştir. Fakat, yine de tüm ignimbirit grupları Deere ve Miller (1966) sınıflamasına göre düşük-çok düşük dayanımlı kaya grubuna girmektedirler. Doygun koşullardaki dayanım değerlerine bakıldığında ise, ignimbiritlerde kuru ve doymuş koşullar arasında önemli bir dayanım değişiminin olmadığı görülmektedir. İncelenen ignimbiritlerde P-dalgası hızları da 1491 ile 2623 m/s arasında değişmektedir. En yüksek P dalgası hızı N3 grubu örneklerde iken, en düşük hız N4 nolu örnek grubuna aittir.

Çizelge 3. Ahlat ignimbiritlerinin (N1, N2, N3, N4) fiziko-mekanik özellikleri.

Table 3. Physico-mechanical properties of the Ahlat ignimbrites (N1, N2, N3, N4).

Parametre	N1		N2		N3		N4	
	Ort	n	Ort	n	Ort	n	Ort	n
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	15.13	(30)	15.77	(21)	16.82	(8)	14.85	(26)
Doygun Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	17.89	(7)	18.60	(12)	18.59	(7)	18.00	(12)
Görünür gözeneklilik (%)	28.89	(11)	27.40	(12)	20.35	(6)	31.53	(12)
Ağırlıkça Su Emme (%)	18.68	(11)	16.92	(12)	12.03	(6)	20.80	(12)
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	15.78	(5)	12.10	(3)	28.92	(6)	12.43	(6)
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)*	13.59	(10)	12.17	(10)	26.83	(3)	12.31	(10)
P-dalga Hızı (m/sn)	1709	(14)	2378	(7)	2623	(4)	1491	(10)
P-dalga Hızı (m/sn)*	1554	(6)	2257	(7)	2212	(4)	1287	(7)

\* Doygun koşul, n: Deney sayısı

## AHLAT İGNİMBİRİTLERİNİN KILCAL SU EMME ÖZELLİKLERİ

Tarihi yapıları olumsuz yönde etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesi sudur. Su tek başına veya diğer çevresel faktörlerle birlikte yapıtaşlarının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemekte ve bozunmayı hızlandırmaktadır (Cueto vd., 2009). Kılcal su emme, kayaların nem içeriğini artıran önemli unsurlardan biridir. Gözenekli bir ortam sıvı ile temas ettiğinde, kılcallık özelliğinden dolayı sıvıyı bünyesine alır. Yapıtaşının kılcal su emme özelliğine bağlı olarak su tabandan tavana doğru yükselir. Kayaların kılcal su emme özelliğinin bozunmayı artırdığı çeşitli bilimsel yayınlarda belirtilmektedir (Özdemir, 2002; Yıldız vd., 2010).

Ahlat ignimbiritlerinde, boy/çap oranı 1 olan örnekler üzerindeki kılcal su emme deneylerinin yanı sıra, kılcal yükselim hızı ve davranışını gözlemek için boy/çap oranı 2/1 olan karot örnekleri üzerinde de suyun kılcal etki ile yükselimi izlenmiştir. Bu model deneye ait görüntüler Şekil 5'te gösterilmektedir. N2 ve N4 nolu ignimbirit örnekleri, hızlı bir kılcal yükselimle, ilk 25 dakikalık kılcal su emme deneyi sonunda tamamen doygun hale gelmiştir. Aynı zaman diliminde (25 dk) N1 ve N3 nolu örneklerdeki tabandan itibaren kılcal su yükselimi 9.27 ve 2.74 cm'dir. N3 nolu örneğin

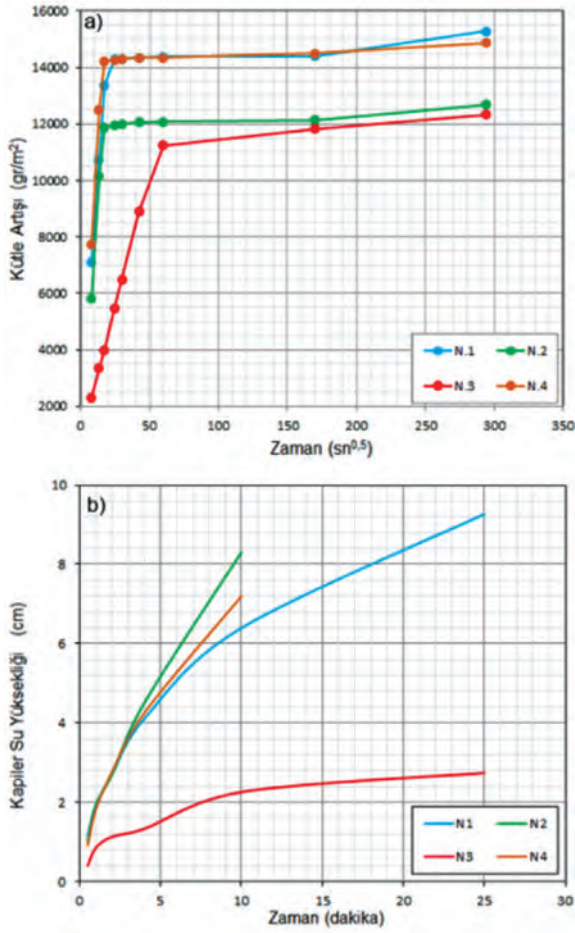
yüksek kaynaklaşma derecesi ve içerdiği kaya parçaları kılcal su yükselimini engellemiştir. 300 dakika sonunda tüm örnekler doygun hale gelmiş olsalar da, Şekil 5'te de görüleceği üzere, N3 nolu örneğin üst bölümündeki kaya parçası halen kuru durumdadır. Bu duruma göre, ignimbiritler içerisindeki farklı boşluk yapısına sahip olan çeşitli litik parçalar kılcal su emme davranışını kontrol etmektedir (Özvan vd., 2015).

Şekil 6-a'da ise ignimbiritlerin ortalama kılcal su emme ( $g/m^2$ ) - karekök zaman (saniye) grafiği gösterilmiştir. Grafiklerin dik kısmının eğiminden hesaplanan kılcal su emme katsayıları (C), N1, N2, N3 ve N4 nolu örnekler için sırasıyla 476.81, 685.71, 187.32 ve 821.88  $gr/m^2.sn^{0.5}$ 'dir. N3 nolu örneğin kılcal su emme katsayısı diğer üç örnek grubundan oldukça düşüktür. Snethlage (2005)'e göre, incelenen tüm ignimbirit örnekleri yüksek su emme kapasitesine sahip kaya grubuna girmektedir. İgnimbirit örneklerindeki zamana bağlı kılcal su yükselimini gösteren grafik Şekil 6-b'de sunulmaktadır. Grafikten de görüleceği üzere, N1, N2 ve N4 örneklerinde ilk 10 dakikalık dönemde hızlı bir kılcal yükselim gözlenirken, N3 nolu örnekte, litik malzemeler tarafından kontrol edilen, tamamen farklı ve yavaş bir yükselim söz konusudur.





Şekil 5. İgnimbritlerde kılcal su emme davranışına ait farklı zaman aralıklarında alınmış görüntüler.  
 Figure 5. Views of capillary water absorption behavior of ignimbrites taken at different time intervals.



Şekil 6. İgnimbiritlerde zamana bağlı kılcal su emme grafikleri.

Figure 6. Capillary water absorption versus time graphs of the ignimbrites.

### AHLAT İGNİMBİRİTLERİNDE GÖZENEK BOYUTLARI

Ahlat ignimbiritlerindeki gözenek boyutları ve dağılımı, civa porozimetresi deneyleri ile ortaya konmuştur. İncelenen dört farklı ignimbirit seviyesine ait, kümülatif gözenek hacmine karşılık gözenek çapını gösteren grafikler Şekil 7'de gösterilmiştir. Eğrilerde, diğer örnek gruplarından farklı olarak N3 nolu sarımsı gri

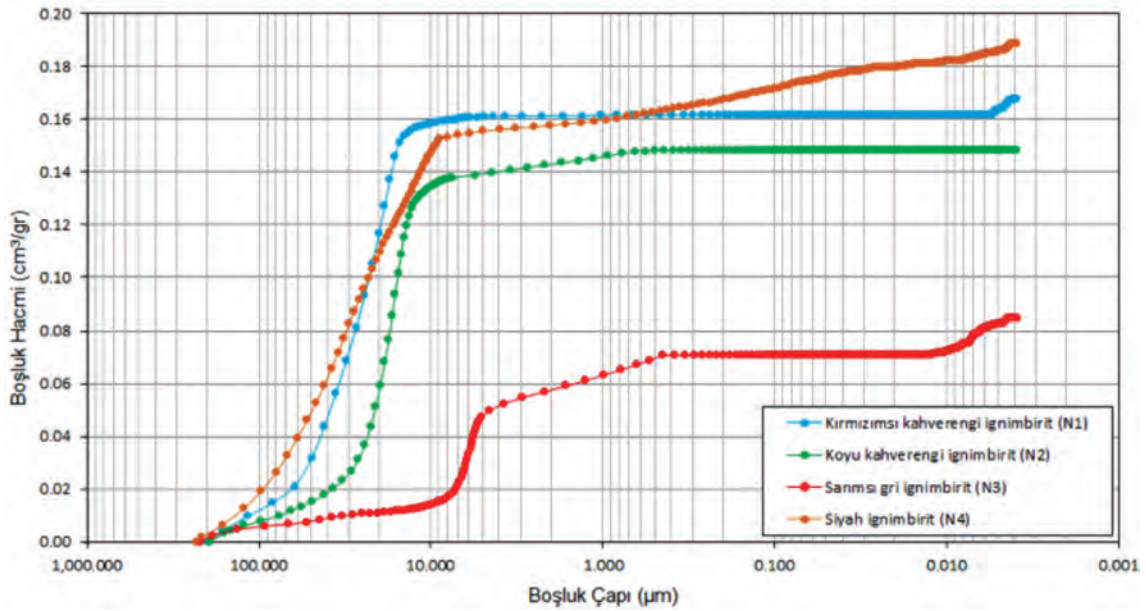
ignimbiritlerin toplam boşluk hacminin  $0.085 \text{ cm}^3/\text{g}$  olduğu görülürken, N1, N2 ve N4 nolu örnek gruplarında toplam boşluk hacmi  $0.148$  ile  $0.189 \text{ cm}^3/\text{g}$  arasında değişmektedir. Tüm örnek gruplarında gözenek çapı  $0.004$  ile  $200 \text{ mm}$  arasında değişmekle birlikte bazı gözenek çapı değerlerinde ani sıçramalar dikkati çekmektedir. Örneğin N3 nolu ignimbiritlerde bu ani artışlar  $5$  ile  $7 \text{ mm}$  arasındayken, diğer örneklerde  $20$  ile  $50 \text{ mm}$  arasında gözlenmektedir. Gözenek boyutlarıyla ilgili bu eğrilerdeki ani yükselimler baskın gözenek çapını işaret etmektedir (Tuğrul, 2004). Bu sonuca göre, N1, N2 ve N4 nolu ignimbirit örneklerinin gözenek çapları, N3 nolu örneğe göre daha büyüktür (Özvan vd., 2015).

### AHLAT SELÇUKLU MEZAR TAŞLARINDA BOZUNMA

İgnimbiritlerdeki mühendislik özelliklerini kontrol eden en önemli faktörler kaynaklaşma derecesi ve litik malzeme içeriğidir. Öte yandan, ignimbiritlerin yüksek kılcal su emme özelliği, yapıtaşı olarak kullanılanların duraylılıkları üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Benavente vd. (2001), gözenek boyutu ve gözenekli ortamdaki sıvının hareketine neden olan kuvvetleri dikkate alarak üç farklı gözenek sınıfı önermiştir. Buna göre, gözenek çapı  $2500 \text{ mm}$ 'den büyük olan ve gözeneklerdeki sıvı hareketinin yerçekimi kuvvetleri tarafından kontrol edildiği gözeneklilik, makro gözeneklilik olarak tanımlanmıştır. Gözenek çapının  $0.1$  ile  $2500 \text{ mm}$  arasında değişmesi durumunda mezo gözeneklilikten söz edilir ve sıvı hareketi kılcal kuvvetler ile sağlanır. Gözenek çapı  $0.1 \text{ mm}$ 'nin altında ise ortam mikro gözeneklidir ve adsorpsiyon kuvvetleri sıvı hareketini yönlendirir. Bu sınıflamaya göre, civa porozimetresi

deney sonuçları dikkate alındığında, Ahlat ignimbiritleri mezo ve mikro gözenekli olarak sınıflandırılabilirler. Bu nedenledir ki, Ahlat ignimbiritleri içerisindeki sıvı hareketi kılcal kuvvetler yardımıyla gerçekleşir. İncelenen N3 nolu ignimbirit örneği daha düşük basınçlı gözenek çapı değerleri (5-7 mm) sunmakla birlikte, kılcal su emme deneylerinde diğer örneklere oranla düşük su emme özelliği göstermiştir. Her ne kadar bu durum çelişkili görünmekle birlikte, daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere, N3 nolu örneğin içerisindeki geçirimsiz bariyer oluşturan litik malzemelerin bu sonuca neden olduğu düşünülmektedir (Özvan vd., 2015).

olan mezar taşlarının orta bölgeleri kılcal bölge içerisinde kalmaktadır ve bu zonda tuz kristallenmesi daha aktiftir. Benavente vd. (2001) tarafından da belirtildiği üzere, kılcal bölgedeki tuz kristallenmesi doygun bölgeye oranla daha yüksektir. Bu nedenle bozunma mezar taşlarının orta bölümlerinde daha etkili olmaktadır. Selçuklu mezarlığında yapılan arazi gözlemleri, mezar taşlarının belirli bir yükseklikte kırıldığı göstermektedir. 941 adet kırık mezar taşı üzerinde yapılan ölçümlerde kırılma yüksekliğinin yerden itibaren 10 ile 70 cm arasında değiştiği belirlenmiş olup, bu mesafe ortalama kılcal su emme yüksekliğine karşılık gelmektedir (Şekil 8-a,b).



Şekil 7. İncelenen ignimbirit örneklerinin gözenek hacmi-gözenek çapı eğrileri.

Figure 7. Pore volume versus pore diameter graphs of the investigated ignimbrites.

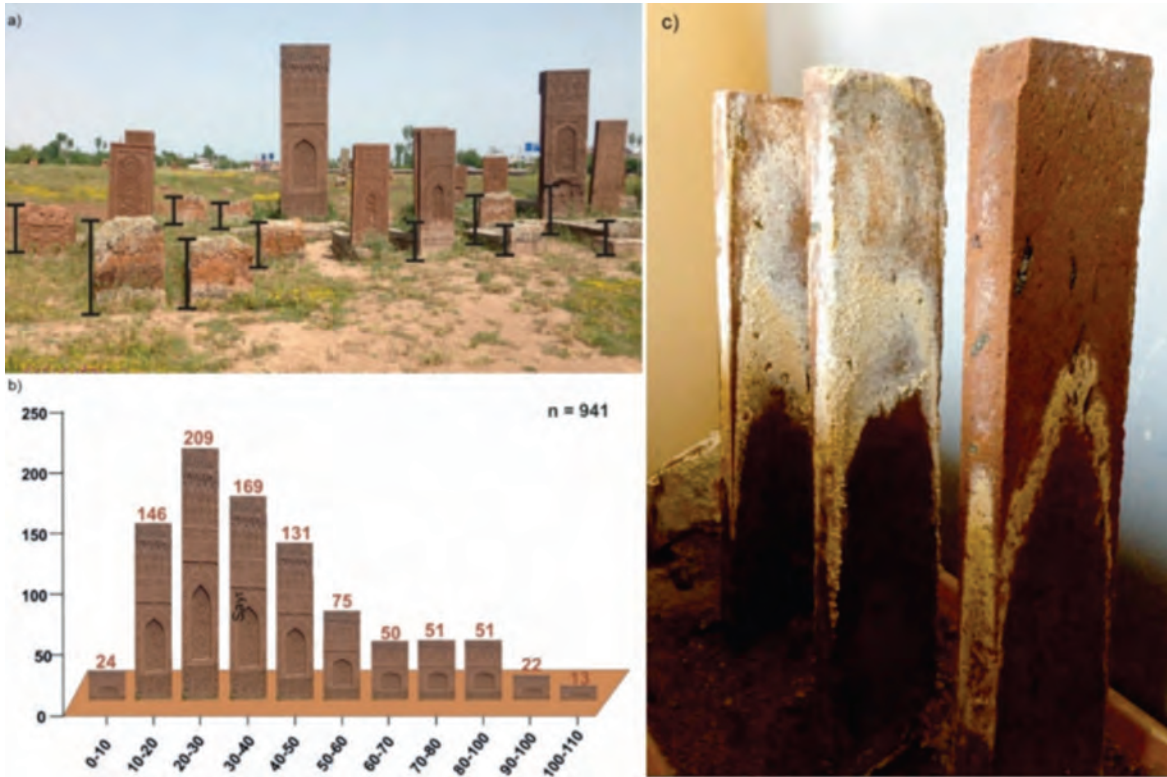
Ahlat ignimbiritlerinin kullanıldığı tarihi Ahlat Selçuklu Mezar Taşları'ndaki fiziksel bozunmanın en önemli sebebinin, yüksek kılcal su emmeden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Yaklaşık 1-2 m yükseklikte

Tuzlu suyun mezar taşlarının orta seviyelerine kadar yükselebileceği laboratuvarında yapılan model deneylerle de desteklenmiştir (Şekil 8-c). Model deneylerde üç ay sonunda, kılcal su emme ile birlikte tuzlu suyun örneklerin orta

seviyelerinden daha yukarıya kadar taşındığı gözlenmiştir. Örneklerin mezar taşlarına oranla daha küçük olması sebebiyle tuzlu su, kılcallığın da etkisiyle örneklerin en üst seviyelerine kadar ulaşabilmiştir (Şekil 8-c). Kırık mezar taşlarının ortalama yüksekliği 60-70 cm civarında olup, bu değerler mezar taşlarının orta-alt bölgelerine karşılık gelmektedir. Bu nedenle, Ahlat Selçuklu Mezar Taşları'nda bozunmanın en önemli nedeni kılcal su emme ile birlikte mezar taşı içerisinde yukarı taşınan tuzlu sudur. Bilindiği üzere bölge tuzlu-sodali su özelliğine sahip olan Van Gölü kıyısında bulunmaktadır. Mezarlıktaki çözünebilen tuzların da bölgedeki yüksek alkali

volkanik kayalardan ve/veya ölü bedenlerin çürümesinden (Dent, 2002) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ahlat Selçuklu Mezarlığı'ndaki mezar taşlarının yöneliminin, bozunma üzerinde önemli bir rolü olmadığı arazi gözlemleri ile ortaya konmuştur. Yapılan incelemelerde mezar taşlarının her iki yönünde de bozunmanın izleri gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, nemlilik bozunmayı kontrol eden en önemli çevresel faktördür. Mezar taşlarının alt ve orta kesimleri kılcal su emmeye ve tuz kristallenmesine bağlı olarak çok daha fazla bozunmuş durumdadır.



Şekil 8. Ahlat Selçuklu Mezar Taşları'nda kırılma boyları (a, b), ignimbiritlerdeki kılcal su emmeye bağlı tuz yükseliminin laboratuvarıda modellenmesi (c).

Figure 8. Broken length of the Ahlat Seljuk Tombstones (a, b), laboratory modelling of the rise of salt in the ignimbrites due to capillary water absorption.

## SONUÇLAR

İgnimbiritlerin kullanıldığı Ahlat Selçuklu Mezar Taşları'nın bozunma mekanizmasının irdelendiği bu çalışma sonucunda, yüksek kılcal su emme özelliğinin mezar taşlarının bozunmasındaki en önemli etken olduğu belirlenmiştir. Mezar taşlarının toprağa gömülü olan kısımlarından kılcal su emme ile birlikte kaya malzemesi içerisinde yükselen su, toprak kaynaklı tuzu da bünyesine alarak mezar taşlarının orta bölümlerine kadar taşımakta ve bu bölgede tuz birikimlerine neden olmaktadır. İgnimbiritlerin gözeneklerindeki tuzun çevrimsel olarak kristallenmesi ile birlikte mezar taşları bozunarak orta-alt bölgelerinden kırılmışlardır.

Litik malzeme içeriği ve kaynaklaşma derecesi ignimbiritlerin mühendislik özelliklerini kontrol etmekle beraber, özellikle ignimbiritler içerisindeki pomza ve diğer kayaç parçalarının oluşturduğu litik malzemeler, kılcal su emme davranışı üzerinde de etkili olabilmektedir. Düşük geçirgenliğe sahip litik malzemeler geçirimsiz bir bariyer gibi davranarak ignimbiritlerde kılcal su yükselmesini engellemektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2012-MİM-B011 numaralı proje ile Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na desteklenmiştir. Yazarlar, arazi çalışmaları sırasındaki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Recai Karahan ve ekibine teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T.,

Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, 2015. Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, Türkiye.

Akın, M., Özsan, A., 2011. Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70 (1), 101–114.

Arino, X., Ortega-Calvo, J. J., Gomez-Bolea, A., Saiz-Jimenez, C., 1995. Lichen colonization of the Roman pavement at Baelo Claudia (Cadiz, Spain): biodeterioration vs. bioprotection. *Science of the Total Environment*, 167, 353–363.

Aydar, E., Gourgaud, A., Ulusoy, I., Digonnet, F., Labazuy, P., Sen, E., Bayhan, H., Kurttas, T., Tolluoğlu, A. U., 2003. Morphological analysis of active Mount Nemrut stratovolcano, eastern Turkey: evidences and possible impact areas of future eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123, 301–312.

Benavente, D., García Del Cura, M. A., Bernabéu, A., Ordóñez, S., 2001. Quantification of salt weathering in porous stones using an experimental continuous partial immersion method. *Engineering Geology*, 59, 313-325.

Cardenes, V., Mateos, F. J., Fernandez-Lorenzo, S., 2014. Analysis of the correlations between freeze-thaw and salt crystallization tests. *Environmental Earth Sciences*, 71, 1123-1134.

Carter, N., Viles, H., 2005. Bioprotection explored: the story of a little known earth surface process. *Geomorphology*, 67, 273–281.

Cueto, N., Benavente, D., Martínez-Martínez, J., García-del-Cura, M. A., 2009. Rock fabric,

- pore geometry and mineralogy effects on water transport in fractured dolostones. *Engineering Geology*, 107, 1-15.
- Deere, D. U., Miller, R. P., 1966. Engineering classification and index properties of intact rock. Technical Report No: AFNL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base Weapons Laboratory, New Mexico.
- Dent, B. B., 2002. The hydrogeological context of cementery operations and planning in Australia. PhD Thesis, vol. 1., The University of Technology, Sydney, 453 p.
- Elmastaş, N., 2001. Ahlat yöresinin turizm potansiyeli. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 3 (1), 153-182.
- Garcia-Valles, M., Gimeno-Torrente, D., Martínez-Manent, S., Fernandez-Turiel, J. L., 2003. Medieval stained glass in a Mediterranean climate: typology, weathering and glass decay, and associated bio-mineralization processes and products. *American Mineralogist*, 88, 1996-2006.
- Garty, J., 1992. The postfire recovery of rock-inhabiting algae, microfungi and lichens. *Canadian Journal of Botany*, 70, 301-312.
- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R., Hudson, J. A., editors, 628 p.
- Karamağaralı, B., 1992. Ahlat Mezar Taşları. Türkiye Cumhuriyeti Kültür ve Turizm Bakanlığı, Sanat Tarihi Yayınları.
- Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, A. Ü., Karabıyıkoglu, M., Köse, O., Froger, J. L., 2005. Stratigraphy of the volcanic products around Nemrut Caldera: Implications for reconstruction of the caldera formation. *Turkish Journal of Earth Science*, 14, 123-143.
- Keskin, M., 2007. Eastern Anatolia: A hot spot in a collision zone without a mantle plume. *GSA Special Paper*, 430, 695-722.
- Korkanç, M., 2013. Deterioration of different stones used in historical buildings within Niğde province, Cappadocia. *Construction and Building Materials*, 48, 789-803.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Lisci, M., Monte, M., Pacini, E., 2003. Lichens and higher plants on stone: a review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 51, 1-17.
- Mottershead, D., Gorbushina, A., Lucas, G., Wright, J., 2003. The influence of marine salts, aspect and microbes in the weathering of sandstone in two historic structures. *Building and Environment*, 38, 1193-1204.
- NBG, 1985. Norwegian Rock Mechanics Group: Handbook in engineering geology – rock. Tapir, Trondheim, Norway.
- Öner, F., Türkmen, S., Özbek, A., Karakaya, T., 2006. Engineering properties of Hıms İgimbrites (Erzurum, Turkey) and their usability as a building stone. *Environmental Geology*, 50, 275-284.
- Özdemir, A., 2002. Capillary water absorption potentials of some building materials. *Geological Engineering*, 26, 19-32.
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A. Ü., Güleç, N., 2006. Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolia High Plateau): The most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, 226, 189-211.

- Özvan, A., Dinçer, İ., Akın, M., Oyan, V., Tapan, M., 2015. Experimental studies on ignimbrite and the effect of lichens and capillarity on the deterioration of Seljuk Gravestones. *Engineering Geology*, 185, 81–95.
- Prikryl, R., Lokajicek, T., Svobodova, J., Weishauptova, Z., 2003. Experimental weathering of marlstone from Predni Kopanina (Czech Republic)—historical building stone of Prague. *Building and Environment*, 38 (9–10), 1163–1171.
- Seaward, M., 2001. The role of lichens in the biodeterioration of ancient monuments with particular reference to central Italy. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 48, 202–208.
- Siegesmund, S., Weiss, T., Vollbrecht, A., 2002. *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies*. Special Publication, The Geology Society of London.
- Snethlage, R., 2005. *Leitfaden zur Steinkonservierung*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- Topal, T., Doyuran, V., 1997. Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocia Tuff. *Engineering Geology*, 47(1-2), 175–187.
- Topal, T., Sözmen, B., 2003. Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument. *Engineering Geology*, 68, 201–223.
- Török, A., 2006. Hungarian travertine: weathering forms and durability. In: Fort R, Alvarez de Buego M, Gomez-Heras M, VazquezCalvo C (eds) *Heritage weathering and conservation*, vol I. Taylor & Francis/Balkema, London, 199–204.
- TS 699, 2009. Doğal yapı taşları, muayene ve deney metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tuğrul, A., 2004. The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey. *Engineering Geology*, 75, 215-227.
- UNE-EN, 1925, 1999. Natural stone test method. Determination of water absorption coefficient by capillarity.
- www.mgm.gov.tr, 2016. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim tarihi: 27.05.2016
- Yıldız, M., Özşahin, Y. E., Soğancı, A. S., 2010. Deteriorations on Historical Buildings due to capillarity; Aksaray Sultanhanı Caravansary Model BALWOIS. Ohrid, Republic of Macedonia.





## Hacimsel Dane Oranının ve Dane Boyutunun Hamurda Kayaların (BIMRock) Dayanımı Üzerindeki Etkisi

*The Effect of Volumetric Block Proportion and Grain Size on BIMRock Strength*

**Murat KARAHAN<sup>1</sup>, Hakan ERSOY<sup>1</sup>, M. Oğuz SÜNNETÇİ<sup>1</sup>, Özge ÖRGEN<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON*

Geliş (received) : 19 Nisan (April) 2016

Düzeltilme (revised) : 08 Ağustos (August) 2016

Kabul (accepted) : 11 Kasım (November) 2016

### ÖZ

Sağlam kaya bloklarının zayıf bir matriks tarafından kuşatıldığı heterojen kaya kütleleri hamurda kaya “BIMRock” olarak nitelendirilirler. Bu tür kaya kütlelerinde, laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere standartlara uygun örnek almak ve hazırlamak çoğu kez zordur. Bu nedenle, bu tip kayalarda kayma direnci parametrelerinin ve tek eksenli sıkışma dayanımı gibi özelliklerin belirlenmesi oldukça güç olmaktadır. Literatürde, BIMRock’lar üzerinde, laboratuvar çalışmalarını ve ampirik yöntemleri konu alan çalışmalar oldukça azdır ve mevcut ampirik yöntemlerin sınırlamaları nedeniyle kaya mekaniği alanında bu konuda yaygın olarak kabul gören ampirik bir yaklaşım da mevcut değildir. Bu çalışma kapsamında ise farklı tane boyutlarında ve farklı hacimsel tane oranlarına sahip yapay BIMRock örnekleri hazırlanmış ve hazırlanan örnekler üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı direnci deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda tane boyutunun ve hacimsel tane oranının, yapay BIMRock örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Test amacıyla 0.6 mm’den 9.5 mm’ye kadar değişen çapta çakıl daneleri kullanılarak % 20, % 30 ve % 40 arasında hacimsel dane oranına sahip yapay örnekler oluşturulmuştur. Matriks hazırlanırken su ve alçı kullanılmıştır. Dane boyutunun azalması durumunda tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 0.68 MPa’dan 0.45 MPa’a düşmüştür. Hacimsel dane oranının artması durumunda ise bu değerlerin 0.51 MPa’dan 0.66 MPa’a yükseldiği görülmüştür. Bu durum, dane boyutunda ve hacimsel dane oranındaki artmanın numunenin dayanımını artırdığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** BIMRock, Dane Boyutu, Hacimsel Dane Oranı, Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı.

M. Karahan

E-posta: muratkarahan@ktu.edu.tr

## ABSTRACT

*Heterogeneous rock mass consisting of rock blocks that is surrounded by a weak matrix is regarded as block-in-matrix-rocks (Bimrock). Obtaining samples from this type of rock mass according to the standards and preparing them to be used in laboratory studies are often difficult. For this reason, it is quite difficult to determine the shear strength parameters and the mechanical properties such as uniaxial compressive strength in these sorts of rocks. There are just a few laboratory studies over bimrocks, and there isn't a widely accepted empirical approach in the field of rock mechanics available due to the limitations of the existing empirical methods. In scope of this work, synthetic Bimrocks samples were prepared with different grain sizes and different volumetric grain ratio. Uniaxial compressive strength tests were conducted on prepared samples. As a result of the experiments, the effect of grain size and volumetric grain proportion on the strength of artificial Bimrock samples were investigated. Artificial Bimrock samples with 20%, 30% and 40% volumetric grain proportions were prepared in the laboratory using gravel shaving diameters 0.6 to 9.5 mm. Plaster and water were used to form matrix. The uniaxial compressive strengths of the test samples decrease from 0.68 MPa to 0.45 MPa as the grain size decreases; and increase from 0.51 MPa to 0.66 MPa as the volumetric grain proportion increase. The results indicate that the uniaxial compressive strength of Bimrocks increases with increasing grain size and volumetric grain proportion.*

**Keywords:** *Bimrock, Volumetric Grain Proportion, Grain size, Uniaxial Compressive Strength.*

## GİRİŞ

Barajlar, göletler, tüneller, şevler ve temeller gibi mühendislik yapılarının projelendirilmeden önce, üzerine inşa edileceği ortamın jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin ayrıntılı bir şekilde ortaya konması gereklidir. Jeolojik ortamın mühendislik özelliklerinin belirlenmesi sayesinde inşaat sırasında ve sonrasında meydana gelebilecek problemler önceden tespit edilebilir ve bu problemlerin çözümüne yönelik gerekli önlemler alınarak gerektiğinde uygun iyileştirmeler yapılabilir.

Herhangi bir mühendislik yapısının üzerine inşa edileceği ortam, her zaman kaya ya da zemin ortamı olmayabilir. Çoğu zaman mühendislik yapılarının tasarımı ve inşası melanj, ince tabakalı kaya ortamları, zayıf piroklastik kaya, aglomera, çok eklemi kaya ve fay breşleri gibi

karmaşık yapıdaki jeolojik ortamlar üzerinde gerçekleştirilebilir. Bu tür ortamlar genellikle düzensiz, karışık, mekanik ve/veya boyutsal olarak heterojendir. Sağlam kaya bloklarının zayıf bir matriks tarafından kuşatıldığı heterojen kaya ortamları da buna örnektir (Medley, 1994). Bu yapıdaki jeolojik ortamlarda, standartlara uygun örnek almak oldukça zordur. Dayanım ve deformasyon parametrelerinin belirlenmesi için önerilen laboratuvar deneyleri için gerekli yüksek kalitede karot numunelerin hazırlanamadığı durumlarda plaka yükleme, presiyometre, yassı veren ve dilatometre gibi bazı yerinde deneylerin uygulanması söz konusudur. Ancak bu deneylerin uygulanması için zaman alan ön hazırlıkların gerekmesi, sadece önem derecesi yüksek mühendislik yapılarında tercih edilmelerini de beraberinde

getirmektedir (Altınsoy, 2006; Coşkun, 2010). BIMRock türü kaya kütlelerinin özelliklerinin ortaya konulması için, daha çok yapay örnekler üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları ve ampirik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Jeolojik bir ortamın dayanım davranışı, Lindquist ve Goodman (1994) tarafından hacimsel dane oranına göre isimlendirilmişlerdir. Hacimsel dane oranı % 25'ten az ise matriks kontrollü, % 25-% 75 aralığındaysa tektonik "BIMRock" ve % 75'ten büyük ise eklemli kaya kütlesi olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca (Reidmüller vd., 2001; Altınsoy, 2006) "BIMRock"ları "kaynaşmış" ve "kaynaşmamış" olarak iki sınıfta tanımlamış ve her iki sınıf için dayanım parametrelerinin belirlenmesine yönelik ampirik ilişkilerde Mohr-Coulomb ve Hoek Brown yenilme ölçütlerini önermişlerdir. Medley (1994) "BIMRock"ları ölçekten bağımsız jeolojik malzemeler olarak tanımlamıştır. Bu durumda, matriks ile blok sınır boyutunun ayrımı, mühendislik uygulamasından etkilenen alan, hacim veya uzunluk ile ilişkilidir. Medley (1994) "A" etkileşim alanı olmak üzere,  $0.05*(A)^{0.5}$ ten küçük bileşenin matriks, daha büyüklerinin ise blok olarak değerlendirilmesi gerektiğini önermiştir.

BIMRock'ların karakterizasyonu ve dayanım-deformasyon davranışlarını konu alan birçok çalışma mevcuttur (Bedrosian, 1978, 1980; Lindquist, 1994; Lindquist ve Goodman, 1994; Medley, 1994; Medley ve Lindquist, 1995; Gökçeoğlu, 2002; Medley, 2001; Reidmüller, 2001; Medley ve Rehmann, 2003; Sönmez vd., 2004, 2006; Altınsoy, 2006; Kahraman vd., 2008; Coşkun, 2010). Bu çalışmalarda, arazi verileri ve laboratuvarda hazırlanan yapay örnekler üzerinde yapılan çeşitli deneyler sonucunda elde edilen verilerden faydalanılarak

bir takım ampirik yaklaşımlar da geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, farklı hacim oranlarında ve farklı boyutlarda agregalar kullanılarak yapay BIMRock örnekleri hazırlanmıştır. Farklı oranlarda ve boyutlarda danelerin kullanılmasının amacı ise hacimsel dane oranının ve dane boyutunun yapay örneklerin dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır.

## MATERYAL VE METOT

Yapay "BIMRock" örneklerinin hazırlanmasında matriks olarak alçı-su karışımı, dane olarak da farklı dane boyutlarında riyoitik tüf agregaları kullanılmıştır. Altınsoy (2006), söz konusu çalışmada, bentonit, alçı, çimento ve su karışımından oluşan bir matriks kullanmıştır. Coşkun (2010), A grubu yapay örneklerde kil ve su karışımından oluşan matriks, B grubu yapay örneklerde ise alçı, bentonit ve sudan oluşan matriks kullanmıştır. Bu çalışmada, kuruma süresinin azaltılması için bentonit, dayanımın düşük olması için çimento yerine, sadece su ve alçı karışımından oluşan bir matriks oluşturulmuştur. Farklı dane boyutlarındaki ve hacimsel yüzdelerdeki daneler, matriks ile homojen bir şekilde karıştırılarak 49.5 mm çapında silindirik PVC kalıplara dökülmüş ve boşluk kalmaması için yaş haldeyken şişlenmişlerdir. Dökülen örnekler 30-35 gün boyunca PVC kalıplarda kurumaya bırakılmış, açık havada kurumaya bırakılan örnekler bu süre zarfında düzenli olarak tartılmış ve son tartıya ait ağırlıklar eşit olunca örneklerin kurduğu kabul edilmiştir. Kuruyan örnekler kalıplardan çıkarılarak deneye tabi tutulmuştur. Şekil 1'de farklı dane boyutlarındaki agregaların oluşturulma aşamaları, Tablo 1'de ise yapay BIMRock örneklerinin hazırlanmasında kullanılan agregaların hacimsel yüzdeleri ve dane boyutları verilmiştir.



Şekil 1. (a) Riyolitik tüfün çeneli kırıcıda kırılması, (b) 0.6-2.00 mm boyutundaki agrega, (c) 2.00-4.75 mm boyutundaki agrega, (d) 4.75-9.50 mm boyutundaki agrega.

Figure 1. (a) Breaking of rhyolitic tuff in jaw crusher, (b) 0.6-2.0 mm diameter aggregates, (c) 2.0-4.75 mm diameter aggregates, (d) 4.75-9.5 mm diameter aggregates.

Çizelge 1. Örneklerin hazırlanmasında kullanılan agregaların hacimce yüzdesi ve dane boyutları.

Table 1. Volumetric percentages and grainsizes of the aggregates used to prepare the samples.

Dane Boyutu (mm)	Hacimsel Dane Oranı	Örnek Sayısı
A Grubu (4.75-9.5)	A-1 (%20)	5
	A-2 (%30)	5
	A-3 (%40)	5
B Grubu (2.00-4.75)	B-1 (%20)	5
	B-2 (%30)	5
	B-3 (%40)	5
C Grubu (0.60-2.00)	C-1 (%20)	5
	C-2 (%30)	5
	C-3 (%40)	5
D Grubu (0.60-9.5)	D-1 (% 20)	5
	D-1 (% 30)	5
	D-1 (% 40)	5
Matriks	% 60 alçı+% 40 su	5

Hazırlanan yapay “BIMRock” örneklerinin kaynaşmamış BIMRock sınıfında olması için dane-matriks dayanım oranının en az 2 olması gerektiği Lindquist ve Goodman (1994) ve Medley (1994) tarafından belirtilmiştir. Örneklerin hazırlanması için kullanılacak malzeme miktarını hesaplamak için matrikse ve danelere ait hacimsel oranlarda malzeme değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Birim hacim ağırlıklar, istenilen bir yüzde hacimdeki malzeme kütlelerinin hesaplanması için, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ise dayanım oranının hesaplanması için kullanılmıştır. Dane ve matrikse ait doğal birim hacim ağırlıklarının ve tek eksenli sıkışma dayanımlarının hesaplanması için 11 adet riyolitik tüf örneğinden ve 5 adet matriksten elde edilen silindirik (çap 4.95 cm - boy 12.5 cm) örnekler kullanılmıştır (Tablo 2).

Çizelge2. Silindirik örneklere ( $D=4.95$  cm,  $H=12.5$  cm) ait birim hacim ağırlık ve tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) değerleri.  
Table 2. Unit weight and uniaxial compressive strength (UCS) values of the cylindrical samples ( $D=4.95$  cm,  $H=12.5$  cm).

	Açıklama	Örnek Sayısı (Adet)	Ortalama KBH ( $\text{kN/m}^3$ )	Ortalama Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı, UCS (MPa)	SD
Rock	Riyolitik Tüf	11	22.06	86	10.8
Matriks	% 60 alçı+% 40 su	5	16.5	0.55	0.1

\*KBH=Kuru Birim Hacim Ağırlık, \*\*SD=Standart Sapma

Karot örneklerinin birim hacim ağırlık ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri belirlendikten sonra yapay BIMRock örneklerinin hazırlanması amacıyla farklı boyutlarda dane içeren numunelerin hazırlanması için, tüf örnekleri çeneli kırıcıda kırılmış, kırılan örnekler eleklerde elenerek dane boyu 0.6-2.00 mm, 2.00-4.75 mm ve 4.75-9.5 mm arasında değişen üç farklı gruba ayrılmıştır (Tablo 3). D grubu örnekler farklı dane boyutundaki malzemelerin eşit ağırlık oranlarında karıştırılması ile oluşturulmuştur.

Yapay matriks, kütlece % 40 oranında su ve % 60 oranında alçının homojen bir şekilde karıştırılması ile oluşturulmuştur. Kalıp olarak boyları 12.5 cm, çapları ise 4.95 cm PVC

kalıpları kullanılmıştır (Şekil 2a). Gerekli olan malzemeler hazırlandıktan sonra en son aşamada farklı boyutlarda ve farklı hacimsel yüzdelerde agrega kullanılarak yapay BIMRock örnekleri hazırlanmıştır. Örnekler hazırlanırken bilinen hacimsel oranlardan ve birim hacim ağırlıklardan faydalanılarak agrega ve matriksin ağırlıkları hesaplanmış, kütlece belli olan malzemeler tartılıp gerekli miktarlarda alınarak homojen bir şekilde karıştırılıp kalıplara dökülmüştür (Şekil 2b, c ve d). Hacimsel dane oranları % 0 (matriks), % 20, % 30 ve % 40 olan yapay örnekler hazırlanmış ve her hacimsel dane oranı içinde 3 farklı boyutta ve karışık boyutlarda agregalar kullanılmıştır.



Şekil 2. (a) PVC borular, (b) kullanılan malzemeler, (c) hazırlanan karışım, (d) dökülen örnekler.

Figure 2. (a) PVC pipes, (b) used materials, (c) prepared mixture (d) prepared samples.

Karahan, Ersoy, Sünnetçi, Örgen

Çizelge 3. Yapay BIMRock örneklerine ait ortalama serbest basınç direnci değerleri.

Table 3. The average unconfined compressive strength values of the artificial bimrock samples.

HDO	A Grubu ( Dane Boyutu: 4.75-9.5 mm)					Ortalama	SD	
%20	Örnek Numarası	A1-1	A1-2	A1-3	A1-4	A1-5	0.58	0.6
	Kuru Ağırlıkları (gr)	405.1	353.3	379.2	367.9	363.9		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.63	0.53	0.64	0.53	-		
%30	Örnek Numarası	A2-1	A2-2	A2-3	A2-4	A2-5	0.67	0.6
	Kuru Ağırlıkları (gr)	400.8	390.1	390.1	389.4	391.5		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.57	0.68	0.69	0.69	0.72		
%40	Örnek Numarası	A3-1	A3-2	A3-3	A3-4	A3-5	0.74	0.4
	Kuru Ağırlıkları (gr)	401.8	414.9	426.7	417.1	415.5		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.73	0.77	0.8	0.8	0.63		
<b>B Grubu ( Dane Boyutu: 2.00-4.75 mm)</b>								
%20	Örnek Numarası	B1-1	B1-2	B1-3	B1-4	B1-5	0.65	0.8
	Kuru Ağırlıkları (gr)	369.3	355.7	360.5	367.9	367.2		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.62	0.64	0.76	0.59	0.63		
%30	Örnek Numarası	B2-1	B2-2	B2-3	B2-4	B2-5	0.6	1.1
	Kuru Ağırlıkları (gr)	384.6	390.2	384.6	389.8	382.5		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.75	0.53	0.61	0.52	0.56		
%40	Örnek Numarası	B3-1	B3-2	B3-3	B3-4	B3-5	0.6	0.8
	Kuru Ağırlıkları (gr)	410.4	402.7	402.7	404.2	401.5		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.72	0.55	0.59	0.54	0.61		
<b>C Grubu ( Dane Boyutu: 0.60-2.00 mm)</b>								
%20	Örnek Numarası	C1-1	C1-2	C1-3	C1-4	C1-5	0.47	1.2
	Kuru Ağırlıkları (gr)	347.3	346.2	358.8	349.6	353.6		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.57	0.58	0.46	0.32	0.43		
%30	Örnek Numarası	C2-1	C2-2	C2-3	C2-4	C2-5	0.46	0.3
	Kuru Ağırlıkları (gr)	377.2	377.5	379.3	380.1	384.3		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.43	0.47	0.49	-	0.44		
%40	Örnek Numarası	C3-1	C3-2	C3-3	C3-4	C3-5	0.48	0.7
	Kuru Ağırlıkları (gr)	379.9	379.1	374.1	385.6	370.4		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.56	0.39	0.47	0.49	-		
<b>D Grubu ( Dane Boyutu: 0.60-9.5 mm)</b>								
%20	Örnek Numarası	D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-5	0.33	0.7
	Kuru Ağırlıkları (gr)	359.3	356.4	397.6	360.1	357.2		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.26	0.31	0.42	0.33	-		
%30	Örnek Numarası	D2-1	D2-2	D2-3	D2-4	D2-5	0.6	1.0
	Kuru Ağırlıkları (gr)	398.7	381.4	391.7	362.6	379.6		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.54	0.60	0.74	-	0.52		
%40	Örnek Numarası	D3-1	D3-2	D3-3	D3-4	D3-5	0.79	1.0
	Kuru Ağırlıkları (gr)	409.1	399.8	410.1	406.8	404.7		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.86	0.88	0.61	0.89	0.66		
<b>Matriks (%60 alçı+%40 su)</b>								
	Örnek Numarası	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	0.55	0.1
	Kuru Ağırlıkları (gr)	315.8	324.5	331.8	330.3	329.1		
	Serbest Basınç Direnci (MPa)	0.54	0.55	0.55	0.55	0.57		

\*HDO: Hacimsel Dane Oranı

## BULGULAR

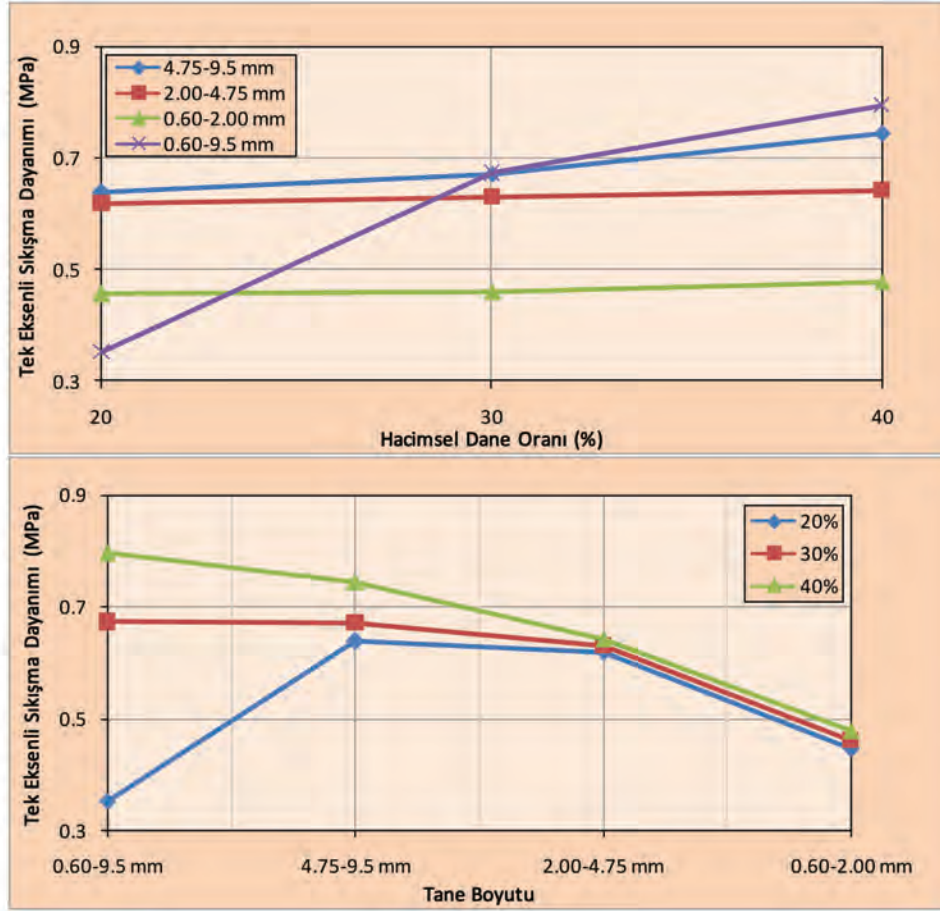
Dane boyutu ve hacimsel dane oranının dayanım üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla 65 adet yapay BIMRock örneği tek eksenli sıkışma dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda farklı dane boyutuna ve hacimsel dane oranına sahip her bir grubun ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı hesaplanmıştır (Tablo 3). Her bir grup için 5 deney, toplamda ise 65 deney yapılmıştır.

Yapay örneklerin hazırlanmasında kullanılan agrega ve matriksin dayanım oranı 156 olarak bulunmuştur. Bu durumda hazırlanan yapay örnekler kaynaşmamış BIMRock sınıfına girmektedir (Reidmüller vd., 2001; Altınsoy, 2006). Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular sayesinde, ilk olarak, aynı örnekler üzerinde hacimsel dane oranı ile tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 3). Şekil 3 incelendiğinde tüm dane boyutları için hacimsel dane oranının artmasının örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımını artırdığı anlaşılmaktadır. Bu durum hacimsel dane oranının artması sonucunda matriksten kayaya geçiş olduğunun kanıtıdır.

Bu çalışmada, maksimum % 40 oranında hacimsel dane oranına sahip örnekler hazırlanmıştır. Bu durumda kohezyonda çok az bir azalmanın ve danelerin artışına bağlı olarak içsel sürtünme açısından dikkate değer artışların meydana geldiği düşünülmektedir (önceki çalışmalarda yapılan deney sonuçları incelendiğinde). Bu durumda, blok oranının artışı tek eksenli sıkışma dayanımında, çok az da olsa bir artış meydana getirmiştir. Bu oran % 10'u geçmemektedir.

Dane boyutuna bağlı olmaksızın her grup örnek için hacimsel dane oranının artışıyla birlikte tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) direnci değerlerinde artışın meydana geldiği görülmüştür. Özellikle D grubu örneklerde hacimsel dane oranı % 20'den % 30'a çıkarıldığında zaman UCS değerlerinde % 85 oranında artış meydana gelmiştir. Yapay BIMRock ve matriks örneklerinin ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri kıyaslandığında A, B ve D grubu örneklerin UCS değerlerinin matriksin değerinden yüksek, C grubu örneklerin ise düşük olduğu tespit edilmiştir. C grubu yapay örneklerin hazırlanmasında dane boyutu olarak 0.60-2.00 mm arasında değişen agregalar kullanılmıştır. Etkileşim alanı dikkate alındığında bu dane aralığında kullanılan agreganın matrikse dahil edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise aynı hacimsel dane oranına fakat farklı dane boyutlarına sahip örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımları ile dane boyutu ilişkisi araştırılmıştır (Şekil 3). Şekil 3 incelendiğinde, sabit hacimsel dane oranlarında dane boyutunun artmasının, örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımını artırdığı anlaşılmaktadır. Karışık dane boyutuna sahip örneklerin (D grubu örnekler) daha yüksek tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak bu durum sadece % 20 hacimsel dane örnek oranına sahip örneklerde bozulmuş, karışım örnekleri, en düşük tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri vermiştir. Bunun nedeni, % 20'lik dane oranında yeterli homojen karışımın sağlanamadığı şeklinde açıklanabilir. Aynı hacimsel dane oranında, dane boyutu arttıkça örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımlarında meydana gelen artışın nedeninin, dane boyutu arttıkça numunelerin içsel sürtünme açısının artması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Hacimsel dane oranının ve dane boyutunun örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı üzerindeki etkisi.

Figure 3. The effect of volumetric grain proportion and grain size on the uniaxial compressive strength of the samples

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, yapay olarak oluşturulan BIMRock örneklerinin dane boyutunun ve hacimsel dane oranının, tek eksenli sıkışma dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmış, elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Heterojen kaya örneklerinin BIMRock olabilmesi için, dane ve matris dayanım oranının 2'den büyük olması durumu gözetilmiş, matris oluşturulurken su ve alçı karışımından, granüler dane

malzeme hazırlanırken riyoitik tüflerden yararlanılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında dane-matris dayanım oranı 156 olarak hesaplanmıştır.

2. 0.6 mm'den 9.5 mm'ye kadar değişen dane boyutunda, % 20, %30 ve % 40 arasında hacimsel dane oranına sahip yapay örnekler oluşturulmuş ve oluşturulan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımları tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda hacimsel dane oranı arttıkça tek eksenli sıkışma dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimsel dane oranı % 20, % 30 ve % 40 olan örneklerin tek



eksenli sıkışma dayanımları sırası ile 0.33-0.65 MPa, 0.46-0.67 MPa ve 0.48-0.79 MPa arasında bulunmuştur.

3. Dane boyutunun BIMRock örneklerinin dayanımı üzerindeki etkisine bakıldığı zaman aynı hacimsel dane oranında, dane boyutunun artması ile örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun, dane çapının artmasıyla birlikte içsel sürtünme açısında meydana gelen artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Dane boyutuna göre hesaplanan ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 4.75-9.5 mm için 0.68 MPa, 2.00-4.75 mm için 0.63 MPa ve 0.60-2.00 mm için 0.46 MPa bulunmuştur.
4. Yapay örneklerin dayanımları matriksin dayanımı ile kıyaslandığında, A, B ve D grubu örneklerin dayanımının matriksin dayanımından yüksek, C grubu örneklerin ise düşük olduğu bulunmuştur. C grubu örneklerin dayanımının matriksin dayanımından düşük olmasının, örnekler hazırlanırken içerisinde kalan hava kabarcıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.
5. Dane boyutunun artışı, dayanımı artırmaktadır ve aynı hacimsel dane oranına sahip farklı boyutlarda dane kullanılarak hazırlanan heterojen malzeme ile oluşturulan yapay örneklerin dayanımı, aynı boyuttaki agrega kullanılarak hazırlanan homojen malzeme ile oluşturulan yapay örneklerin dayanımından yüksektir (Tablo 3). Bu durum sadece hacimsel dane oranı % 20 olan karışık malzemeden hazırlanan örnekler için anomali vermiştir.

Çalışma kapsamına elde edilen veriler, karşılaşılan zorluklar ve değerlendirmeler doğrultusuna sunulan öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Yapay BIMRock örnekleri hazırlanması, çalışmanın en önemli ve belirleyici aşamasıdır. Bu aşamada, dane ve matriks arasındaki dayanım oranı çok yüksek tutulmamalıdır. Bu çalışmada dayanım oranının 156 olması çalışma için sorun teşkil etmese de, genelde bu tür yüksek değerler BIMRock örneklerinin danelerde bağımsız davranış göstermesine, dolayısıyla dayanımı matriksin kontrol etmesine neden olacaktır. Dayanım oranının çok yüksek değerlerde çıkmaması için, matriksin dayanımının artırılması gereklidir. Literatürde belirtilen örnek hazırlama tekniklerinde belirtildiği gibi matriksin dayanımını artırmak için karışıma bir miktar çimento eklemek gerekebilir.
2. Çalışmanın ilk aşamalarında matriks oluşturulurken karışımda alçı, su ve bentonit kullanılmıştır. Fakat iki aylık süre zarfı içinde örneklerin iç kısımlarının halen nemli olduğu ve örneklerin tam anlamıyla kurumadığı tespit edilmiştir. Bu olumsuzluktan ötürü karışımda sadece alçı ve su kullanılmıştır. Dayanım oranın çimento miktarıyla ayarlanması önerilmektedir.
3. Çalışma kapsamında hazırlanan yapay örneklerin, 30-35 gün içinde kurduğu görülmüştür. Bu süreyi kısaltmak için örnekler kalıpta birkaç gün kurutulduktan sonra çıkartılarak kurumaya bırakılmıştır. Bu şekilde kurumanın, 8-10 günde tamamlandığı görülmüştür. Bu da zamanın en uygun şekilde değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir.

4. Sonraki çalışmalar için, daha büyük çaplı kalıpların kullanılması ve etkileşim alanından faydalanarak minimum dane boyutunun seçilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Altınsoy, H., 2006. Matriks içinde blok içeren kayaların makaslama dayanımının belirlenmesi için fiziksel model esaslı bir araştırma. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi, 104 s (yayımlanmış).
- Bedrossian, T. L., 1978. Geology and slope stability in the Geysers Geothermal: Resources area, California Geology, 31, 151-159.
- Bedrossian, T. L., 1980. Geology and slope stability in selected parts of the Geysers Geothermal resources area, No.142 of special reports: Sacramento, California, California Division of Mines and Geology, 66 p.
- Coşkun, A., 2010. BIMRock (Hamurda Kaya) ile eklemli kaya kütlelerinin sınır koşulundaki sorunlara yönelik ampirik bir yaklaşımın geliştirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi, 75 s (yayımlanmış).
- Gökçeoğlu, C., 2002. A fuzzy triangular chart to predict the uniaxial compressive strength of the Ankara agglomerates from their petrographic composition. Engineering Geology, 66, 39-51.
- Kahraman, S., Alber, M., Fener, M., Gunaydn, O., 2008. Evaluating the geomechanical properties of Misis fault breccia (Turkey). International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 45, 1469-1479.
- Lindquist, E. S., 1994. The strength and deformation properties of melange, Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 288 p (published).
- Lindquist, E. S., Goodman, R. E., 1994. The strength and deformation properties of a physical model melange, Proc. 1st North American Rock Mechanics Conference (NARMS), Austin, Texas, eds. Nelson, P.P. and Laubach, S.E., A.A. Balkema, Rotterdam, 843-850.
- Medley, E. W., 1994. The engineering Characterization of melanges and similar block-in-matrix rocks ("BIMRock"s), Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 338 p (published).
- Medley, E. W., Lindquist, E. S., 1995. The engineering significance of the scale-independence of some Franciscan melanges in California, USA, Proc. 35th US Rock Mechanics Symp, eds. Deamen, J.K. ve Schultz, R.A., Rotterdam: A.A. Balkema, 907-914.
- Medley, E. W., 2001. Orderly Characterization of Chaotic Franciscan Melanges, Felsbau. Journal of Engineering Geology, Geomechanics and Tunnelling, 19 (4) 20-33.
- Medley, E.W., Rehermann, P.S., 2003. Increases in slope stability of rock/soil mixtures due to tortuosity of failure surface around rock and blocks. GSA Conference, Seattle WA, November 2, 2003.
- Reidmüller, G., Brosch, F. J., Klima, K., Medley, E. W., 2001. Engineering Geological Characterization of Brittle Faults and Classification of Fault Rock. Felsbau, Journal for Engineering Geology, Geomechanics and Tunnelling, 19 (4/2001), 13-19.
- Sönmez, H., Tuncay, E., Gökçeoğlu, C., 2004. Models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for Ankara agglomerates. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 41(5), 717-729.
- Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., Medley, E. W., Tuncay, E., Nefeslioğlu, H. A., 2006. Estimating the Uniaxial Compressive Strength of a Volcanic "BIMRock", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 43, 554-561.

## Yapay Sinir Ağları Yardımı ile Yeraltı Suyunda Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR) Tahmini: Ergene Havzası Doğu Akiferi Örneği

*Prediction of Sodium Absorption Ratio (SAR) in Groundwater with the Aid of Artificial Neural Networks: the East Aquifer of Ergene Basin*

**Orhan ARKOÇ<sup>1</sup>, Tahir Çetin AKINCI<sup>2</sup>, H. Selçuk NOGAY<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, KIRKLARELİ

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL

<sup>3</sup>Erciyes Üniversitesi, Mustafa Çıkrıkçıoğlu Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, KAYSERİ

Geliş (received) : 29 Şubat (February) 2016  
Düzeltilme (revised) : 20 Nisan (April) 2016  
Kabul (accepted) : 28 Nisan (April) 2016

### ÖZ

Yeraltı suyu dünyanın birçok yerinde içme ve tarımsal sulama amaçlı kullanılmaktadır. Tarımsal faaliyetler zamanla yeraltı sularını kirleterek kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Kalitesi bozulmuş bu sular insan sağlığını ve bitkilerin gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle kirlenmeye açık serbest akiferlerde yeraltı suyu kalitesinin ucuz yöntemler ile izlenmesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada Ergene Havzası doğu kesiminde yer alan serbest akiferdeki sodyum absorpsiyon oranı (SAR) değerinin tahmini için bir yapay sinir ağı modeli önerilmektedir. Ergene Havzası doğu kesiminde serbest akiferde açılmış olan 18 su kuyusundan bir yıllık süre ile aylık olarak alınan örneklerden elde edilen elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş katı miktarı, sıcaklık, toplam sertlik, klorür miktarı ve pH değerleri model için girdi olarak kullanılmıştır. Modellenen yapay sinir ağında, Levenberg–Marquardt (trainlm) geri yayılım algoritması olarak seçilmiş ve 35 nöron sayısı kullanılmıştır. Modelin sonuçları ile hedefler arasında yüksek tutarlılık gözlenmiştir ( $R=0,885$ ). Önerilen bu model ile yeraltı sularının daha ucuz ve kolay bir şekilde izlenmesi mümkün olabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Ergene Havzası, Sodyum Absorpsiyon Oranı, Yapay Sinir Ağları, Yeraltı Suyu Kalitesi.

### ABSTRACT

*Groundwater is used for drinking and irrigation purposes in many parts of the world. Irrigation practices result in the deterioration of the quality of the groundwater over the time and this adversely*

O. Arkoç

E-posta: orhan.arkoc@klu.edu.tr

*affects the human health and plant growth. Monitoring of the vulnerable aquifers with cost-effective methods is important. In this study an artificial neural network model is proposed for the prediction of sodium absorption ratio (SAR) in the unconfined aquifer, located in the east of Ergene basin. The samples taken from 18 observation wells were analysed monthly for electrical conductivity, total dissolved solids, temperature, total hardness, chloride and pH. Levenberg–Marquardt (trainlm) was selected for back-propagation algorithm and 35 neurons were used in the model architecture. The model follows up the experimental data very closely (R= 0,855). Application of the proposed model would make possible to monitor the aquifers in a more cost-effective and easier way.*

**Keywords:** *Ergene Basin, Sodium Absorption Ratio, Artificial Neural Networks, Groundwater Quality.*

## GİRİŞ

Ergene Havzası'nın doğu kesimi, İstanbul'a yakınlığı nedeniyle sanayileşmenin etkisi altında kalmıştır. Bununla beraber, arazinin ve toprak yapısının tarıma uygunluğu nedeniyle yoğun tarımsal faaliyet etkisi altındadır (Özkan ve Kubaş, 2008). Bu durum bölgenin yoğun göç almasına ve dolayısı ile nüfus artışına neden olmuştur. Bu gelişmeler sonucu ortaya çıkan evsel ve endüstriyel atıklar, molozlar, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar muhtemel kirlilik kaynakları olmuştur. Bu kirleticilerden tarımsal kaynaklı olanların neden olduğu kirlilik, en çok gözlenen yayılı kirlilik türüdür. Çeşitli kanserojen pestisitlerin ve gübrelerin kontrolsüz kullanımı, küçük ve büyük ölçekli çeşitli havzalarda yeraltı suyunun kalitesini bozabilmektedir (Bedient vd., 1994).

Bölgede yer alan Çorlu, Çerkezköy, Lüleburgaz ilçeleri yoğun sanayileşme etkisi altında kalmıştır. Özellikle tekstil ve deri işleme sanayii, bölgedeki yeraltı sularını kullanmış, atık sularını Ergene Nehri'ne bırakarak nehirdeki kirliliğin artmasına ve suyun sulama amacı ile kullanılamaz hâle gelmesine neden olmuştur. Diğer taraftan bölge, ayçiçeği ve

buğday üretiminde önemli bir yere sahiptir. Bölgede tarımsal sulama amaçlı olarak yeraltı suları kullanılmaktadır. Tarımsal arazilerin kontrolsüz ve aşırı sulanması, etkin olmayan drenaj nedeniyle bölgede yer alan serbest akifer kirlenmeye açık durumdadır (Arkoc, 2005). Bu nedenle, bölgedeki serbest akiferler, kirlenmeye karşı koruma amaçlı olarak izlenmelidir.

Sodyum absorpsiyon oranı (SAR) ve elektriksel iletkenlik (EC), tarımsal kullanım amaçlı su kalitesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli iki parametredir (Suarez vd., 2006). Yüksek sodyum ve düşük kalsiyum, magnezyum değerleri SAR değerinin yükselmesine sebep olur. SAR, sulama suyundaki sodyumun kalsiyum ve magnezyuma göre bağlı miktarını verir. Yüksek SAR değerine sahip sulama suları toprakta sodyum birikimine sebep olur. Biriken sodyum, bitki tarafından alınır ve belli bir sınır değer aşıldığında bitkinin ozmotik yapısı bozularak suyun dallara ve yapraklara ulaşması engellenir. Bu da verimin düşmesine neden olur. Sulama suyu için SAR değeri aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır (iyon konsantrasyon değerleri meq/L).

$$SAR = [Na]/([Ca]+[Mg])/2)^{1/2} \quad (1)$$

18'den küçük SAR değerlerine sahip sular "iyi" olarak sınıflandırılırken, 26'dan büyük SAR değerlerine sahip sular "kullanılamaz" olarak sınıflandırılır (Bauder vd., 2011). Bu nedenle tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde sulama suyu kalitesi açısından akiferlerin izlenmesi önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yeraltı sularındaki SAR değerlerinin uygun maliyetli yöntemler ile izlenmesi ya da tahmin edilmesi önemlidir.

Yapay sinir ağları (YSA) ucuz bir yöntem olarak; finans, enerji, tıp, ekoloji gibi disiplinlerde tahmin amaçlı güçlü bir araç olarak kullanılmıştır (Karayiannis ve Venetsanopoulos, 2013). Öğrenme kabiliyeti, sistem değişikliklerine karşı davranışını düzenlemesi, donanımın kolay kurulabilmesi gibi özellikleri, YSA ile elde edilen çözümleri çeşitlendirmektedir. YSA kullanılarak, suda tuzluluk tahmini (Maier ve Dandy, 1996), atık suda günlük askıdaki sediment miktarı (Cıgızoğlu, 2004), atık kokusu ve biyolojik oksijen ihtiyacı arasındaki ilişki (Onkal-Engin vd., 2005), yeraltı sularına nitrat ve SAR tahmini (Yeşilnacar vd., 2008; Yeşilnacar ve Şahinkaya, 2012), Quebec, Kanada yeraltı su seviyesi tahmini (Adamowski vd., 2011), Mardin (Türkiye) kısa dönem rüzgar hızı tahmini (Nogay vd., 2012), İran Chalgazi nehri SAR miktarı (Asadollahfardi vd., 2013) ve akarsu su kalite tahmini (Sengorur vd., 2015) gibi çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada Ergene Havzası doğu kesimindeki 18 su kuyusundan alınan örnekler

üzerinde yapılan çalışma ile, YSA kullanılarak, sulama amacıyla kullanılan yeraltı sularındaki SAR değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

## ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Türkiye'nin Kuzeybatısı'nda, Trakya Bölgesi'nde, Kırklareli ve Tekirdağ il sınırları içinde yer almaktadır. Çalışma alanının kuzey kesimi daha yüksek ve nispeten tepelik iken orta ve güney kesimleri düşük eğimli vadiler ve düzlüklerden oluşmaktadır. Bölgede yer alan Çorlu Deresi ve Ergene Nehri'nin kuzey drenaj alanı çalışma sahasını oluşturur.

Çalışma alanında karasal iklim hakimdir. Uzun yıllar yağış ortalaması 509.6 mm iken, en soğuk aylar Ocak ve Şubat, en sıcak aylar ise Temmuz ve Ağustos'tur. Uzun yıllar sıcaklık ortalaması (1966-2004) 12.1 C°'dir. Çalışma, Mayıs 2003 ile Nisan 2004 arasında, 18 su kuyusundan her ay alınan numunelerle yapılmıştır. Çalışma alanının büyük bir kesiminde gözlenen Ergene Formasyonu ve Trakya Formasyonu akifer potansiyeli yönünden önemlidirler. Özellikle Ergene Formasyonu, üst kesimlere doğru incelen tane boyu ile belirgin bir litoloji sunar. Yeraltı suyu taşıyan kesimler, siltli kum, kumtaşı, çakıltası seviyeleridir. Tüm su kuyuları bölgedeki serbest akifer olan Miyosen yaşlı Ergene Formasyonu'ndan su almaktadır. Bölgenin detaylı jeolojisi ve hidrojeolojisi literatürde yer almaktadır (Arkoç, 2005; Arkoç ve Erdoğan, 2011).



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası ve su kuyularının lokasyonları.

Figure 1. Location map of the study area and the location of sampling wells.

## ANALİTİK YÖNTEMLER

Yeraltı sularından alınan örneklerdeki elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katı (TDS), sıcaklık (T) ve pH ölçümleri, filtre edilmemiş örneklerde Hanna HI 98312 portatif test cihazı ve Toledo Mettler pH metre ile arazide yapılmıştır.  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  konsantrasyonları Nitrik asit ile korunmuş örneklerde atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Uicam AS969) ile,  $Cl^-$  konsantrasyonları ise volumetrik olarak (Schimadzu UV1650) hesaplanmıştır.

Toplam sertlik hesaplamasında (TH) aşağıdaki formül kullanılmıştır (tüm birimler mg/L):

$$TH(CaCO_3/L) = 2,5*[Ca^{2+}] + 4,1*[Mg^{2+}] \quad (2)$$

## MODELLEME

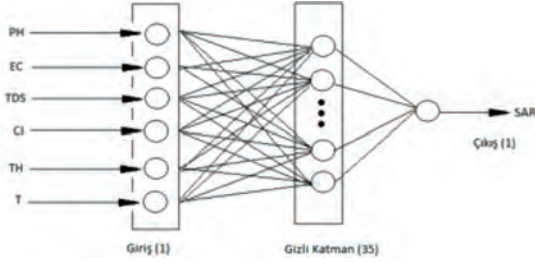
Yapay sinir ağları (YSA) insan beyninin çalışma sisteminden esinlenerek ortaya çıkmıştır. YSA insan beynindeki birçok nöronun, birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanması sonucu oluşan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir. Başlangıçta insan beynindeki nöronların matematiksel olarak modellenmesi amacıyla başlayan çalışmalar, günümüzde belirli bir disiplin haline gelmiş, birçok farklı bilimsel alanda araştırma konusu olmuştur. YSA genelde çok farklı yapıda ve formlarda bulunabilen enformasyon verilerinin çok hızlı bir şekilde tanımlanarak algılanması esasına dayanır. YSA, veriler arasındaki bilinmeyen ve fark edilmesi güç ilişkileri ortaya çıkartabilir. Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan, herhangi bir varsayımda bulunmadan, doğrusal olmayan modellemeyi sağlayabilmektedir (Kaastra ve Boyd, 1996).

Ağa, girdi bilgileri ve bu girdilere karşılık gelen çıktı bilgileri verilmekte ve ağın girdi-çıkı arasındaki ilişkiyi öğrenmesi sağlanmakta, böylece ağın eğitimi gerçekleştirilmektedir. Öğreticili öğrenme olarak adlandırılan bu yöntem genelde tercih edilen bir yöntemdir (Peng vd., 1992). Öğreticili öğrenme yöntemi ile eğitilen ağ yapıları (geriye yayılım yapay sinir ağları ve radyal tabanlı yapay sinir ağları), mevcut problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

YSA, öngörülen sayıda yapay sinir hücrelerinin, veri işlemek amacıyla belirli bir mimari ile yapılandırılmasıyla ortaya çıkar. Bu mimari yapı, numaralandırılan birkaç katmandan oluşmaktadır. İlk katman, çoğunlukla numaralandırılmayan, giriş katmanıdır. Bu katman, giriş katmanındaki elemanların ağırlık çarpanları ve aktivasyon fonksiyonlarının olmaması nedeniyle numaralandırılmaz. Diğer ara katmanların sayısı değişebilmektedir ve gizli katman ismi ile anılır. Çoğu zaman tek gizli katmanın uygun olacağı belirtilmekle beraber (El-Din ve Smith, 2002), birden fazla gizli katman kullanılarak geniş çapta hedef fonksiyonu uyarlanabilmektedir (Toth vd., 2000). Son katman ise çıkış katmanı olarak adlandırılır. Analizlerde, geriye yayılım yapay sinir ağı modeli (GYYSAM) çok tercih edilen, çok katmanlı bir tahmin modelidir.

Şekil 2'de, çalışmada kullanılan YSA modeli gösterilmektedir. GYYSAM ile yapılan çalışmada; giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katman kullanılmıştır. Giriş katmanında pH, EC, TDS,  $Cl^-$ , TH, T olmak üzere altı giriş vardır. Gizli katmanda, YSA modelinin ortalama davranışı öğrenmesi istendiği için, nöron geçiş fonksiyonu olarak sigmoid transfer fonksiyonu seçilmiştir. Çıkış

katmanında ise lineer transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Çalışmada üç grup veri seti kullanılmıştır. Bu verilerin toplam sayısı 203 olup, 20 tanesi doğrulama, 30 tanesi test, kalan 153 tanesi ise YSA'yı eğitmek için kullanılmıştır.



Şekil 2. Gözlem kuyularından SAR tahmini için geliştirilen sinir ağı modeli.

Figure 2. The neural network structure for the prediction of SAR in the monitoring wells.

## GERİYE YAYILIM ALGORİTMASI SEÇİMİ

Geriye yayılım yapay sinir ağı modeli (GYYSAM), sıklıkla kullanılan bir ağ yapısıdır. Standart geri yayılım algoritması, ağ ağırlıklarının, performans fonksiyonunun negatif gradyanı yönünde ilerlediği gradyan iniş algoritmasıdır. Bir çok çeşidi olan geri yayılım algoritması, gradyan iniş ve newton metodu gibi standart optimizasyon tekniklerine dayanmaktadır ve yapay sinir ağları içerisinde her probleme uyarlanabilir (Lipmann, 1987). Geriye yayılım modeli geri beslemeli bir öğrenme mekanizması kullanır. Yapay sinir ağının yapısı ileri beslemeli olmasına rağmen, hatanın geriye doğru ket vurmasından kaynaklanan bir

öğrenme olduğu için, geri besleme öğrenmede önemli bir etken haline gelmektedir. Bu tip öğrenme algoritması, sürekli girdi tipini kullanır. Bu çalışmada, literatürde çok sık kullanılan Levenberg–Marquardt (trainlm) öğrenme algoritması seçilmiştir.

Öğrenme algoritmasının seçiminden sonra gizli katmandaki nöron sayısının belirlenmesi gerekir. Bir katmanda kullanılacak nöron sayısı olabildiğince az olmalıdır. Nöron sayısının az olması yapay sinir ağının «genelleme» yeteneğini arttırırken, gereğinden fazla olması ağın verileri ezberlemesine neden olur. Ancak gereğinden az nöron kullanılması, verilerdeki örüntünün ağ tarafından öğrenilememesi gibi bir sorun yaratabilir (Stern, 1996). Bu çalışmada, gizli katmandaki nöron sayısı, YSA öğrenme performansı için kullanılan karesel ortalama hata (MSE) değerinin anlamlı bir değişim göstermemeye başladığı nöron sayısı olan otuzbeş olarak seçilmiştir. Çıkış katmanında ise tek çıkış olan SAR tahmini vardır.

## TARTIŞMALAR

SAR, pH, EC, TDS, Cl, TH ve T arasındaki ilişkinin tanımlanması için hesaplanan korelasyon katsayıları oldukça düşüktür (Çizelge 1). SAR değeri ile en yüksek korelasyon, EC değeri ile olan  $R=0.674$ 'tür. Benzer şekilde, SAR bağımlı değişken ve pH, EC TDS, Cl, TH ve T bağımsız değişken olarak yapılan lineer regresyon analizinde de  $R^2$  değerleri 0.45 olarak hesaplanmıştır.



Çizelge 1. YSA modellemesinde kullanılan parametreler arasındaki korelasyon katsayıları (R).

Table 1. Correlation coefficients (R) among parameters used for the ANN modelling.

	pH	EC	TDS	Cl	TH	T(Sıcaklık)	SAR
pH	1						
EC	-.137	1					
TDS	-.141*	.998**	1				
Cl	-.182**	.637**	.628**	1			
TH	-.139*	.756**	.754**	.552**	1		
T(Sıcaklık)	.197**	-.335**	-.332**	-.534**	-.309**	1	
SAR	-.127	.674**	.670**	.571**	.522**	-.439**	1

\*. Korelasyon 0.05 seviyesinde anlamlıdır. .

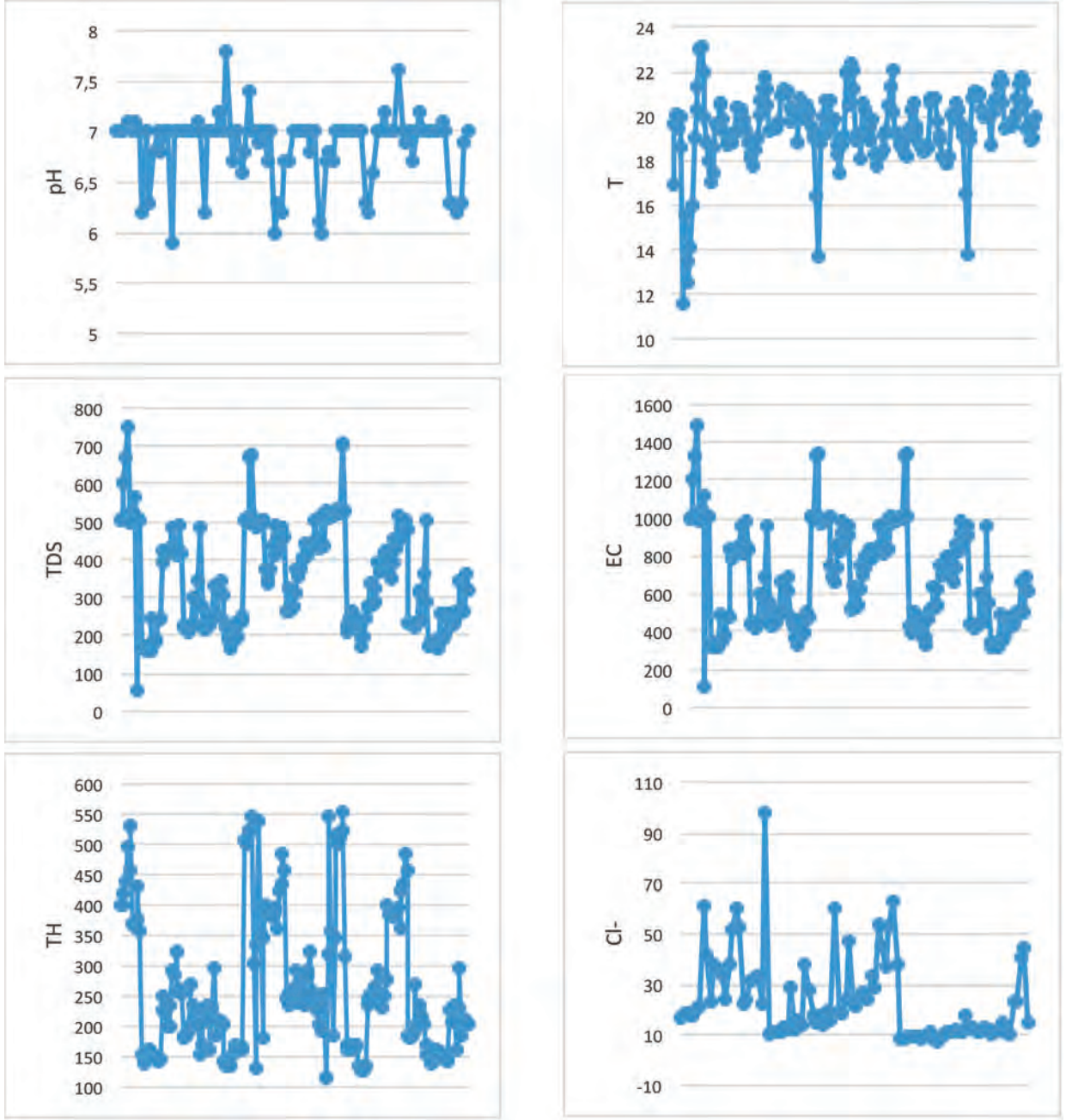
\*\* . Korelasyon 0.01 seviyesinde anlamlıdır.

Görüldüğü gibi girdi olarak kullanılan veriler ile çıktı olarak elde edilen SAR verileri arasındaki ilişki oldukça zayıftır. Bu nedenle, YSA gibi daha kuvvetli ilişki kurabilen yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Mjalli vd., 2007). Bu bağlamda Ergene havzası doğu kesimi serbest akiferinden su alan 18 kuyudan alınan örnekler ile, YSA yöntemi kullanılarak SAR tahmininin yapılabilirliği araştırılmıştır. Ergene Havzası doğu kesiminin su kalitesi hakkında literatürde çalışmalar bulunmaktadır (Kaykıoğlu ve Ekmekyapar, 2005; Güneş vd., 2008; Arkoç, 2011, 2014).

Girdi olarak kullanılan inceleme alanındaki parametrelerin değişimleri şekil 3'te verilmiştir. Çalışma alanındaki yeraltı sularının pH değerleri 7.8 ile 5.9 arasında değişim göstermekte olup, genel olarak alkalidir. Suların elektriksel iletkenlikleri

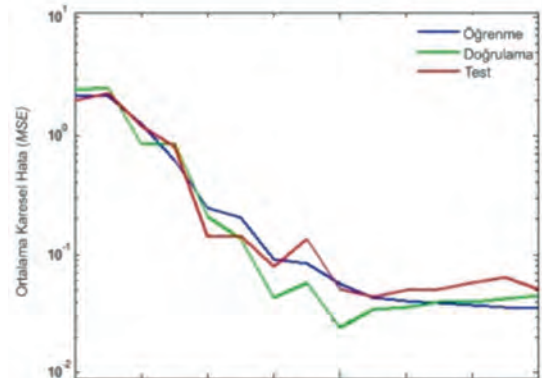
ise 315 ile 1347  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında olup ortalama 665  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Elektriksel iletkenlik için, TS266 ve Avrupa Birliği tarafından izin verilen maksimum değer olan 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'yi hiçbir örnek geçmemektedir. Yeraltı su örneklerindeki toplam çözünmüş katı miktarı 708.94 ile 165.78 mg/l arasında değişmektedir. Bu değerler dünya sağlık örgütü tarafından kabul edilebilir sınırlardadır (WHO, 2006). Klorür değerleri ise 7.2 ile 97.7 mg/l arasında olup ortalama 24.1 mg/l'dir. Bu değerler TS266 sınır değerinin (250 mg/l) oldukça altındadır. 18 gözlem kuyusundaki toplam sertlik değerleri ise 552.7 ile 113.8 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  arasında değişmektedir. Kuyulardaki su sıcaklığı ise ortalama 19.9 C° civarındadır. Yeraltı sularındaki SAR oranları 0.06 ile 1.75 arasında değişmekte olup ortalama 0.61 dir. Bu değerler izin verilen maksimum sınır değer olan 26'nın altında kalmaktadır.

Arkoç, Akıncı, Nogay



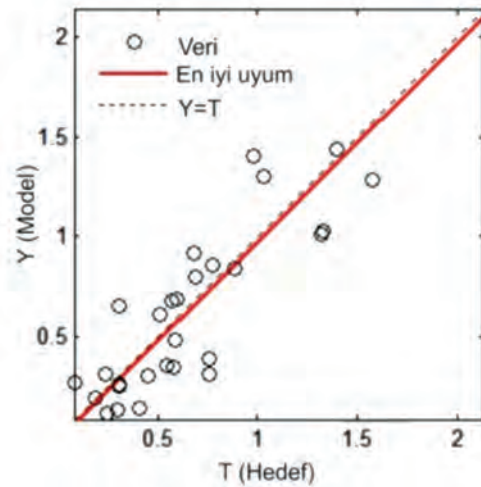
Şekil 3. YSA modellemesinde kullanılan parametrelerin tüm gözlem kuyularında değişimi.  
Figure 3. The variation of input parameters in the ANN modeling.

Şekil 4'ten de anlaşılacağı üzere, 14 güncellenme sayısında (adım, epoch) MSE değerlerinin değişmediği gözlemlenmiş ve öğrenme sonlandırılmıştır. En iyi doğrulama performansının olduğu 8. iterasyona kadar dikkate değer ezberleme belirtisi görülmemektedir çünkü, bu iterasyondan itibaren doğrulama ve test setinde hata oranı artmamaktadır. Doğrulama seti hatası ve test seti hatası benzer karakter gösterdiğinden ve önemli bir ezberleme oluşmadığından, ağır performansı kabul edilebilir seviyededir.  $R$  korelasyon katsayısı, çıktılardaki varyasyonun hedefler tarafından ne kadar iyi açıklandığının bir ölçüsüdür.  $R$  değerinin 1'e yaklaşması ilişkinin güçlendiğini, 0'a yaklaşması zayıfladığını ifade etmektedir (Kalaycı, 2010). YSA tarafından üretilen sonuç ile hedeflenen sonuç arasındaki ilişki Şekil 5'te verilmiştir. Hesaplanan sonuç ve hedeflenen sonuç arasındaki  $R$  ve MSE değerleri sırası ile 0.885 ve 0.051 olarak bulunmuştur. YSA tarafından üretilen ve gözlemlenen değerler arasındaki değişim Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, hedeflenen ve üretilen çıkış değerleri eğrilerinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar YSA'nın SAR tahmininde güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.



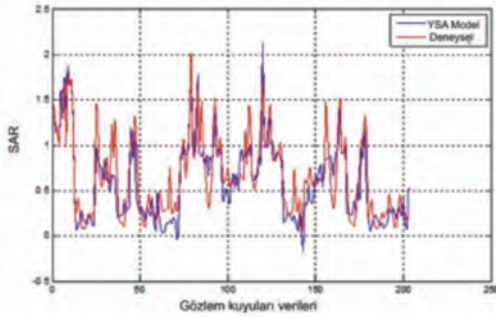
Şekil 4. Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak 35 nöron ile yapılan SAR tahmininde öğrenme, doğrulama ve test ortalama karesel hataları.

Figure 4. Training, validation and test square mean errors for the SAR prediction using Levenberg-Marquardt algorithm with 35 neurons.



Şekil 5. SAR tahmini için 35 nöron sayısı ile Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak elde edilen YSA sonuçları (Y) ile hedefler (T) arasındaki doğrusal regresyon grafiği.

Figure 5. Linear regression between the ANN outputs (Y) and the corresponding targets (T) using algorithm with 35 neurons for SAR.



Şekil 6. Ölçülen ve YSA ile tahmin edilen SAR değerleri.

Figure 6. Measured and predicted neural network values of SAR.

YSA modellemesinde kullanılan her bir parametrenin çıkarılmasının, YSA performansına olan etkisi, (Gontarski vd., 2000) tarafından önerilen aşağıdaki formülle,  $R$  değerleri kullanılarak analiz edilmiştir.

$$(\% \text{ etki}) = 100(1 - R_i / R_{CB}) \quad (3)$$

Bu formülde;  $R_{CB}$ , tahmin edilen ve gözlenen değerler arasındaki temel korelasyon katsayısını,  $R_i$  ise, her bir girdinin ihmal edilesi sonucu elde edilen korelasyon katsayısını ifade etmektedir. SAR değeri tahmini için yapılan modellemeye en yüksek etki EC değerinin çıkarılması ile gerçekleşmiş,  $R$  değeri % 15.81 azalmıştır (çizelge 2). Benzer şekilde TDS değerinin çıkarılması  $R$  değerinde % 14.23 azalmaya neden olmuştur. Bu durum EC ile TDS değerleri arasında birçok su için  $TDS=0.65*EC$  şeklinde doğrudan korelasyon olması ile açıklanabilir. Bu çalışmada YSA'nın kalibrasyonunda kullanılan en yüksek SAR değeri 2 olup izin verilen sınır değer ise 26'dır.

Çizelge 2. Her bir değişkenin YSA tahmin performansına olan etkisi.

Table 2. Influence of each variable on the performance of ANN prediction.

Değişken	$R$	$R$ üzerinde % etkisi
Temel durum	0.885	-
pH	0.878	0.79
EC	0.745	15.81
TDS	0.759	14.23
Cl	0.810	8.47
TH	0.867	2.03
T	0.850	3.95

Ancak YSA'nın mimarisi tüm değerlere uygun cevap verecek şekilde tasarlandığı için, tasarımı yapılan bu model ile, yeraltı sularındaki sınır değerinin üzerinde olan SAR değerleri de tahmin edilebilecektir. Bu şekilde, yeraltı suyu işletmesindeki büyük miktarda verinin değerlendirilmesi kolaylaşmış olacaktır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Ergene Havzası'nda açılan 18 adet gözlem kuyusundaki SAR değerlerinin tahmininde, Yapay Sinir Ağları'nın (YSA) güvenilir bir araç olduğunu göstermiştir. Yeraltı sularındaki SAR değeri aşırı sulama ve gübre kullanımı ile artış gösterebilmektedir. Tasarımı yapılan, test edilip, hedeflenen sonuçları verdiği gözlenen YSA modeli ile, çalışma alanındaki SAR değerleri kolaylıkla tahmin edilebilmiştir. SAR tahminde en etkin parametrelerin EC ve TDS olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni, iki parametre arasında doğrudan bir korelasyon olmasıdır. Bu nedenle TDS gibi ölçülmesi zor ve pahalı bir parametre yerine sadece EC değerinin kullanılması daha uygun olacaktır.

Uygulanan modelin geniş ölçekli veriye iyi uyum sağlaması, modelin diğer sahalara için optimize edilmesi ile uygulanabilirliğini daha da kolaylaştıracaktır. Bu çalışmada, sensör teknolojisi yardımı ile ölçülebilen parametreler ile beraber rutin su kalitesi analiz parametreleri kullanılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda, YSA modelinin tasarlanması sırasında kullanılan parametrelerin seçimi ve birbirleri ile olan etkileşimlerinin ayrıca araştırılması, modelin tutarlılığını artıracaktır. Özellikle nispeten ucuz bir yöntem olan sensör teknolojisi ile ölçümü yapılabilen parametrelerin seçilmesi, çalışmanın daha da ekonomik olmasını sağlayacaktır. Tasarımı yapılan bu model ile, yeraltı sularının izlenmesi ve işletilmesi daha ucuz ve kolay bir şekilde yapılabilecektir.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar, değerli görüşleri ve bilgileri ile katkıda bulunan hakemlere çok teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Adamowski, J., Fung Chan, H., Prasher, S. O., Ozga Zielinski, B., Sliusarieva, A., 2012. Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and wavelet artificial neural network methods for urban water demand forecasting in Montreal, Canada. *Water Resources Research*, 48 (1),1-14.
- Arkoç, O., 2005. Ergene Havzası Çorlu-Çerkezköy arasındaki kesiminin hidrojeolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 144 s (yayımlanmamış).
- Arkoç, O., 2011. Assessment of water quality of east part of the Ergene basin, Turkey. *Journal of*

*Environmental Protection and Ecology*, 12 (4), 1644-1655.

- Arkoç, O., Erdoğan, M., 2011. Ergene Havzası, Çorlu-Çerkezköy arasındaki kesiminin hidrojeokimyası. *İTÜ Dergisi/d*, 5 (2), 125-134.
- Arkoç, O., 2014. Municipal solid waste landfill site selection using geographical information systems: a case study from Çorlu, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (11), 4975-4985.
- Asadollahfardi, G., Hemati, A., Moradinejad, S., Asadollahfardi, R., 2013. Sodium adsorption ratio (SAR) prediction of the Chalghazi river using artificial neural network (ANN) Iran. *Current World Environment*, 8 (2), 169-178.
- Bauder, T. A., Waskom, R. M., Davis, J. G., Sutherland, P. L., 2011. Colorado State University Extension, Report for Irrigation water quality criteria, no.0.506, 4s. Fort Collins, CO, USA.
- Bedient, P. B., Rifai, H. S., Newell, C. J., 1994. Ground water contamination: transport and remediation. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 540 p.
- Cıgızoğlu, H. K., 2004. Estimation and forecasting of daily suspended sediment data by multi layer perceptrons, *Advances in Water Resources*, 27, 185-195.
- El-Din, A. G., Smith, D. W., 2002. A neural network model to predict the wastewater inflow incorporating rainfall events. *Water Research*, 36 (5),1115-1126.
- Gontarski, C. A., Rodrigues, P. R., Mori, M., Prenem, L. F., 2000. Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural networks. *Computers & Chemical Engineering*, 24 (2), 1719-1723.

- Güneş, E. H., Güneş, Y., Talıme, I., 2008. Toxicity evaluation of industrial and land base sources in a river basin. *Desalination*, 226 (1), 348-356.
- Kaastra, I., Boyd, M., 1996. Designing a neural network for forecasting financial and economic time series. *Neurocomputing*, 10, 215-236.
- Kalaycı, S., 2010. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Asil Yayınları, Ankara, 426s. .
- Karayiannis, N., Venetsanopoulos, A. N., 2013. Artificial Neural Networks: Learning Algorithms, Performance Evaluation, and Applications. Springer Science & Business Media, No: 209, 373 p.
- Kaykıoğlu, G., Ekmekyapar, F., 2005. Ergene Havzası'nda endüstriyel işlem suyu olarak kullanılan yeraltı sularının özellikleri üzerine bir araştırma. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 6 (1), 85-91.
- Lippmann, R. P., 1987. An introduction to computing with neural nets. *ASSP Magazine, IEEE*, 4 (2), 4-22.
- Maier, H. R., Dandy, G. C., 1996. The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters. *Water Resources Research*, 32 (4), 1013-1022.
- Mjalli, F. S., Al-Asheh, S., Alfadala, H. E., 2007. Use of artificial neural network black-box modeling for the prediction of wastewater treatment plants performance. *Journal of Environmental Management*, 83 (3), 329-338.
- Nogay, H. S., Akıncı, T. C., Eidukeviciute, M., 2012. Application of artificial neural networks for short term wind speed forecasting in Mardin, Turkey. *Journal of Energy in Southern Africa*, 23 (4), 3.
- Onkal-Engin, G., Demir, I., Engin, S. N., 2005. Determination of the relationship between sewage odour and BOD by neural networks. *Environmental Modelling Software* 20 (7), 843-850.
- Özkan, E., Kubaş, A., 2008. Ergene havzasında kirliliğin sosyo ekonomik etkileri. Havza kirliliği konferansı, İzmir, 1, 15-21.
- Peng, T. M., Hubele, N. F., Karady, G. G., 1992. Advancement in the application of neural networks for STLF. *IEEE Transactions on Power Systems*, 7 (1), 250-257.
- Şengörür, B., Köklü, R., Ateş, A., 2015. Water quality assessment using artificial intelligence techniques: SOM and ANN—A case study of Melen River Turkey. *Water Quality, Exposure and Health*, 7 (4), 469-490.
- Stern, H. S., 1996. Neural networks in applied statistics. *Technometrics*, 38 (3), 205-214.
- Suarez, D. L., Wood, J. D., Lesch, S. M., 2006. Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agricultural Water Management*, 86 (1), 150-164.
- Toth, E., Brath, A., Montanari, A., 2000. Comparison of short-term rainfall prediction models for real-time flood forecasting. *Journal of Hydrology*, 239 (1-4), 132-147.
- WHO, 2006. A compendium of drinking-water quality standards in the eastern Mediterranean region. World Health Organization, Geneva, Document No. WHO-EM/CEH/143/E.
- Yeşilnacar, M. I., Şahinkaya, E., 2012. Artificial neural network prediction of sulfate and SAR in an unconfined aquifer in southeastern Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 67 (4), 1111-1119.
- Yeşilnacar, M. I., Şahinkaya, E., Naz, M., Özkaya, B., 2008. Neural network prediction of nitrate in groundwater of Harran Plain, Turkey. *Environmental Geology*, 56 (1), 19-25.

## Application of Water Quality Index with the Aid of Geographic Information System in Eastern Thrace to Assess Groundwater Quality

*Doğu Trakya Bölgesi'nde Yeraltı Suyu Kalitesinin Araştırılması Amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımı ile Su Kalite İndeksi Uygulaması*

**Orhan ARKOÇ<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Kırklareli University, Vocational School of Technical Sciences, Kırklareli, TURKEY*

Geliş (received) : 24 Mart (March) 2016  
Düzeltilme (revised) : 10 Mayıs (May) 2016  
Kabul (accepted) : 13 Mayıs (May) 2016

### ABSTRACT

Water quality assessment has always been a major part of environmental management plans. In this study, the groundwater quality and spatial distribution in the eastern Thrace region was assessed and mapped for agricultural and drinking purposes. Groundwater samples (n = 18) were collected from deep wells in the study area and analyzed for hydrochemical properties for the water quality assessment. The Water Quality Index (WQI) was calculated for the quantification of water quality for human consumption. The WQI values showed that 52 % of the groundwater samples fall in the “poor” and “very poor” category due to agricultural impact. Nevertheless, the majority of the groundwater were suitable for irrigation in terms of sodium absorption ratio (SAR), residual sodium carbonate (RSC), sodium ratio (Na%) and magnesium hazard (MH).

**Keywords:** Geographical Information System, Groundwater, Thrace, Water Quality Index.

### ÖZ

*Su kalitesi değerlendirmesi, çevresel yönetim planlarının daima önemli bir parçası olmuştur. Bu çalışmada, Doğu Trakya Bölgesi'ndeki yeraltı sularının içme ve sulama amaçlı kalitesi değerlendirilmiş ve sonuçların mekânsal dağılımı haritalanmıştır. Çalışma alanındaki 18 adet derin su kuyusundan alınan örneklerin su kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla hidrokimyasal özellikleri saptanmıştır. İnsani tüketim amaçlı su kalitesi değerlendirmesi için Su Kalite İndeksi (SKİ) hesaplanmıştır. SKİ değerleri, yeraltısularının % 52'sinin tarımsal ilaçlamadan dolayı “kötü” ve “çok kötü” sınıfında olduğunu göstermiştir. Bununla*

O.Arkoç

e-mail : orhan.arkoc@klu.edu.tr

*beraber, sulama amaçlı olarak yeraltı sularının büyük kısmının, sodyum absorpsiyon oranı (SAR), artık sodyum bicarbonat (RSC), sodyum yüzdesi (Na%) ve magnezyum tehlikesi (MH) açısından uygun olduğu görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Coğrafi Bilgi Sistemleri, Yeraltısuyu, Trakya, Su Kalite İndeksi,

## INTRODUCTION

The number of fresh water sources is very limited in the world. Although fresh water is a renewable resource, yet the world's supply of groundwater is steadily decreasing (Gleeson et al., 2012). Fresh groundwater was used for many important purposes, such as drinking and irrigation. The quality of groundwater is deteriorating due to urbanization, increasing population, and agricultural chemicals. In addition, the civil works, landslides, and the change in the rate of rain infiltration into groundwater are affecting the quality adversely (Ramesh and Elango, 2012). Groundwater is identified as cleaner and safer compared to surface water. For this reason, it is used more often than surface water in dry and semi-dry climate zones.

Pollutants threaten the quality of groundwater. Transfer of the pollutants influencing the groundwater is a function of the pollutants and aquifer. Consequently, the hydraulic conductivity and lithology of the aquifer, the precipitation, chemical and physiological properties of the pollutants, and the attenuation of the pollutants are gaining importance (Todd and Mays, 2005). Therefore, the threat of groundwater contamination must be

assessed with these factors. The data related to the mentioned factors can only be provided by detailed fieldwork.

Various methods have been established to assess groundwater quality for different purposes, such as irrigation or drinking (Wilcox, 1955; Ayers and Westcot, 1985; Aller et al., 1987; Simsek and Gunduz, 2007; Boyacioglu, 2010). The management and quality monitoring of water resources can be maintained primarily by tracing parameters related to the standards defined by international and national organizations, such as the World Health Organization (WHO) and Environmental Protection Agency (EPA). With traditional techniques, the assessment based on the comparison of water quality parameters is simple in application and detailed. However, it is also very difficult to interpret the existing data so that the decision makers can make plans for the water resources.

The quality of the groundwater cannot be assessed with only a few parameters due to the spatial variation of multiple pollutants. Common parameters used for water quality assessment are; microbial parameters such as different groups of bacteria; non-microbial parameters such as pH, turbidity etc., and for irrigation waters, electrical conductivity (EC), sodium absorption ratio



(SAR), etc. Various pollutant parameters can be measured and addition of new parameters is inevitable (Abbasi and Abbasi, 2012).

The water quality index (WQI) is a method for water quality analysis for different purposes. A WQI can be defined as the rating (grading), reflecting the compound (integral) impact of the different water quality parameters. Main advantage of the WQI is to reduce the many chemical and physical parameters into one number. WQI has been used worldwide largely in many water quality analysis (Gazzaz et al., 2012; Massoud, 2012; Iticescu et al., 2013; Lobato et al., 2015; Lobo et al., 2015). WQI mapping under the structure of the WQI is very important for water quality management. Many researchers have successfully assessed water quality worldwide by using WQI and geographical information systems (GIS) (Srivastava et al., 2011; Bairu et al., 2013; Magesh and Chandrasekar, 2013; Sadat-Noori, 2014; Selvam et al., 2014;).

The link among various data became simpler to determine with the introduction of Geographical Information Systems (GIS). GIS and spatial analysis help to model the water quality parameters and spatial distribution reliably and accurately by means of the integration of the laboratory analysis and geographical data. Thus, the water quality parameters and pollutant distribution maps could be easily generated by

GIS (Gibrilla et al., 2011; Gorai and Kumar, 2013; Kumari et al., 2014). WQI study results, with the aid of maps generated by GIS, have helped political authorities (legislators) for prevention and precautions of groundwater safety (Jasmin and Mallikarjuna, 2014; Shabbir and Ahmad, 2015).

Deep aquifer of the study area in Thrace was exploited by boreholes for irrigation and drinking purposes. During the last decade groundwater levels are in decline and this alarming situation necessitates the present study for the evaluation of groundwater quality in order to design proper water management plans in east of Eastern Thrace. Hence, the aim of this study is to determine the groundwater quality for irrigation and drinking purposes in the study area by the help of traditional water quality analysis approach, and GIS to generate WQI map.

## STUDY AREA

The study area covering 1476 km<sup>2</sup> was located west of İstanbul in the eastern Thrace region between the 27°30' and 28°12' east longitudes and the 41°02' and 41°58' north latitudes. The most populated cities of the region (Çorlu, Ergene, and Çerkezköy) are also in the study area (Figure 1).

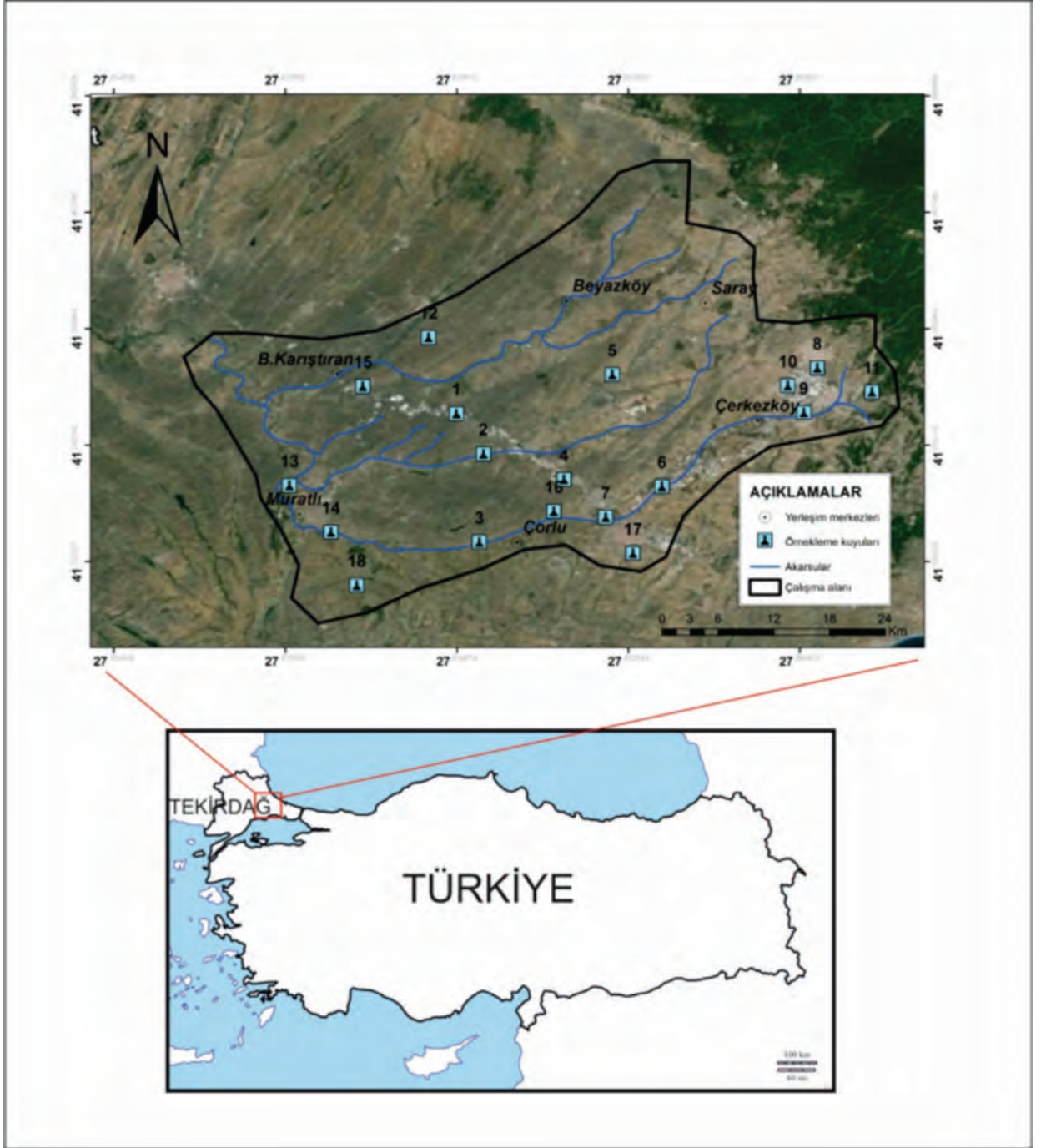


Figure 1. Location map of the study area.

Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

The study area had an annual temperature varying from -10 °C to 30 °C with the hottest months in July and August and the coldest months in January and February. The annual precipitation average was about 509 mm with a minimum and maximum of 72.2 mm and 180.3 mm, respectively (DSI, 2003). The region is influenced by semi-arid climate. Agriculture is common for the area, producing 13% of the wheat and 75% of the sunflowers in Turkey (TUIK, 2015).

The general geology of the study area is presented in Figure 2. Geological structures in the area consist of two main rock groups: Tertiary aged sedimentary rocks and Quaternary basaltic rocks. Tertiary aged sedimentary rocks include conglomerate and sandstone (Ergene formation, Tme), sandstone with claystone intercalations (Trakya formation, Tnt), Kurtdere Member (Tmk) consisting of sandstone, conglomerate and claystone intercalated with siltstone (Danışmen formation, Tod). These rocks outcrop in a large area. Quaternary basaltic volcanic rocks (Karatepe basalt, Qk) and Holocene sediments overlie the sedimentary rocks unconformably. Alluvium (Q) constitutes the youngest unit, and has a large extension in the study area (Çağlayan and Yurtsever, 1998). Ergene formation and Trakya formation form the main unconfined aquifers, due to their geological-hydrogeological characters and they have been classified as “permeable and semi permeable environment”. Infiltration of rainwater and rivers constitutes the main source of aquifer recharge. The groundwater flow direction is north-east to south-west (Figure 2). Detailed geology and hydrogeology of the study area could be found in the literature (Arkoc, 2011; 2013).

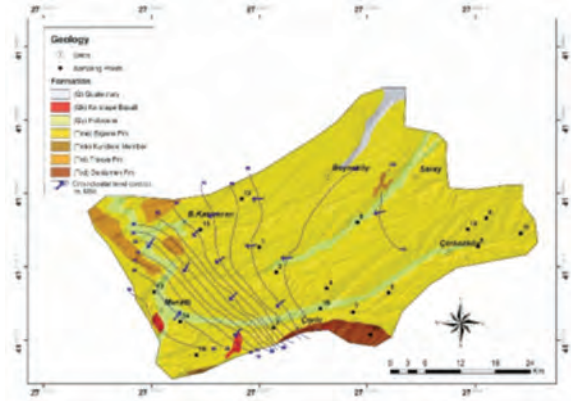


Figure 2. Geological and groundwater level map of the study area.

Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji ve yeraltı su seviyesi haritası.

## MATERIALS AND METHODS

The sampling well locations ( $n = 18$ ) were defined in the study area to map the spatial distribution of the water quality. The sampling well depths varied from 250 to 308 m though which groundwater was taken from the Ergene formation. These wells were commonly used for irrigation or drinking purposes. All water samples were collected in polypropylene (PP) bottles washed several times with sample water prior to collection. All the collected samples were preserved in a cooler at 4 °C in the field. The samples were collected during May 2013 within the standard methods given by the American Public Health Association (APHA, 1998). The samples were analyzed for pH, total dissolved solids (TDS), and concentrations of  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , As, and Mn. Analyses of the samples for  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{HCO}_3^-$  were done immediately on the day samples were collected.  $\text{HCO}_3^-$  was measured by titration while  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  were determined with a Hach DR 2800 spectrophotometer. TDS

and pH were measured in-situ on unfiltered water with a portable Hanna HI 98312 tester and a Toledo Mettler pH meter.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , As, and Mn were determined with an inductively coupled plasma-mass spectrometer (ICP-ES/ICP-MS, depending on the adequate detection limits of the instruments) analysis (ACME Labs, Vancouver, Canada). STD TMDA-70 reference material was used as a control material in the analytical measurements.

### GIS Analysis

1:100 000 scale geology map of the study area was digitized in ArcGIS. Satellite images were used to generate the main topographic map of the study area in ArcGIS. The sampling well coordinates were determined by a handheld GPS instrument (Garmin eTrex) during the fieldwork and these coordinates were stored in a point attribute table with unique identification nos.(IDs) were saved as a layer in the ArcGIS (Version 10.2) software. The chemical analysis of each parameter for each well was used with this table to build the geodatabase. This geodatabase was later used to build a spatial distribution map of the water quality parameters, including the WQI for drinking water and the sodium absorption ratio (SAR), residual sodium carbonate (RSC) and magnesium hazard (MH) for irrigation water. The spatial analyst tool in the ArcGIS software was used with the inverse distance weighted raster interpolation method to map the locational distribution of the different water pollutants in the study area.

### Water Quality Evaluation with WQI

The WQI was calculated to determine the quality of the groundwater in the study area for

drinking purposes. Since Horton (1965), many WQI models have been proposed, but they all have limitations. The most recognized model, the weighted arithmetic mean function, was used to calculate WQI. The proposed methodology is given in the flowchart shown in Figure 3.

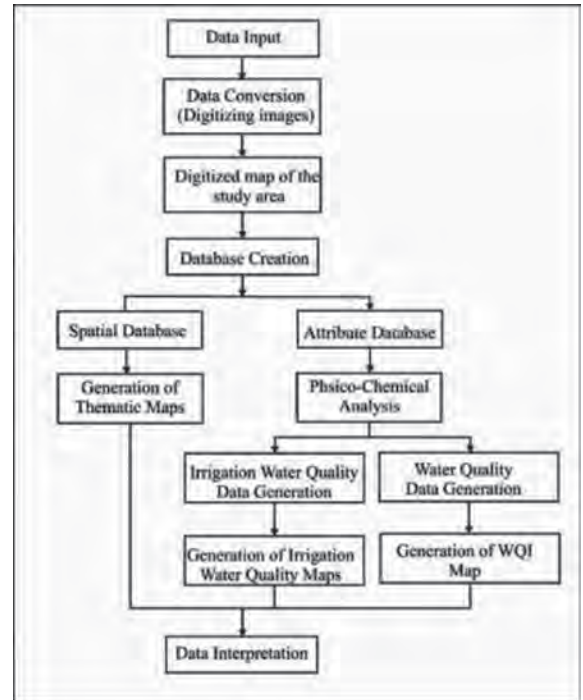


Figure 3. Flow-chart of the methodology adopted.

Şekil 3. Kullanılan metodolojiye ait akış diyagramı.

Initially, the parameters for the WQI calculation were chosen according to the WHO standards for drinking water quality. Then the weights ( $w_i$ ) from 1 to 5 were assigned to these parameters according to the impact of each parameter on human health with 1 being the minimum weight and 5 being the maximum weight (Avvannavar and Shrihari, 2008). Finally, the relative weight ( $W_i$ ) was calculated according to the formula given in Equation 1:

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i = {}_i w_i \quad (1)$$

In Equation 1,  $W_i$  is the relative weight,  $w_i$  is each parameter's weight, and  $n$  is the number of water quality parameters considered.

In the next step, a quality-rating scale ( $q_i$ ) of each parameter was calculated according to formula given in Equation 2:

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (2)$$

In Equation 2,  $q_i$  is the quality rating,  $C_i$  is the observed concentration of each parameter in the water sample (mg/l), and  $S_i$  is the limit value (desirable limit) of each parameter in the WHO standard (mg/l).

As a result, the formula used to determine the aggregated WQI is given in Equation 3:

$$WQI = \sum W_i \times q_i \quad (3)$$

### Water Quality Evaluation for Irrigation Purposes

Irrigation water quality has always been a major part of agricultural crop yield. The impact of the water's mineral composition on soils and plants determines the suitability of groundwater for irrigation purposes. For this purpose, several criteria, such as SAR, RSC, Na% and MH, were used to assess the quality of irrigation waters.

SAR was defined by Wilcox (1955). The experiments show that the SAR reasonably predicts the degree to which irrigation water tends to enter into a cation-exchange reaction in the soil. High values of SAR imply a hazard of sodium replacing adsorbed calcium and magnesium, a situation ultimately damaging

to the soil structure (Khan and Abbasi, 2013). SAR was computed according to the relationship shown in Equation 4 with concentrations given in meq/l.

$$SAR = Na^+ / \sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2} \quad (4)$$

The RSC was calculated to determine the hazardous effect of carbonate and bicarbonate on the quality of water for agricultural purposes. RSC is expressed by Equation 5, in which all ionic concentrations are expressed in meq/l (Eaton, 1950).

$$RSC = [(HCO_3 + CO_3) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]. \quad (5)$$

Generally, calcium and magnesium in water are in equilibrium. However, if the amount of magnesium in water increases, it adversely affects soil quality by increasing the alkalinity of the soil, thus, reducing its crop yield (Szabolcs and Darab, 1964). MH is given by the formula in Equation 6 with all values in mg/l.

$$MH = [Mg^{2+} / (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \times 100. \quad (6)$$

## DISCUSSIONS

### Water Quality Assessment for Drinking Purposes

Water quality is an important factor for health and safety issues associated with public health (Baba and Tayfur, 2011). Thus, the determination of a water's suitability for drinking purposes is essential. The statistical results for the physio-chemical parameters of the groundwater samples are tabulated in Table 1.

Table 1. Results of the chemical analysis of the studied parameters (mg/l).  
Çizelge 1. Çalıtılan parametrelerin kimyasal analiz sonuçları (mg/l).

Well	x	y	pH	EC	TDS	Alkalinity	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	As	Mn
1	553322	4569197	8,2	1550	780	610	594,2	162	46	137	1	75	29,5	20,3	0,003	0,0014
2	555556	4564899	7	481	245	488	188,2	51,5	15	31,1	2,3	15	5,99	1,3	0,007	0,002
3	555286	4555391	8	570	284	600	266,8	74,9	19	29,9	3,9	8,7	*	2,4	0,002	0,002
4	562097	4562197	7,1	835	416	732	358,4	103	25	44,3	2,8	64	*	2,4	0,003	0,0025
5	565940	4573513	7,4	1468	750	488	730,5	211	50	79	3,9	47	357	8,1	0,003	0,0111
6	570070	4561522	7,3	487	245	854	183,1	55,2	11	30,4	1,9	38	1,08	3,8	0,006	0,0009
7	565530	4558160	7	1280	633	612	597,8	174	40	69,6	3,8	60	104	20,3	0,002	0,0031
8	582545	4574397	6,6	470	230	608	182,3	52,6	12	28	1,7	17	*	1,5	0,009	0,0017
9	581513	4569573	6,1	683	343	592	271,4	41,8	41	73,4	2,4	40	6,45	1	0,001	0,0027
10	580174	4572475	7,2	723	365	601	497,4	152	29	122	0,6	34	4,28	8,7	0,002	0,0007
11	587000	4571850	7,8	987	498	512	193,6	63,5	8,5	37,5	3,5	45	5,01	0,5	0,006	0,0023
12	551000	4577411	7,9	434	219	614	246,5	70,4	17	27,6	4,8	23	202	1,2	0,002	0,0012
13	539823	4561405	7,6	523	264	792	338,2	120	9,2	48,3	3,5	9,2	6	3,1	0,002	0,0034
14	543217	4556381	8,5	763	389	544	635,9	195	37	84,3	4,2	57	1,3	2,5	0,003	0,0013
15	545712	4572112	7	343	173	794	243,6	64,3	20	39,2	2,5	18	*	7,2	0,002	0,0014
16	561300	4558750	7,8	386	198	620	651	193	41	58,4	3,9	26	7,12	3,4	0,007	0,0025
17	567788	4554303	8,2	549	280	584	205,1	54,5	17	35,4	2,5	18	*	4,4	0,002	0,0024
18	545344	4550675	8	565	288	621	255,1	45,8	34	67,5	3,2	34	*	1,2	0,002	0,002
Min			6,1	343	173	488	182,3	41,8	8,5	27,6	0,6	8,7	*	0,5	0,001	0,0007
Max			8,5	1550	780	854	730,5	211	50	137	4,8	75	357	20,3	0,009	0,0111
Mean			7,5	728	367	625,9	368,8	105	26	57,9	2,9	35	40,5	5,2	0	0
SD			0,6	355	179	100,6	186,4	58,2	13	31,3	1,1	19	91,5	5,8	0	0

\* Below detection limit

\* Tespit smiri altında

Water pH determines the solubility and microbiological availability of its chemical constituents, such as nutrients and heavy metals (Zhou et al., 2015). An optimum water pH of 7.0 to 8.5 has no direct impact on consumers (WHO, 2011). The pH of the groundwater samples in the study area varies from 6.1 to 8.5 with an average value of 7.48. This indicates that the sampled groundwater is slightly acidic to slightly alkaline. The spatial distribution of the pH concentrations is given in Figure 4a.

TDS is the term used to describe the inorganic salts and small amounts of organic matter present in solution in water (WHO, 2011). TDS is primarily related to inorganic salts of magnesium, calcium depending on the solubility of the minerals in the geological formations. TDS values of the collected water samples showed a variation of 173 to 780 mg/l with an average of 366.67 mg/l (Table 1). As all the TDS values in the study area are found to be below 1500 mg/l, they are all suitable for drinking purposes (Figure 4b).

Figure 4c shows that all groundwater samples had higher bicarbonate alkalinity concentrations than the WHO standard (120 mg/l). Bicarbonate alkalinity concentrations in the study area vary from 488 to 780 mg/l with an average of 625.89 mg/l.

The order of the major anions according to their abundance in the study area is  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ . The first dominant anion  $\text{HCO}_3^-$  was already discussed. The sulfate concentrations of the groundwater are elevated but not higher than the maximum allowable limit of 250 mg/l, according to WHO, except sample 5 with a concentration of 357 mg/l (Table 1). The spatial distribution of sulfate ion concentrations shows that 98% of the collected samples are within the maximum allowable limit of 250 mg/l (Figure 4d).

Chloride is the third dominant anion in the study area. The concentration of chloride in the study area varies from 8.7 to 75 mg/l (Table 1). None of these values exceeds the maximum allowable concentration of 250 mg/l (Figure 4e).

Nitrate is the fourth dominant anion in the study area. Nitrate can be found in the groundwater because of agricultural activity, wastewater disposal, and the oxidation of animal and human excrement.  $\text{NO}_3^-$  concentrations of the groundwater samples varies from 0.5 to 20.3 mg/l with an average value of 5.18 mg/l (Table 1). None of the concentrations in the groundwater samples exceeds the guideline value of 50 mg/l for both WHO (2005) and TS266 (2011) standards (Figure 4f).

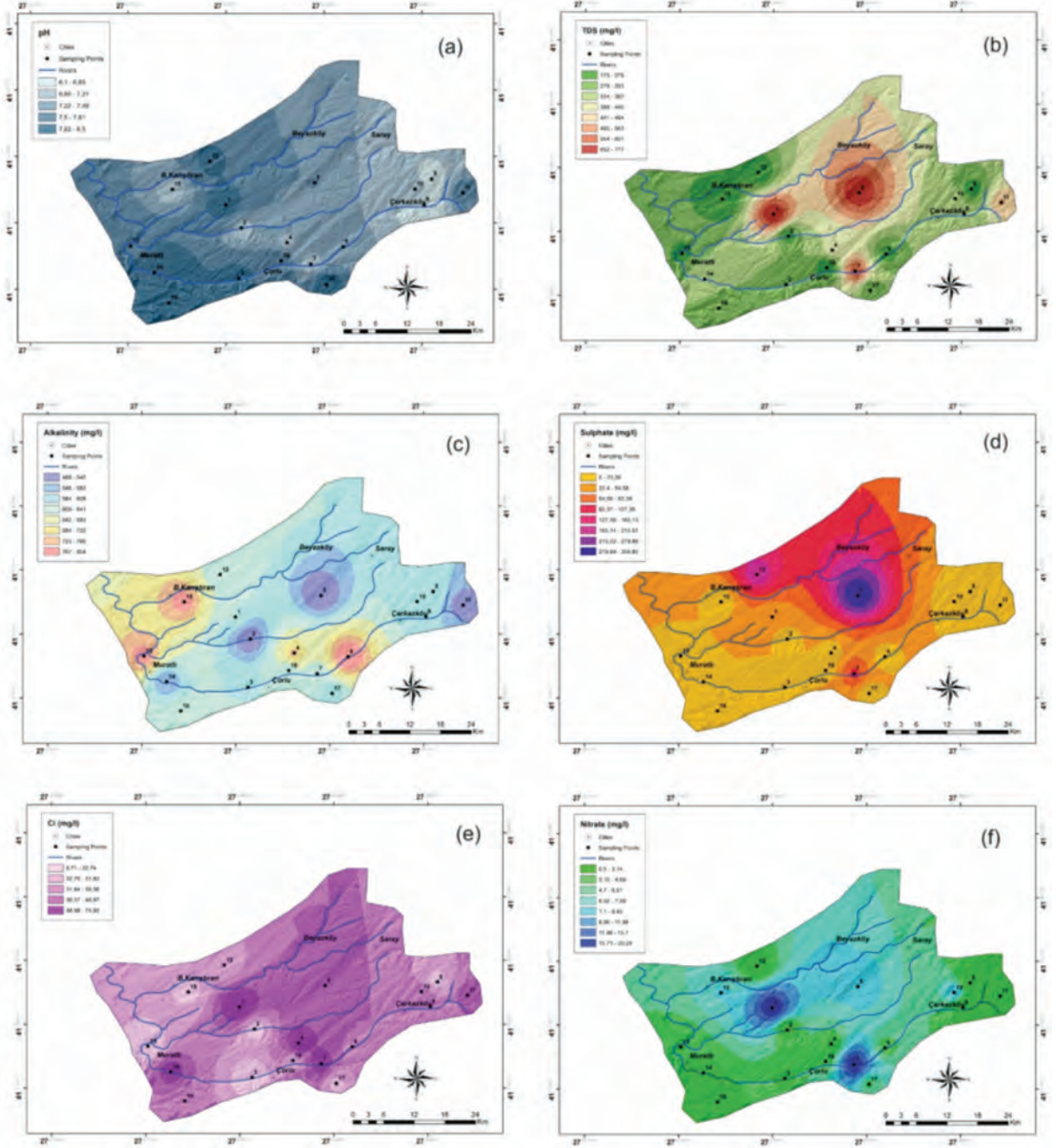


Figure 4. Spatial distribution map of pH (a), TDS (b), alkalinity (c), sulphate (d), chloride (e) and nitrate (f)

Şekil 4. pH (a), TDS (b), alkalinite (c), sülfat (d), klorür (e) ve nitrat (f) mekansal dağılım haritası.

The main cation trend in the study area is  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^{+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^{+}$ . The calcium concentration of the groundwater samples in the

study area varies from 41.8 to 210.7 mg/l with an average value of 104.67 mg/l (Table 1). As the maximum permissible limit for calcium is 100



mg/l, only 50.88% of the samples are below the maximum permissible limit (Figure 5a). This is due to calcium carbonate minerals deposited in the aquifer matrix (Gültekin, 1998).

The second most dominant cation is sodium. The concentration of sodium in the groundwater varies from 27.6 to 136.7 mg/l with an average value of 57.94 mg/l (Table 1). The average taste threshold for sodium is 200 mg/l and none of the samples exceeds this value (Figure 5b).

The third most dominant cation is Mg. Compared to calcium, the ion concentration in the samples are low, with a range of 8.5-49.7 mg/l, and an average of 26.13 mg/l (Table 1). All of the samples are below the permissible limit of 50 mg/l. The spatial distribution of Mg is given in Figure 5c.

Potassium is the fourth most dominant cation in the study area. The potassium concentration values of the samples show a variation between 0.6 and 4.8 mg/l with an average of 2.91 mg/l (Table 1). All the groundwater samples are within the permissible upper limit (82 mg/l) for the potassium (Figure 5d).

The spatial distribution of arsenic in the study area reveals that all the groundwater samples has lower concentrations than that given by both WHO and TS266 standards (Figure 5e). The concentrations of arsenic range from 0.0013 to 0.0086 mg/l (Table 1). In addition, all of the groundwater samples contain manganese below the guideline limit (0.05 mg/l) with values of 0.0007 to 0.0011 mg/l. The spatial distribution of the manganese is given in Figure 5f.

## Water Quality Assessment for Irrigation Purposes

Ion chemistry of the groundwater mainly depends on the geochemical composition of the aquifer rocks and the interaction time of the groundwater with the aquifer media. The SAR, RSC, Na%, and MH were used in this study to assess the availability of groundwater for irrigation purposes. This criterion could be a guide for farmers to avoid crop loss due to irrigation, and they could take measures to improve soil productivity and crop yields. Table 2 shows the calculated values of this criterion for each groundwater sample.

Table 2. Groundwater quality parameters of the study area.

Çizelge 2. Çalışma alanındaki yeraltısuyu kalite parametreleri.

Sample no	SAR (meq/l)	RSC (meq/l)	Na% (meq/l)	MH (meq/l)
1	2,43	6,27	33,41	31,84
2	0,61	-26,95	7,85	9,49
3	0,81	-32,35	9,41	7,6
4	0,99	-40,14	10,18	9,09
5	2,33	-30,89	23,06	21,03
6	0,50	-45,09	5,15	5,54
7	1,77	-36,21	17,46	15,81
8	0,56	-32,59	6,68	7,05
9	0,43	-35,53	5,03	16,99
10	1,47	-40,09	14,19	25,18
11	0,72	-28,68	9,03	10,77
12	0,75	-32,86	8,83	6,9
13	1,12	-43,46	10,9	9,13
14	2,05	-34,03	20,11	20,38
15	0,59	-42,82	6,18	7,54
16	1,98	-35,7	19,17	13,46
17	0,59	-32,01	7,06	9,09
18	0,46	-36,54	5,36	15,18

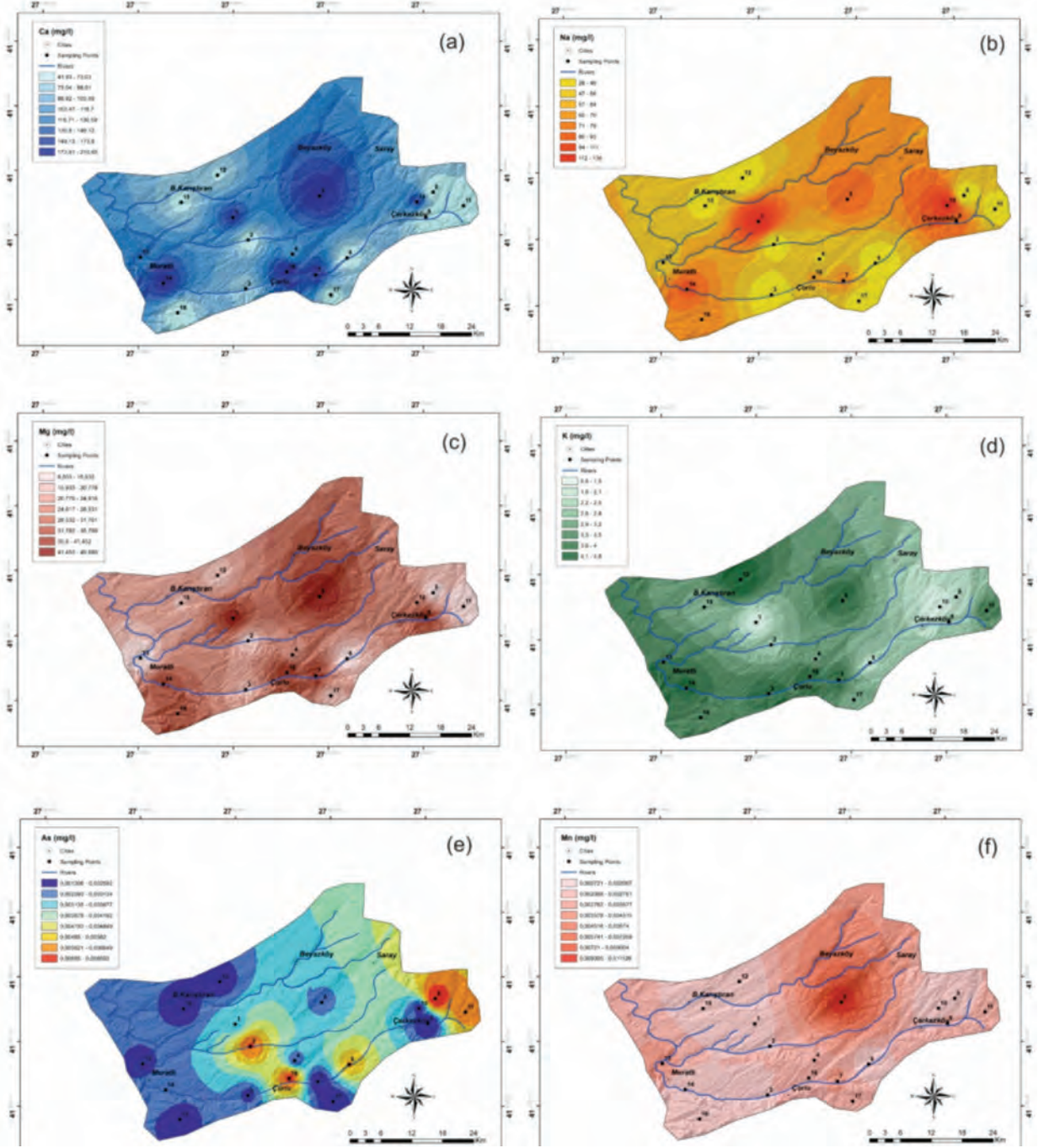


Figure 5. Spatial distribution map of calcium (a), sodium (b), magnesium (c), potassium (d), arsenic (e) and manganese (f).

Şekil 5. Kalsiyum (a), sodyum (b), magnezyum (c), potasyum (d), arsenic (e) ve mangan (f) mekansal dağılım haritası.

If the SAR values of irrigation waters rise above level 6, soil permeability and structural stability are inversely affected, and the water is defined as unsuitable (Table 3) due to the development of alkaline soil (Beltrán, 1999). In the study area, the SAR values ranging between 0.01 to 0.55 meq/l, indicate that all the samples are suitable for irrigation. The spatial distribution map of SAR is given in Figure 6a.

Table 3. Definition of SAR classes.

Çizelge 3. SAR sınıfları tanımları.

SAR (meq/l)	Water quality
0-6	Good
6-9	Doubtful
>9	Unsuitable

The RSC is used to determine the hazardous effect of carbonates and bicarbonates on irrigation water quality. If the RSC value is below 1.25, then the water is suitable for irrigation (Table 4). A negative RSC indicates that sodium buildup is improbable because adequate calcium and magnesium are in excess of what can be precipitated as carbonates. The groundwater samples were classified according to classes given in Table 4. The RSC in the groundwater varies from 6.27 to -45.10 meq/l (Table 2). Nevertheless, according to the RSC, all the samples are within the safe category for irrigation except sample no. 1 due to high carbonate concentration which could be due to the presence of minerals producing sodium carbonate. The spatial distribution map of RSC is shown in Figure 6b.

Table 4. Definition of water quality classes based on RSC.

Çizelge 4. RSC'ye göre su kalitesi sınıfları tanımları.

RSC (meq/l)	Water quality
<1,25	Good
1,25-2,5	Doubtful
>2,5	Unsuitable

Na<sup>+</sup> is an important cation that deteriorates the soil structure and crop yield due to high osmotic pressure in excess. The sodium ratio of the groundwater samples varies from 5.03 to 33.41 with an average of 12.17 (Table 2). The spatial distribution map shows that 92% of the samples are in the “excellent” category and the remaining 8% are in the “good” category (Table 5, Figure 6c).

Table 5. Definition of water quality classes based on the sodium percentage (% Na).

Çizelge 5. Sodyum yüzdesine (% Na) göre su kalitesi sınıfları tanımları.

Na% (meq/l)	Water quality
<20	Excellent
20-40	Good
40-60	Permissible
60-80	Doubtful
>80	Unsuitable

In groundwater, alkaline earths are in equilibrium. If the soil increases in alkalinity, such as with an excess of Mg and Ca, the crop yield will be reduced. The computed values of the MH in the groundwater of the study area are from 5.54 to 31.84 meq/l with an average of 13.43 meq/l (Table 2). If irrigation water contains more than 50 meq/l of MH, the water is considered harmful for irrigation (Table 6). The

spatial distribution map of MH shows that all the samples are below an MH of 50 meq/l; thus, they can be considered as “suitable” for irrigation (Figure 6d).

According to the assessment techniques mentioned above, the majority of the groundwater of the study area is suitable for irrigation purposes.

Table 6. Definition of water quality classes based on the magnesium hazard (MH).

Çizelge 6. Magnezyum tehlikesine(MH) göre su kalitesi sınıfları tanımları.

MH (meq/l)	Water quality
<50	Suitable
>50	Unsuitable

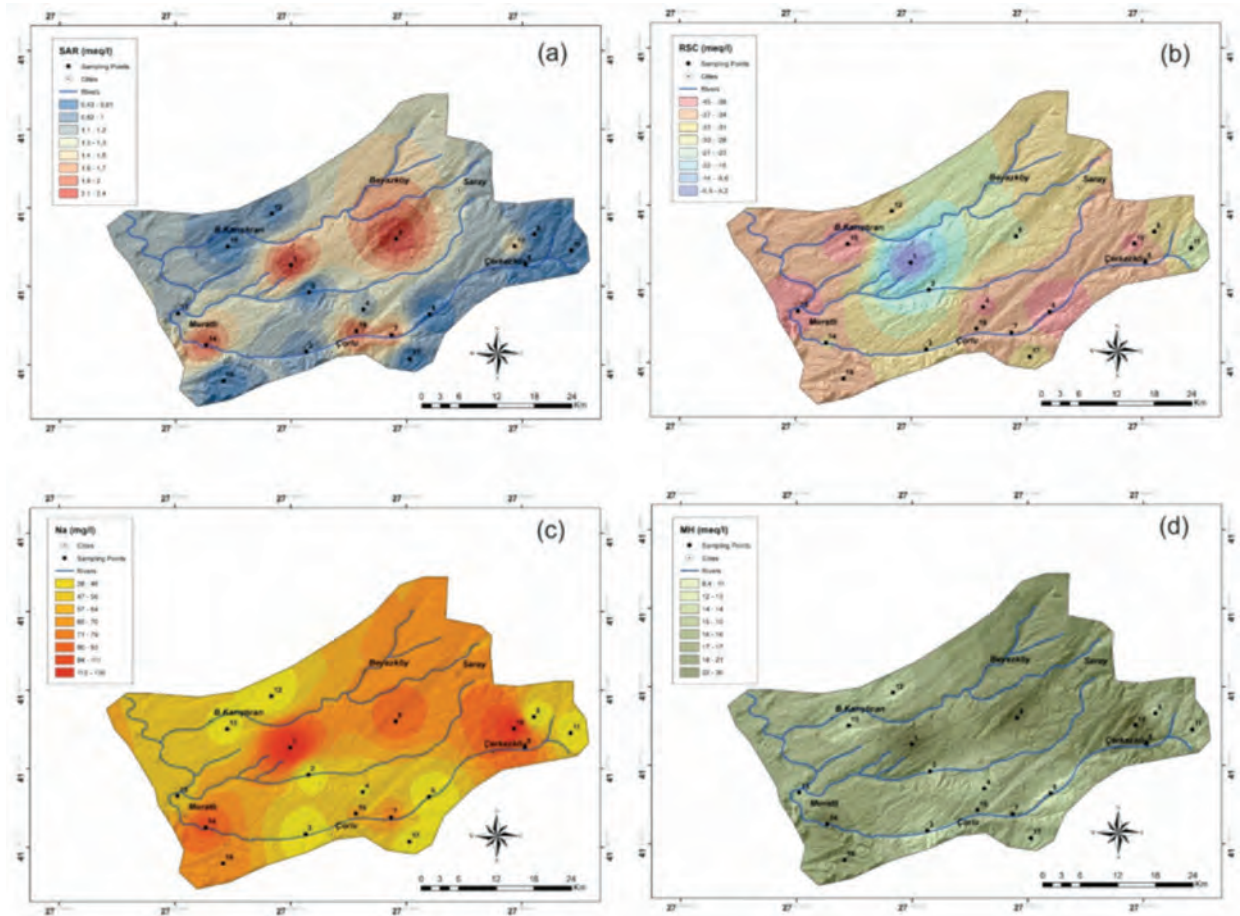


Figure 6. Spatial distribution map of SAR (a) RSC (b) %Na (c) MH (d).

Şekil 6. SAR (a), RSC (b), %Sodyum (c), MH (d) mekansal dağılım haritası.

### Water Quality Index, WQI

For the calculation of the WQI, different parameters were selected and a weight was

assigned to each parameter according to the estimated impact on human health (Saeedi et al., 2010; Vasanthavigar et al., 2010). Table 7 shows

the assigned weight and relative weight of each parameter with WHO standards. Nitrate and arsenic receive the maximum weight of 5 due to their major importance to human health and water quality (Table 7) (Srinivasamoorthy et al., 2008). The other parameters are assigned weights from 1 to 3, according to their importance in defining water quality. The WQI of the samples, calculated with these parameters, ranges from 41 to 372.74 (Table 8). The grading of the WQI parameters is tabulated in Table 9.

Table 7. Standard values given by WHO (2011) and TS266 (2005), calculated weight and relative weight of studied parameters of the groundwater of the study area (mg/l).

Çizelge 7. Çalışılan yeraltısuyu parametrelerinin DSÖ (Dünya Sağlık Örgütü) (2011) ve TS266 (2005) tarafından verilen standart ile hesaplanan değerleri ve bağlı ağırlıkları (mg/l).

Parameters	WHO Standard	TS266 Standard	Weight( $w_i$ )	Relative weight( $W_i$ )
TDS	1000	*	3	0,094
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	120	*	2	0,063
Na <sup>+</sup>	200	200	3	0,094
K <sup>+</sup>	82	*	1	0,031
Ca <sup>2+</sup>	75	*	2	0,063
Mg <sup>+</sup>	50	*	2	0,063
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250	250	3	0,094
Cl <sup>-</sup>	250	250	3	0,094
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	50	5	0,156
As	0,05	0,01	5	0,156
Mn	0,05(p)	0,05	3	0,094

$$\sum w_i = 32 \quad \sum W_i = 1,00$$

(p): provisional guideline values

Table 8. WQI values of each groundwater sample.

Çizelge 8. Yeraltı suyu örneklerine ait SKİ değerleri.

Sample no.	WQI	Classification
1	118,44	Poor Water
2	51,61	Good water
3	44,42	Excellent water
4	257,74	Very poor water
5	129,76	Poor Water
6	62,90	Good water
7	232,17	Very poor water
8	49,77	Excellent water
9	55,80	Good water
10	63,43	Good water
11	34,73	Excellent water
12	372,74	Unfit for Drinking
13	73,59	Good water
14	64,78	Good water
15	53,03	Good water
16	74,75	Good water
17	41,00	Excellent water
18	47,19	Excellent water

Table 9. Definition of WQI

Çizelge 9. SKİ sınıfları ve aralıklarının tanımları.

WQI Range	Type of Water
<50	Excellent
50-100	Good
100-200	Poor
200-300	Very Poor
>300	Unfit for drinking

The spatial distribution map of the study (Figure 7) shows that 5% of the samples indicated “excellent water,” 41% indicated “good water,” 46% indicated “poor water,” 6% indicated “very poor water,” and 2% indicated “unfit for drinking water,” according to the classification given by Sahu and Sikdar (2008) (Table 9). The deteriorated water classes originating in wells 5

and 12 were due to elevated sulfate levels (202–357 mg/l). Elevated sulfate concentrations in the study area are due to gypsum layers within the Ergene formation (Arkoç, 2013). The poor water quality is due to high nitrate concentration (19–20.3 mg/l) compared to the rest of the study, attributable to an overdose application of fertilizers causing the leaching of nitrates into the groundwater. TDS and nitrate concentrations in the study area are generally correlated. Especially wells closer to the distal end of groundwater flow system has elevated TDS and nitrate concentrations. The relation between the water pH and arsenic content is notable. According to the distribution maps of arsenic and pH, increased arsenic values are generally accompanied by slightly increased pH values, which might mean that arsenic found in these areas is a naturally occurring substance in the nearby groundwater (Fytianos and Christophoridis, 2004).

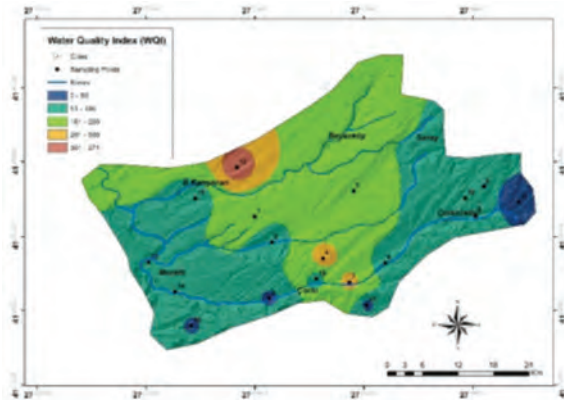


Figure 7. Spatial distribution map of WQI.

Şekil 7. SKİ mekansal dağılım haritası.

## RESULTS AND CONCLUSIONS

In this study it was aimed to evaluate and map the groundwater quality of the eastern Thrace. For this purpose, spatial distributions of the groundwater quality parameters were mapped through GIS. The WQI is very productive and beneficial in abridging and reporting the monitoring data for the decision makers. This results in a more understandable water quality status and better usage of water resources in the future. However, the parameters used for defining the WQI are not exact. Various researchers have used different physio-chemical parameters of groundwater, but the addition of the WHO's metal parameters would make the WQI much more powerful. In addition, all index models depend on the expert opinion, which should be objective. One parameter with a high or low weight could easily influence the resultant WQI value.

The spatial distribution of the WQI showed that most of the groundwater in the study area are in the “poor” or “very poor” class due to sulfate and nitrate contamination. However, with respect to the SAR, RSC, Na%, and MH, the majority of the groundwater is suitable for irrigation. This study shows that the usage of GIS and WQI methods could provide more useful information for water quality assessment.

It should be noted that changes in agricultural practices and urbanization in time will affect groundwater quality by changing loads of nutrients and pollutants in the recharging groundwater. These changes also will affect the distribution maps of the pollutants. This study could be a baseline for the authorities to establish a groundwater management plan in the study area in the future.

**ACKNOWLEDGMENTS**

The research presented here was partially supported by Kirklareli University Scientific Research Project (Project No: 4).

**REFERENCES**

- Abbasi, T., Abbasi, S. A., 2012. Water quality indices, Great Britain, Elsevier, 384 p.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., Hackett, G., 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, EPA-600/2-87-035, National Water Well Association, Dublin, Ohio.
- American Public Health Association (APHA), 1998. Standard methods for the examination of water and waste water; 18th ed., Washington, MWWA&WPCF.
- Arkoc, O., 2011. Assessment of water quality of east part of the Ergene basin, Turkey. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 11 (4), 1644-1655.
- Arkoç, O., 2013. Assessment of scaling properties of groundwater with elevated sulfate concentration: a case study from Ergene Basin, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 6 (11), 4377-4385.
- Avvannavar, S. M., Shrihari, S., 2008. Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 143, 279-290.
- Ayers, R. S., Westcot, D. W., 1985. Water quality for agriculture; FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1, U. N. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Baba, A., Tayfur, G., 2011. Groundwater contamination and its effect on health in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 183 (1-4), 77-94.
- Bairu, A., Tadesse, N., Amare, S., 2013. Use of geographic information system and water quality index to assess suitability of groundwater quality for drinking purposes in Hewane areas, Tigray, Northern Ethiopia. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 6 (2), 110-123.
- Beltrán, J. M., 1999. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. *Agricultural Water Management*, 40 (2), 183-194.
- Boyacioglu, H., 2010. Utilization of the water quality index method as a classification tool. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167 (1-4), 115-124.
- Caglayan, M. A., Yurtsever, A., 1998. Series of 1:100.000 scaled Geological map of Turkey, No: 20,21, 22, 23, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara (in Turkish).
- DSİ, 2003. Hydrogeological report of Ergene Basin. The 11th District Directorate of State Hydraulic Works, Edirne (in Turkish).
- Eaton, F. M., 1950. Significance of carbonate in irrigation water. *Soil Science*, 69 (2), 123-133.
- Fytianos, K., Christophoridis, C., 2004. Nitrate, arsenic and chloride pollution of drinking water in Northern Greece. Elaboration by applying GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 93 (1-3), 55-67.
- Gazzaz, N. M., Yusoff, M. K., Aris, A. Z., Juahir, H., Ramli, M. F., 2012. Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors. *Marine Pollution Bulletin*, 64 (11), 2409-2420.
- Iticescu, C., Georgescu, L. P., Topa, C. M., 2013. Assessing the Danube water quality index in the city of Galati, Romania. *Carpathian Journal of*

- Earth and Environmental Sciences, 8 (4), 155-164.
- Gibrilla, A., Bam, E. K. P., Adomako, D. S., Ganyaglo, S., Osaе, S., Akiti, T. T., Kebede, S., Achoribo, E., Ahialeу, E., Ayanu, G., Agyeman, E. K., 2011. Application of water quality index (WQI) and multivariate analysis for groundwater quality assessment of the Birimian and Cape Coast Granitoid Complex: Densu River Basin of Ghana. *Water Quality Exposure Health*, 3 (2), 63-78.
- Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M. F., Van Beek, L. P., 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature*, 488 (7410), 197-200.
- Gorai, A. K., Kumar, S., 2013. Spatial distribution analysis of groundwater quality index using GIS: A case study of Ranchi Municipal Corporation (RMC) area. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*. doi:10.4172/2327-4581.1000105.
- Gültekin, A. H., 1998. Geochemistry and origin of the Oligocene Binkılıç manganese deposits; Thrace basin, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7, 11-24.
- Horton, R. K., 1965. An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37 (3), 300-306.
- Jasmin, I., Mallikarjuna, P., 2014. Physicochemical quality evaluation of groundwater and development of drinking water quality index for Araniar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186 (2), 935-948.
- Khan, T. A., Abbasi, M. A., 2013, Synthesis of parameters used to check the suitability of water for irrigation purposes. *International Journal of Environmental Sciences*, 3 (6), 2131-2138.
- Kumari, S., Singh, A. K., Verma, A. K., Yaduvanshi, N. P. S., 2014. Assessment and spatial distribution of groundwater quality in industrial areas of Ghaziabad, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186 (1), 501-514.
- Lobato, T. C., Hauser-Davis, R. A., Oliveira, T. F., Silveira, A. M., Silva, H., Tavares, M. R. M., Saraiva, A. C. F., 2015. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. *Journal of Hydrology*, (522), 674-683.
- Lobo, E. A., Schuch, M., Heinrich, C. G., Da Costa, A. B., Dupont, A., Wetzel, C. E., Ector, L., 2015. Development of the Trophic Water Quality Index (TWQI) for subtropical temperate Brazilian lotic systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187 (6), 1-13.
- Massoud, M. A., 2012. Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184 (7), 4151-4160.
- Magesh, N. S., Chandrasekar, N., 2013. Evaluation of spatial variations in groundwater quality by WQI and GIS technique: a case study of Virudunagar District, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 6 (6), 1883-1898.
- Ramesh, K., Elango, L., 2012. Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184 (6), 3887-3899.
- Sadat-Noori, S. M., Ebrahimi, K., Liaghat, A. M., 2014. Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 71 (9), 3827-3843.
- Saeedi, M., Abessi, O., Sharifi, F., Meraji, H., 2010. Development of groundwater quality index; *Environmental Monitoring and Assessment*, 163 (1-4), 327- 335.



- Sahu, P., Sikdar, P. K., 2008. Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata Wetlands, West Bengal, India. *Environmental Geology*, 55 (4), 823-835.
- Selvam, S., Manimaran, G., Sivasubramanian, P., Balasubramanian, N., Seshunarayana, T., 2014. GIS-based evaluation of water quality index of groundwater resources around Tuticorin coastal city, south India. *Environmental Earth Sciences*, 71 (6), 2847-2867.
- Simsek, C., Gunduz, O., 2007. IWQ index: A GIS-integrated technique to assess irrigation water quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 128 (1-3), 277-300.
- Shabbir, R., Ahmad, S. S., 2015. Use of geographic information system and water quality index to assess groundwater quality in Rawalpindi and Islamabad. *Arabian Journal of Science and Engineering*, 40 (7), 2033-2047.
- Srinivasamoorthy, K., Chidambaram, M., Prasanna, M. V., Vasanthavigar, M., John, P. A., Anandhan, P., 2008. Identification of major sources controlling Groundwater Chemistry from a hard rock terrain—a case study from Mettur taluk, Salem district, Tamilnadu, India. *Journal of Earth System and Science*, 117 (1), 49–58.
- Srivastava, P. K., Mukherjee, S., Gupta, M., Singh, S. K., 2011. Characterizing monsoonal variation on water quality index of River Mahi in India using geographical information system. *Water Quality Exposure and Health*, 2 (3-4), 193-203.
- Szabolcs, I., Darab, C., 1964. The influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils. *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Congress Soil Science Sodics Soils, ISSS Trans II*, 802–812, Bucharest.
- Todd, D. K., Mays, L.W., 2005. *Groundwater hydrology*, Third edition, Wiley, New Jersey, 656p.
- TS 266, 2005. Water intended for human consumption, ICS 13.060.20, Turkish Standards Institute, Ankara, Turkey.
- TUIK (Turkish Statistical Institute), 2015. Turkish wheat and sunflower production. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16020>, Accessed 1 November 2016.
- Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Vijayaragavan, K., Ganthi, R. R., Chidambaram, S., Anandhan, P., Vasudevan, S., 2010. Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 171 (1-4), 595-609.
- WHO (World Health Organization), 2011. Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Wilcox, L.V., 1955. Classification and use of the irrigation waters, U.S. Department of Agriculture Circular No. 969, Washington, District of Columbia, 21 p.
- Zhou, X., Shen, Y., Zhang, H., Song, C., Li, J., Liu, Y., 2015. Hydrochemistry of the natural low pH groundwater in the coastal aquifers near Beihai, China. *Journal of Ocean University of China*, 14 (3), 475-483.



## Ekizköy (Muğla-Milas) Erken-Orta Miyosen Kömürlerinin Organik Jeokimyası ve Paleoiklim Şartları

*Organic Geochemistry and Paleoclimate Conditions of the Early-Middle Miocene Coals at the Ekizköy (Muğla-Milas)*

**Fatma HOŞ ÇEBİ**

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON*

Geliş (received) : 03 Haziran (June) 2016  
Düzeltilme (revised) : 27 Temmuz (July) 2016  
Kabul (accepted) : 01 Ağustos (August) 2016

### ÖZ

Bu çalışmada, Muğla ili Milas ilçesinin güneydoğusunda yer alan Ekizköy sahası kömürlerinin organik jeokimyasal özellikleri, çökme ortamı ve paleoiklim şartları ortaya konmuştur. Ekizköy kömürlerinin toplam organik karbon (TOK) içeriğinin ortalama % 46.24, Hİ (Hidrojen İndeksi) değerlerinin ortalama 152.88 mgHK/gTOK ve Oksijen İndeksi (OI) değerlerinin ise ortalama 76.63 mgCO<sub>2</sub>/gTOK olduğu görülmüştür. Bu değerler turba ortamındaki yarı oksik ortam şartlarını ve ancak gaz türetebilecek organik maddeyi yansıtmaktadır. Hİ-T<sub>max</sub>, S<sub>2</sub>-TOK sınıflama diyagramlarında organik maddenin Tip II ve Tip III kerojenden oluştuğu görülmüştür. Gaz kromatogramlarında, yüksek ve tek karbon numaralı *n*-alkanların baskın olduğu ve az miktarda da algal katkının olduğu bir dağılım gözlenmektedir. Seçilen M-4 ve M-8 nolu örnekler için karbon tercih indeksleri sırasıyla CPI<sub>22-30</sub> 2.8, 2.4 ve CPI<sub>26-28</sub> 3.2, 2.8 olarak hesaplanmıştır. Karasal/sucul hidrokarbon oranları TAR<sub>HC</sub> (Terrigenous/aquatic ratio) 13 ve 28 olarak hesaplanmış olup, bu değerler yüksek karbon numaralı *n*-alkanların baskın olduğu karasal organik maddeyi yansıtmaktadır. M-4 ve M-8 örneklerinin alındığı seviyelerde CPI, TAR<sub>HC</sub>, ACL, Q<sub>wood/grass</sub>, Q<sub>wood/plant</sub> ve Q<sub>grass/plant</sub> oranlarına göre, ağaçsı organik maddenin baskın, iklimin göreceli olarak nemli ve yarı tropik olduğu, ancak M-8 nolu örneğin alındığı periyotta iklimin M-4 nolu örneğin alındığı periyoda nazaran daha nemli olduğu ve daha yüksek su tablasının bulunduğu, buna bağlı olarak da sucul bitki açısından daha zengin olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** GC, *n*-alkan, Paleoiklim, Piroliz.

### ABSTRACT

*In this study, organic geochemistry, depositional environments and paleo-climatic conditions of Ekizköy coals located southeast of Muğla (Milas) were investigated. The average values of total organic*

carbon content (TOC) of the coal (46.24 %), HI (152.88 mgHK/gTOC) and OI (76.63 mgCO<sub>2</sub>/gTOC) show that the depositional environment of peat deposits is suboxic. According to HI-T<sub>max</sub>, S<sub>2</sub>-TOC classification diagrams, the organic matter is composed of Type II and Type III kerogen. In gas chromatographs, n-alkanes with high, mostly single-numbered carbons are dominated and they are associated with a slight algal contribution. CPI<sub>22-30</sub> is calculated as 2.8, and 2.4. CPI<sub>26-28</sub> is calculated as 3.2, and 2.8. Terrigenous/aquatic ratio (TAR<sub>HC</sub>) is very high, computed as 13 and 22. These values indicate a dominance of high-carbon numbered n-alkanes, meaning the presence of terrestrial organic matter. The CPI, TAR<sub>HC</sub>, ACL, Q<sub>wood/grass</sub>, Q<sub>wood/plant</sub> ve Q<sub>grass/plant</sub> values of the sample M-4 show that woody plants were the dominant vegetation in the peat mire and the climate was relatively wet and subtropical. However, these values of the sample M-8 show warmer climate, higher water table and also contain further aquatic vegetation than the values of M-4 sample.

**Keywords:** GC, n-alkanes, Paleoclimate, Pyrolysis.

## GİRİŞ

Muğla'nın Milas ilçesinde Sekköy, Ekizköy, Çakıralan (Belentepe) ve Hüsamlar sahalılarında linyit işletmeleri bulunmakta olup çalışma konusunu oluşturan linyit örnekleri Ekizköy sahasına aittir. Ekizköy linyit (Muğla-Milas) sahası Güneybatı Anadolu'da bulunan Muğla iline bağlı Milas ilçesinin güneyinde yer almaktadır (Şekil 1). Literatürde, Milas kömürlerine ilişkin kimyasal, petrografik, palinolojik ve kapsamlı inorganik jeokimyasal çalışmalar yapılmış olup, organik jeokimyasal özellikleriyle ilgili bir çalışmaya ve bu özelliklerden yararlanılarak yapılmış bir paleoiklim yorumlamasına rastlanmamıştır. Sahada yapılan çalışmalardan bazıları; Yiğitel, 1979; Atalay, 1980; Göktaş, 1982; Gökmen vd., 1993; Görür vd., 1995; Querol vd., 1999; Kayseri Özer vd., 2014; Kayseri-Özer, 2014'tür. Muğla-Milas civarındaki sahalıların Türkiye'deki en kaliteli linyit havzalarından olduğu ve Milas havzasında yaklaşık olarak 328.1 milyon ton civarında linyit olduğu belirlenmiştir (Gökmen vd., 1993). Muğla – Milas sahalılarında üretilen

kömürler bölgedeki üç termik santrali (Yatağan, Kemerköy ve Yeniköy Termik Santralleri) beslemektedir. Kullanılan kömürle, Yatağan Termik Santrali'nden yıllık 630 MW, Kemerköy Termik Santrali'nden 630 MW ve Yeniköy Termik Santrali'nden 420 MW enerji elde edilmektedir (Querol vd., 1999). Muğla'nın Milas ve Yatağan ilçelerindeki havzalardan her yıl yaklaşık 10 milyon ton kömür çıkarıldığı tahmin edilmektedir (Querol vd., 1999). Bu havzalardan çıkarılan kömürlerin, istihdama, ülke ekonomisine katkısı ve termik santrallere sağladığı hammadde göz önünde bulundurulduğunda, daha uzun yıllar işletilmeye devam edeceği gözlenmektedir. Ekizköy sahasında kömür kalınlıkları 2.8 ile 26.2 m arasında değişmekte olup, 53.3 milyon tonu açık işletme, 37.6 milyon tonu da kapalı işletme ile çıkarılabilecek olmak üzere toplam 90.9 milyon ton linyit rezervi bulunmaktadır (Gökmen vd., 1993).

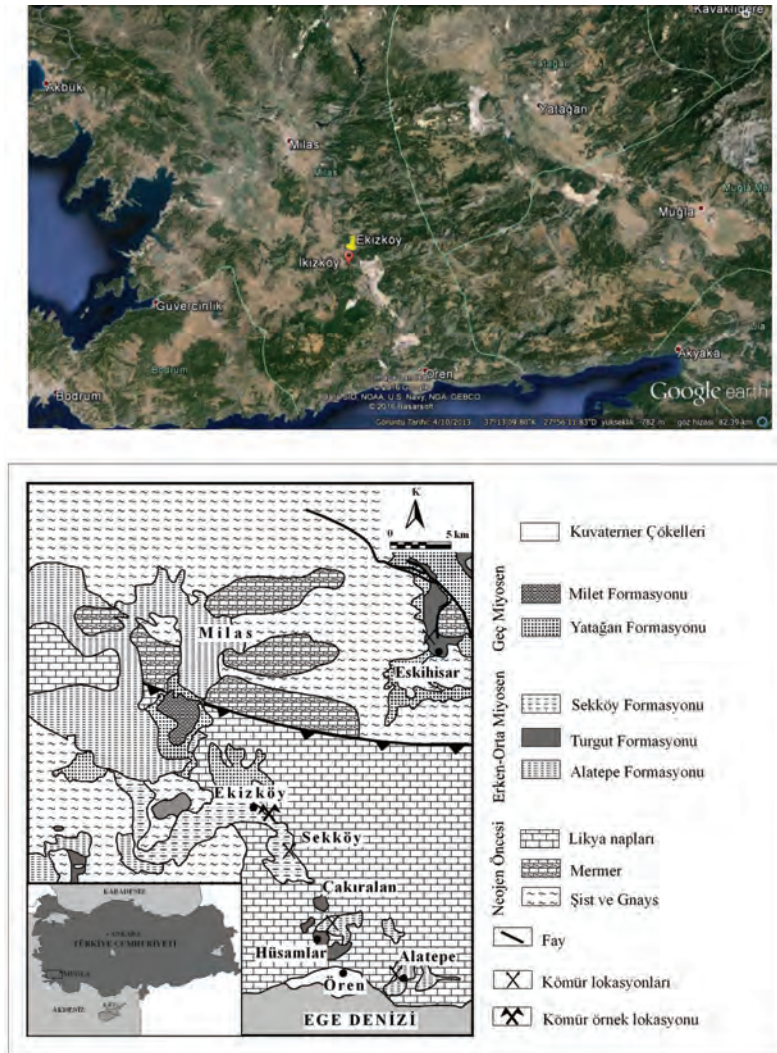
Bu çalışmada, Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahip olan Ekizköy sahası linyitlerinin organik madde miktarı-tipi-olgunluğu, hidrokarbon potansiyeli ve çökeltme ortamı gibi

özelliklerinin, organik jeokimyasal analizlerden elde edilen çeşitli parametreler vasıtasıyla ortaya konulması amaçlanmıştır.

## GENEL JEOLJİ

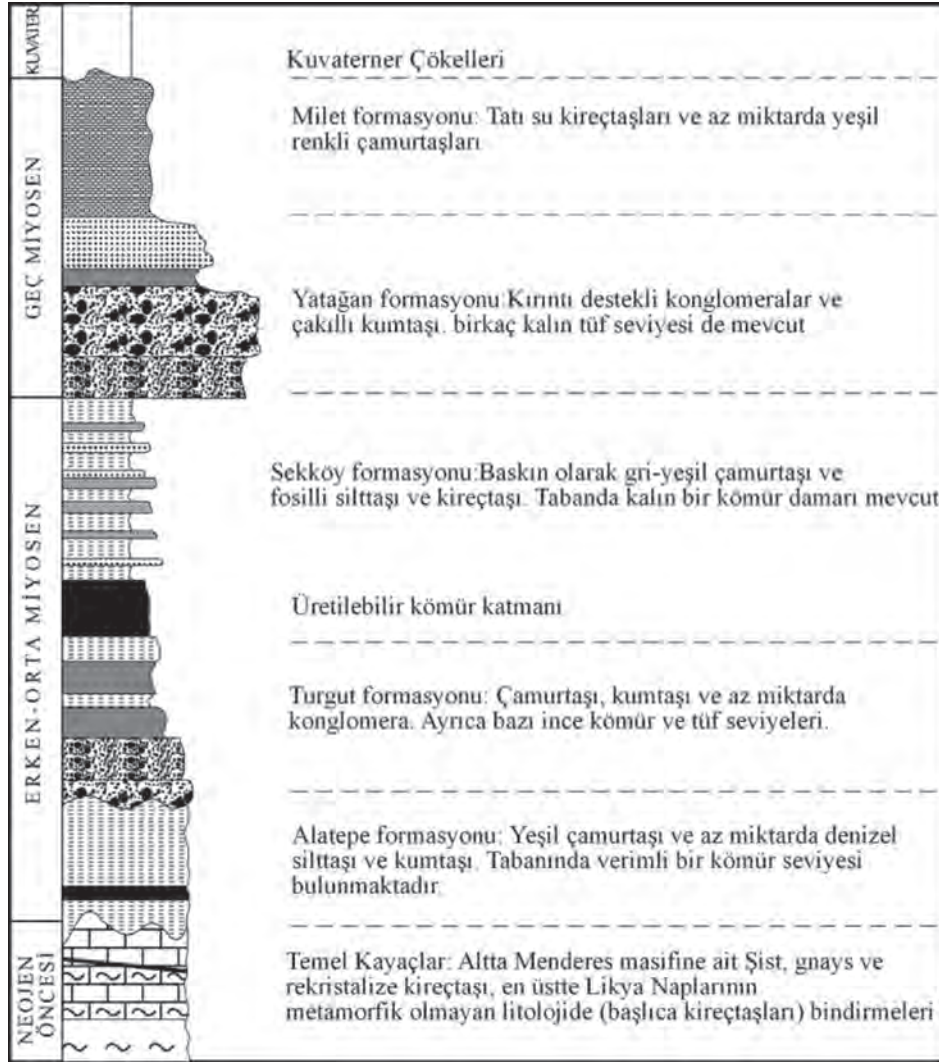
Muğla havzasında, temel kayaları, altta Menderes Masifi'ne ait Paleozoyik yaşlı şist, gnays ve rekristalize kireçtaşları, üstte ise Likya

Napı'na ait kireçtaşı bindirmeleri oluşturmaktadır (Şekil 1). Bunların üzerinde Alatepe, Turgut, Sekköy, Yatağan, Milet formasyonlarından oluşan Miyosen yaşlı çökeller bulunmaktadır. Linyit; Alatepe, Turgut, Sekköy formasyonları içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Havzada en genç birimleri Kuvaterner yaşlı çökeller oluşturmaktadır (Querol vd., 1999).



Şekil 1. Ekizköy (Milas-Muğla) kömür sahasının yer bulduru ve jeolojik haritası (Querol vd.,1999'dan değiştirilerek).

Figure 1. The location and geological map of the Ekizköy (Milas-Muğla) coalfield (modified from Querol et al., 1999).



Şekil 2. Miyosen Muğla Havzası'nın stratigrafik dikme kesiti (Querol vd., 1999'dan değiştirilerek).

Figure 2. The Stratigraphic columnar section of the Miocene Muğla Basin (modified from Querol et al., 1999).

Sahada bulunan Miyosen yaşlı formasyonlar yaşlıdan gence doğru özetlenmiştir: Şist, gnays ve rekristalize kireçtaşlarından oluşan taban kayacı Muğla Havzası'nın en yaşlı birimini (Neojen öncesi) oluşturmaktadır. Alatepe formasyonu uyumsuz olarak Likya naplarının üzerinde bulunmaktadır. Yeşil renkli çamurtaşı, az miktarda denizel silttaşı ve kumtaşından oluşan Alatepe formasyonunun tabanında yatay olarak

çökelmiş verimli kömür seviyeleri yer almaktadır (Görür vd., 1995). Kömürlü seviyeler 100 ve 130 cm kalınlığında iki damar halinde bulunmaktadır. Alatepe formasyonu, üstte Turgut formasyonu ile uyumlu, altta da taban kayası üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Alatepe formasyonunda bulunan bentik foraminiferlerden yapılan yaş tayininde formasyonun yaşı Erken Miyosen olarak belirlenmiş, Alatepe formasyonunun

oluşum ortamının fluvyal delta ortamı olduğu belirtilmiştir (Görür vd., 1995).

Turgut formasyonu çamurtaşı, kumtaşı ve az miktarda da konglomeradan oluşmakta olup, içerisinde ince kömür ve tuf seviyelerini barındırmaktadır. Formasyonun kalınlığının birkaç metreden birkaç yüz metreye kadar olabileceği belirtilmiştir. Turgut formasyonu, altta Alatepe formasyonu, üstte verimli kömür damarıyla ve Sekköy formasyonu ile uyumludur. Orta Miyosen yaşlı Sekköy formasyonu altına uyumlu olarak gelmesi nedeniyle Yaşı Erken – Orta Miyosen olarak verilmiştir. Turgut formasyonunun oluşum koşulları göl ve nehir ortamları olarak belirlenmiştir (Gökmen, 1993).

Sekköy formasyonu, yaklaşık 20 m kalınlığındaki linyitli seviyelerin üzerinde yer alan ve altta ortalama tabaka kalınlığı yaklaşık 1 m olan grimsi ve zeytin yeşili renkli kompakt marnlarla, üste doğru ise lamine marn, ince kireçtaşı ve kiltası ardalanması şeklinde bir istifte temsil edilir. Bunun yanı sıra, bu formasyon havza kenarlarında kireçtaşı ve konglomeralardan oluşan bir detritik fasiyesi ve Yatağan formasyonu ile kendi arasında yer alan yeterince pekişmemiş kiltası ve siltaşı ardalanmasından meydana gelen bir geçiş fasiyesini içermektedir (Querol vd., 1999). Sekköy formasyonunun taban kesimlerinde kalın kömür damarları bulunmaktadır. Sekköy formasyonu üstte Geç Miyosen yaşlı Yatağan formasyonu ile altta ise Erken–Orta Miyosen yaşlı Turgut formasyonu ile uyumludur (Yiğitel, 1979; Atalay, 1980). Yaşı Orta Miyosen'dir (Yiğitel, 1979; Atalay, 1980). Sekköy formasyonunun oluşum ortamı, Atalay (1980) tarafından göl ortamı olarak belirlenmiştir.

Yatağan formasyonu Üst Miyosen yaşlı olup, egemen litolojisi kırmızımsı kahverengi, orta ve

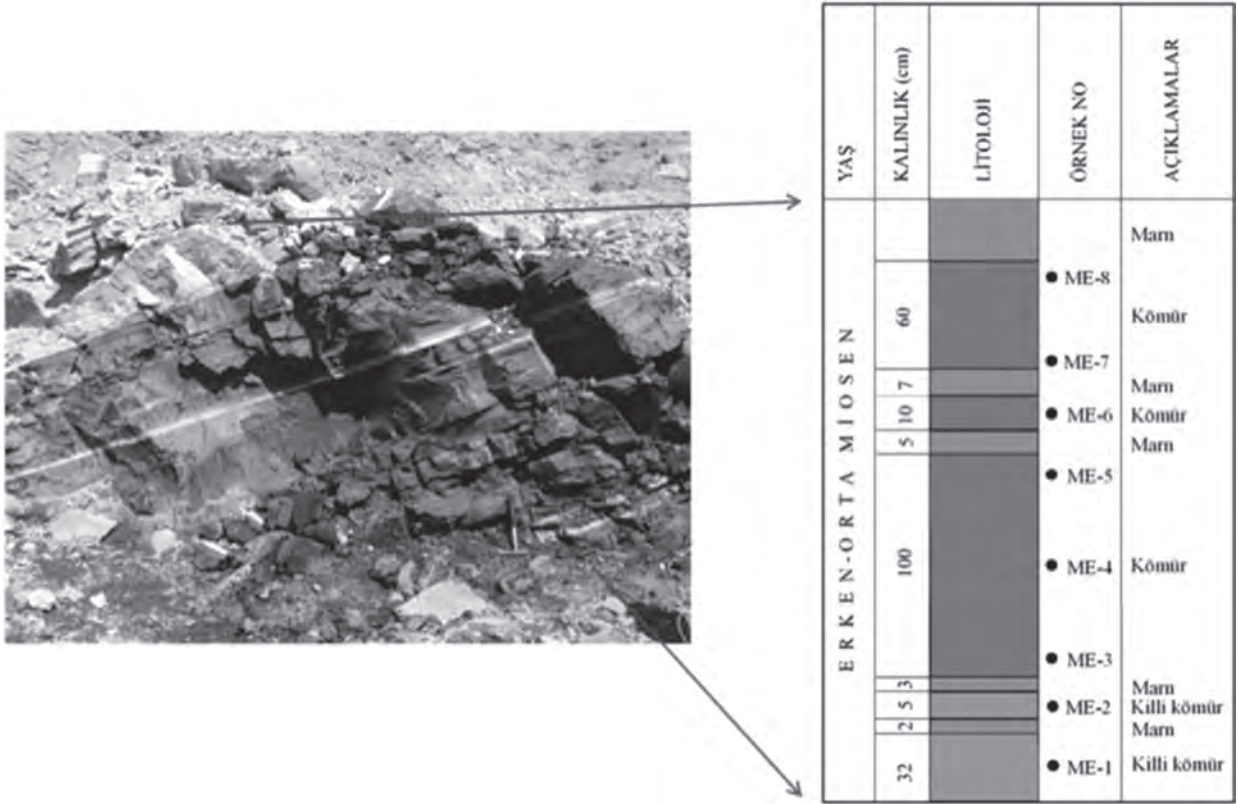
kaba taneli kumtaşlarıdır ve üst kesimlerde yer yer mercek şeklindeki çakıltaşları, konglomeralar ve tüfit katkıları da yer almaktadır (Atalay, 1980). Yatağan formasyonu altında Sekköy formasyonu, üzerinde ise Milet formasyonu uyumlu olarak çökelmiştir. Yatağan formasyonu içerisinde bol miktarda memeli fosilleri bulunmuştur (Querol vd., 1999). Yatağan formasyonunun Atalay (1980) tarafından göl ortamlarında olduğu belirlenmiştir.

Milet formasyonu kireçtaşı, mermer ve killi kireçtaşı ara katmanları kapsar. Tabanında yer yer 1-2 metrelik, linyit ara katmanlı siltaşı düzeyi izlenmiştir (Querol vd., 1999). Formasyonun kalınlığı yaklaşık 140 metredir. Alt sınırında, uyumlu bulunduğu Yatağan formasyonu, üst sınırında ise uyumsuz olarak gelen Kuvaterner çökelleri bulunmaktadır. Atalay (1980), yapmış olduğu çalışmalar sonucunda, mermer ve kireçtaşları üzerlerinde gastrapod kavrıklarına ve memeli fosillerine rastlamış ve formasyonunun göl ortamlarının yükselmesi sonucu oluştuğunu belirtmiştir.

Kuvaterner çökellerini, kum, kil, çakıllardan oluşan kötü boylanmalı malzeme oluşturmaktadır.

## MATERYAL VE METOT

Rock-Eval/TOK analizleri, Milas-Ekizköy sahasına ait açık işletme sahasından sistematik olarak alınan 8 kömür örneği üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Seçilen iki örnek için, (M-4, M-8) petrografik tanımlamalar, vitrinit yansıması ölçümleri ve GC analizleri yapılmış olup tüm analizler Türkiye Petrolleri (TP) Jeokimya Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Açık işletme sahasının fotoğrafı ve çalışma alanından alınan kömür örneklerinin lokasyonları.

Figure 3. The photograph of open pit area and the locations of the coal samples taken from the study area.

### TOK ve Rock Eval Piroliz Analizleri

Piroliz ve TOK analizleri Rock Eval-6 (RE-6) piroliz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. TOK değerleri cihazın içerdiği bir TOK modülü ile otomatik olarak hesaplanmıştır.

### Gaz Kromatografi (GC) Analizi

Gaz kromatografi analizi petrol ve bitüm örnekleri içerisindeki hidrokarbon bileşiklerinin genel olarak dağılımlarını görmek amacıyla yapılır. Bu analiz yöntemiyle, doymuş hidrokarbon bileşenleri, bir flame fotometrik

dedektör (FPD) ve bir flame ionization dedektör (FID) ile donatılmış bir Varian 3400 gaz kromatografi kullanılarak analiz edilmiştir. Kolona uygulanan sıcaklık programı ile kolona verilen örnek içerisindeki moleküllerin kaynama noktalarının farklı olmasından dolayı ayrılma sağlanmaktadır. Kolon içerisinde ayrılan moleküller dedektör bölümünde ölçülerek, bilgiler sinyaller halinde bilgisayara ulaşır ve gaz kromatogramlar elde edilir. GC analizi sonunda elde edilen kromatogramlardaki pik dağılımları ve boylarına bakılarak organik maddenin tipi, olgunluğu, çökme ortamı ve paleoklim hakkında bilgi sağlanır ve yorumlar yapılabilir.



### Vitrinit Yansıması Analizi

Örneklerin rastgele vitrinit yansıması ölçümleri, yağ immersiyonunda ( $R_0\%$ ), beyaz ışık kullanılarak, ICCP (1998), ISO 7404-5 (2009) 'a göre Windows tabanlı MSP200 programı ile Leica DM 2500P tip mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### TOK ve Rock-Eval Analizleri

Ekizköy (Muğla-Milas) sahasına ait örneklerle ilişkin TOK değerleri % 44.11 ve % 48.23 arasında değişmekte olup, ortalama % 46.24 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1). Rock-Eval analizlerinden hesaplanan Hİ (Hidrojen İndeksi) değeri ortalama 152.88 mgHK/gTOK, Oİ (Oksijen İndeksi) değeri ise 76.63 mgCO<sub>2</sub>/gTOK'tur. Saha kömürlerinin ortalama  $T_{max}$  değerleri 420.75 C° ile, olgunlaşmamış organik maddeyi işaret etmektedir.  $S_2/S_3$  kerojen tipi parametresi ortalama 2 olarak hesaplanmıştır. Ortalama potansiyel ürün değeri (PÜ) 73.02 mgHK/gkaya ve ortalama üretim indeksi (Üİ) 0.03 olarak hesaplanmıştır. 0.1'den küçük bir üretim indeksi değeri olgunlaşmamış organik maddeyi göstermektedir (Merrill, 1991).

Çizelge 1. Rock-Eval/TOK analiz sonuçları ve hesaplanan parametreler.  
Table 1. The results of Rock-Eval analysis and the calculated parameters.

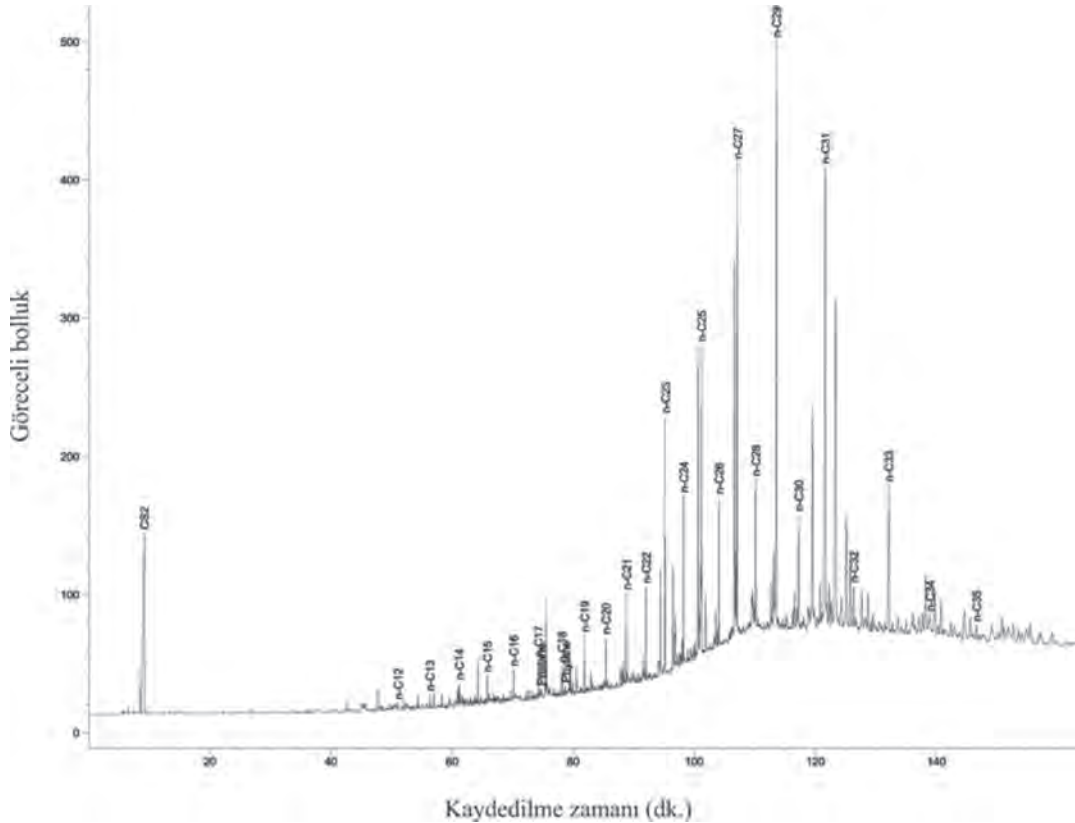
Örnek No	TOK (%)	S <sub>1</sub> (mgHK /gkaya)	S <sub>2</sub> (mgHK /gkaya)	S <sub>3</sub> (mgCO <sub>2</sub> /gkaya)	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	PÜ (S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> ) (mgHK /gkaya)	Üİ S <sub>1</sub> /(S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> )	T <sub>max</sub> (°C)	R <sub>0</sub> (%)	Hİ (mgHK /gTOK)	Oİ (mgCO <sub>2</sub> /gTOK)	KK (%)
M-1	47.32	2.33	75.75	37.12	2.04	78.08	0.03	417		160	78	38.95
M-2	48.23	2.14	76.14	34.92	2.18	78.28	0.03	428		158	72	39.98
M-3	46.37	1.84	72.23	37.19	1.94	74.07	0.02	419		156	80	38.43
M-4	45.59	2.85	57.77	29.88	1.93	60.62	0.05	408	0.31	127	66	38.88
M-5	47.65	2.69	81.71	34.72	2.35	84.4	0.03	421		171	73	38.9
M-6	44.11	1.52	61.3	38.57	1.59	62.82	0.02	425		139	87	37.06
M-7	44.79	1.76	60.07	35.89	1.67	61.83	0.03	421		134	80	37.82
M-8	45.88	2.34	81.69	35.16	2.32	84.03	0.03	427	0.21	178	77	37.12
<b>Ortalama</b>	<b>46.24</b>	<b>2.18</b>	<b>70.83</b>	<b>35.43</b>	<b>2</b>	<b>73.02</b>	<b>0.03</b>	<b>420.75</b>		<b>152.88</b>	<b>76.63</b>	<b>38.39</b>

## Moleküler Bileşim

### *n*-Alkanlar ve izoprenoidler

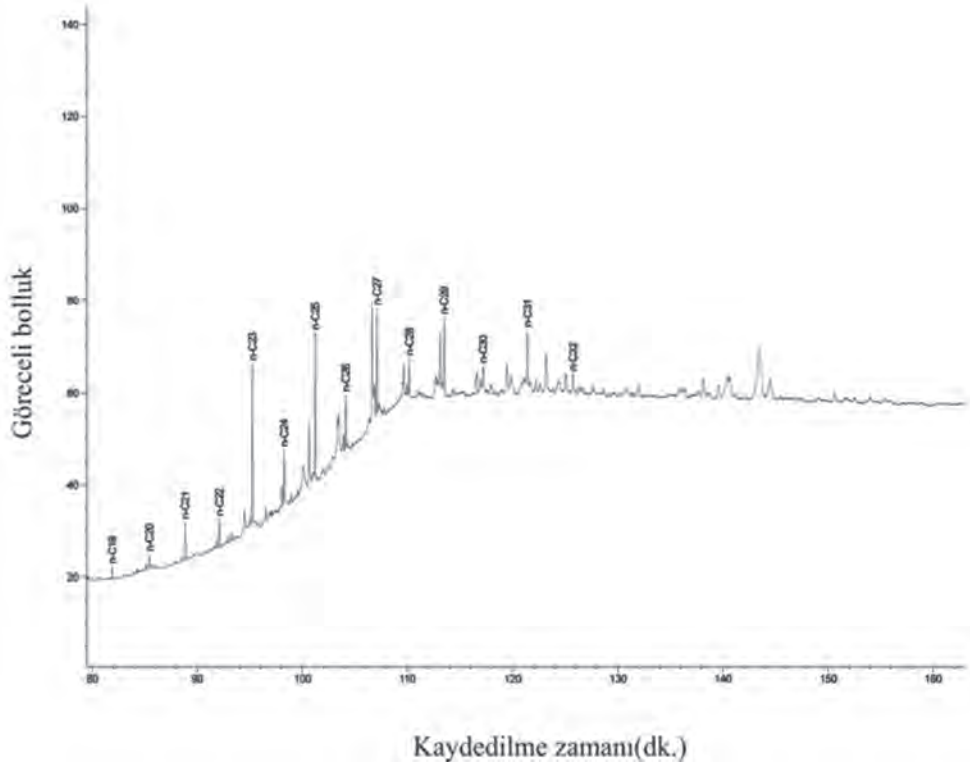
GC analiz sonuçlarına göre M-4 nolu örnek için *n*-alkanlar C<sub>12</sub>-C<sub>35</sub> aralığında, M-8 nolu örnek için ise C<sub>19</sub>-C<sub>32</sub> aralığında kaydedilmişlerdir (Şekil 4 ve 5). Kromatogramlarda yüksek ve tek numaralı *n*-alkanlar baskındır. Uzun zincirli *n*-alkanların kısa zincirli *n*-alkanlara göre baskın olması, olgun olmayan kömürlerde yüksek karasal bitkilerden (Wang ve Simoneit, 1990; Stout, 1992; Zhang vd., 1993; Petersen vd., 2001; Bechtel vd., 2003) ve özellikle kütiküler mumlardan (Eglinton ve Hamilton, 1967) oluşan

organik maddelerden kaynaklanmaktadır. M-4 nolu örneğin GC kromatogramında, karasal organik maddenin baskınlığında, zayıf algal-bakteriyel (<C<sub>20</sub>) katkının da olduğu bir dağılım gözlenmektedir. Ayrıca örneklere ait gaz kromatogramında görülen hörgüç [Unresolved Complex Mixture (UCM)], organik maddenin düşük olgunluğunu göstermektedir (Tissot ve Welte, 1984; Peters ve Moldowan, 1993; Hunt, 1995). Önceki çalışmalarda, Muğla kömürlerinin oluşumu esnasında yüksek bakteriyel aktivite ve yüksek pH şartlarından dolayı doku koruma indeksinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir (Querol vd., 1999).



Şekil 4. M-4 nolu örneğin gaz kromatogramı.

Figure 4. Gas chromatogram of the M-4 coal sample.



Şekil 5. M-8 nolu örneğin gaz kromatogramı.

Figure 5. Gas chromatogram of the M-8 coal sample.

Yüksek Pr/Ph oranı, çökelme ortamındaki oksijenli ortam şartlarını ve damarlı bitkilerin katkısını işaret etmektedir. Bu oran kömürlerde genellikle 1'den büyük değerler verir ( Korkmaz ve Kara Gülbay, 2007; Yalçın Erik ve Ay, 2010; Yalçın Erik ve Sancar, 2010; Yalçın Erik ve Ay, 2013; Hoş-Çebi ve Korkmaz, 2013; Kara-Gülbay, 2015; Yalçın Erik, 2016). Düşük termal olgunluktaki örneklerde Pr/Ph oranlarının paleortamı tanımlamada kullanılması önerilmemektedir (Volkman, 1986). Kaynak sedimanların redoks potansiyeli üzerindeki Pr/Ph oranlarından yapılan ortamsal yorumlar, diğer jeokimyasal veriler ve jeolojik bilgilerle desteklenmelidir. Örneğin; 1'den küçük Pr/Ph oranı yüksek sülfür ve yüksek  $C_{35}$  homohopan

indeksi anoksik şartlarda oluşan tipik bir kaynak kayayı işaret eder (Walters ve Cassa, 1985). Ekizköy sahasının önceki çalışmalarda ölçülen toplam % S değeri ortalama 4.2 olarak tespit edilmiştir (Querol vd., 1999). M-8 nolu örneğe ait gaz kromatogramında izoprenoidlerden  $C_{19}$  karbonlu ve oksitleyici ortam belirteci olan Pristan (Pr) ve  $C_{20}$  karbonlu ve indirgeyici ortam belirteci olan Fitan (Ph) kaydedilmediği için Pr/Ph ve Pr/n- $C_{17}$  oranları tespit edilememiştir. M-4 nolu örnek için Pr/Ph, Pr/ $C_{17}$ , Ph/ $C_{18}$  oranları kromatogramdan sırasıyla 0.9, 0.2 ve 0.3 olarak hesaplanmıştır. Pr/Ph ve % S değerleri dikkate alındığında Ekizköy kömürlerinin yarı oksik şartlar altında oluştuğu söylenebilir.

### Milas-Ekizköy kömürlerinin $CPI$ , $TAR_{HC}$ , $P_{wax}$ , $P_{aq}$ , $ACL$ değerleri ve paleoklim şartları

$C_{26}$ - $C_{28}$  aralığında hesaplanan  $CPI_1$  değerleri M-4 ve M-8 örnekleri için sırasıyla 3.2 ve 1.9 olup,  $C_{22}$ - $C_{30}$  aralığında hesaplanan  $CPI_2$  değerleri 2.8 ve 2.4'tür (Çizelge 2) (Peters vd., 2005). Yüksek  $CPI$  değerleri organik maddenin çökme ortamındaki kuru ve soğuk paleoikimi yansıtmakla birlikte, tek karbon numaralı  $n$ -alkanların çift karbon numaralı  $n$ -alkanlara olan baskınlığını da göstermektedir (Waples, 1985; Xie vd., 2004; Zhou vd., 2005).

$TAR_{HC}$  (Terrigenous/Aquatic Ratio) indeksi karasal organik maddeden türeyen  $n$ -alkanların, sucul alglerden türeyen  $n$ -alkanlara oranını yansıtmaktadır (Cranwell vd., 1987; Goossens vd., 1989; Meyers ve Ishiwatari, 1993).  $TAR_{HC}$  indeks değeri Ekizköy linyit örnekleri (M-4, M-8) için sırasıyla 13 ve 22 gibi oldukça yüksek değerlerde hesaplanmıştır (Bourbonniere ve Meyers, 1996). Bu değerler yüksek karbon numaralı  $n$ -alkanların baskın olduğu karasal organik maddeyi işaret etmektedir (Çizelge 2).

$P_{aq}$  oranı sualtı veya sucul bitkilerin karasal ve su yüzeyine çıkmış bitki girdisine oranını tahmin edebilmek amacıyla kullanılmaktadır (Ficken vd., 2000).  $C_{23}$  ve  $C_{25}$   $n$ -alkanlar su altı ve yüzücü bitkilerde yaygınken,  $C_{29}$  ve  $C_{31}$  tipik olarak karasal bitkilerde yaygındır.  $P_{aq} < 0.1$  olduğu durum karasal bitki girdisini yansıtırken, 0.1-0.4 aralığındaki  $P_{aq}$  değerleri su yüzeyine çıkmış bitkileri, 0.4-1 aralığındaki  $P_{aq}$  değerleri ise su altı/yüzücü bitkileri yansıtır.  $P_{aq}$  değerleri M-4 ve M-8 nolu örnekler için sırasıyla 0.3 ve 0.7 olarak hesaplanmıştır. (Çizelge 2). M-4 örneğine ait  $P_{aq}$  değeri su yüzeyine çıkmış bitki girdisini işaret ederken, M-8 örneğine ait  $P_{aq}$  değeri su altı/yüzücü bitki girdisini işaret etmektedir (Ficken vd., 2000). Orta ve yüksek düzeydeki  $P_{aq}$

değerleri su seven bitkilerin varlığını ve göreceli olarak yağışlı ve nemli bir iklimi, aynı zamanda da yüksek bir su seviyesini göstermektedir. Querol vd. (1999), çalışmalarında, Ekizköy kömür sahasının tabanında yer aldığı Sekköy formasyonunun, havzanın derinleşmesi ile yaygın kömür oluşumunun sona erdiği zaman periyodunu yansıttığından söz edilmiştir. Bu zaman dilimi içerisinde bölgede tektonik aktivitenin zayıfladığı, turba birikiminden dolayı göl seviyesinin hızla yükseldiği ve bu nedenle turba oluşumunun durduğu, turbanın boğulduğu belirtilmiştir. M-8 nolu örneğin alındığı üst zaman periyodu düşünüldüğünde, su altı/yüzün bitki girdisinin M-4 nolu örneğe kıyasla baskın olmasının nedeni de daha iyi anlaşılmaktadır.

$P_{wax}$  değeri karasal bitkiler ve su yüzeyine çıkmış bitkiler için, turbadaki mumsu hidrokarbonların toplam hidrokarbonlara oranı baz alınarak oluşturulmuş bir parametredir. Yüksek  $P_{wax}$  değerleri genellikle kuru iklim şartlarındaki güçlü bir damarlı bitki girdisini işaret eder. Düşük değer ise göreceli olarak nemli iklim şartlarını yansıtır (Zheng vd., 2007).  $P_{wax}$  değerleri M-4 ve M-8 nolu örneklerde sırasıyla 0.7 ve 0.5 olarak hesaplanmıştır. (Çizelge 2).  $P_{wax} > 0.7$  olduğu durumlar soğuk-kuru kış iklimini yansıtmaktadır. M-4 nolu örneğin alındığı periyotta iklimin orta düzeyde nemli ve orta düzeyde sıcak olduğu, M-8 nolu örneğin alındığı periyotta ise iklimin daha nemli ve ılıman olduğu düşünülebilir. Aynı zamanda bu örneklerin  $P_{aq}$  değerlerine bakıldığında M-8 nolu örneğin sucul bitki girdisi açısından M-4 nolu örneğe göre daha zengin olduğu ve su seviyesinin yükseldiği söylenebilir. Eskişehir Miyosen yaşlı çökellerin palinolojisi ve paleoekolojisini konu alan bir çalışmada (Şengüler ve Akkiraz, 2014), linyit içerikli tortuların palinolojik verilerinin, nemli ve sıcak iklim şartlarını işaret ettiği belirtilmiştir.

Çizelge 2. GC analiz sonuçları ve paleoiklim yorumlamalarında kullanılan parametreler.  
Table 2. The results of GC analysis and the parameters used to interpret the paleoclimate.

Örnek No	Toplam Özüt (ppm)	Bitüm/ TOK (%)	Pr/Pn	Pr/C <sub>17</sub>	Ph/C <sub>18</sub>	CPI <sub>1(26-28)</sub> , CPI <sub>2(22-30)</sub>	ACL	P <sub>aq</sub>	P <sub>wax</sub>	TAR	Q <sub>wood/grass</sub>	Q <sub>wood/plant</sub>	Q <sub>grass/plant</sub>	C <sub>23</sub> /C <sub>25</sub>	C <sub>23</sub> /C <sub>29</sub>	C <sub>23</sub> /C <sub>27</sub>	C <sub>23</sub> /C <sub>29</sub>
M-4	12090	0.03	0.9	0.2	0.3	3.2, 2.8	29	0.3	0.7	13	1.1	0.7	0.3	0.4	0.9	0.3	0.3
M-8	8171	0.01	nd	nd	nd	1.9, 2.4	29	0.7	0.5	22	1.5	0.7	0.3	2.2	1.1	0.9	0.9

$CPI_1 = 2 \cdot n \cdot C_{27} / n \cdot C_{26} + n \cdot C_{28}$  (Peters vd., 2005),  $CPI_2 = 2(C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29}) / C_{22} + 2(C_{24} + C_{26} + C_{28}) + C_{30}$  (Peters ve Moldovan, 1993)  
 $ACL = (C_{23} + C_{25}) / (C_{23} + C_{25} + C_{29} + C_{31}) / (C_{15} + C_{17} + C_{19})$  (Bourbonniere ve Meyers, 1996)  
 $P_{aq} = (C_{23} + C_{25}) / (C_{23} + C_{25} + C_{29} + C_{31})$  (Ficken vd., 2000),  $P_{wax} = (C_{27} + C_{29} + C_{31}) / (C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31})$  (Ficken vd., 2000)  
 $Q_{wood/grass} = C_{27} / C_{31}$ ,  $Q_{wood/plant} = (C_{27} + C_{29}) / (C_{27} + C_{29} + C_{31})$ ,  $Q_{grass/plant} = C_{31} / (C_{27} + C_{29} + C_{31})$  (Zheng vd., 2007)

ACL (*n*-alkane average chain length; orta zincir uzunluklu *n*-alkanlar) turba oluşumu esnasındaki paleoiklimin yorumlanmasında kullanılmaktadır (Yamamoto vd., 2010; Zhou vd., 2010). Yüksek ACL değeri kuru ve soğuk iklim şartlarındaki damarlı bitki girdisinin baskınlığını yansıtmaktadır. Bu oran M-4 ve M-8 nolu örneklerin her ikisinde de ortalama 29 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, orta düzeyde nem ve yağışı karakterize ettiği düşünülebilir (Hoş-Çebi ve Korkmaz, 2015).

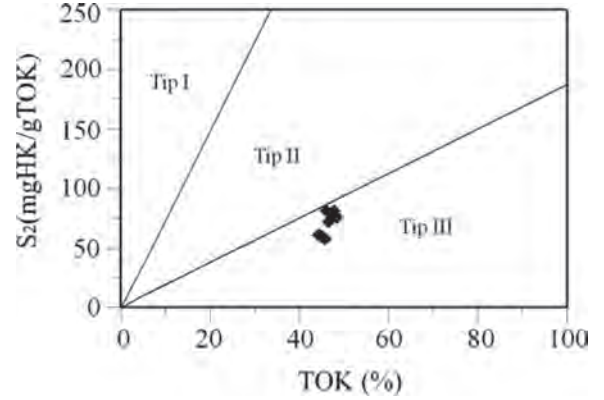
$C_{23}/C_{25}$  *n*-alkan oranı, göreceli olarak daha az nemli olan yüksek alanlarda büyüyen bataklık yosun (*Spagnum*) türlerinin, daha nemli çukur alanlardakine oranını göstermektedir (Bingham vd., 2010).  $C_{23}/C_{25}$  oranları M-4 ve M-8 örneklerinde sırasıyla 0.9 ve 1.1 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler bitkilerin büyüdüğü periyotta ortalama bir nemi işaret etmektedir.  $C_{23}/C_{29}$  oranı sucul bitki girdisinin damarlı bitki girdisine oranını yansıtmaktadır. Bu oran M-4 nolu örnekte 0.4 olup damarlı bitki girdisinin egemen olduğunu, M-8 nolu örnekte ise belirlenen 2.2 değeri, egemen sucul bitki girdisini yansıtmaktadır. Aynı örneklere ait  $P_{aq}$  ve  $P_{wax}$  değerleri de bu yorumu desteklemektedir.

$C_{29}$  homologları iğne yapraklı ve yaprak dökmeyen ağaçlarda baskınken,  $C_{27}$  homologları geniş yapraklı ağaçlarda baskındır (Long vd., 2011). M-4 nolu örneğin GC kromatogramında  $C_{29}$  baskın pik iken, M-8 nolu örneğin GC kromatogramında  $C_{27}$  nin daha baskın pik verdiği gözlenmiştir. M-4 nolu örneğin ait olduğu zaman aralığında iğne yapraklı ağaçların daha baskın, M-8 nolu örneğin ait olduğu zaman aralığında ise geniş yapraklı ağaçların daha baskın olduğu söylenebilir.

M-4 ve M-8 örneklerinin alındığı seviyelerdeki iklim yorumlamalarında sırasıyla ACL değerleri 29;  $Q_{wood/grass}$ ,  $Q_{wood/plant}$  ve  $Q_{grass/plant}$  oranları (1.1, 1.5), (0.7, 0.7) ve (0.3, 0.3) olarak hesaplanmıştır (Zheng vd., 2007). M-4 ve M-8 örneklerinin alındığı seviyelerde ağaçsı organik maddenin baskın, iklimin göreceli olarak nemli ve yarı tropik olduğu, ancak M-8 nolu örneğin alındığı periyotta iklimin M-4 nolu örneğin alındığı periyoda nazaran daha nemli olduğu ve daha yüksek su tablasının bulunduğu buna bağlı olarak da sucul bitki açısından daha zengin olduğu söylenebilir (Çizelge 2).

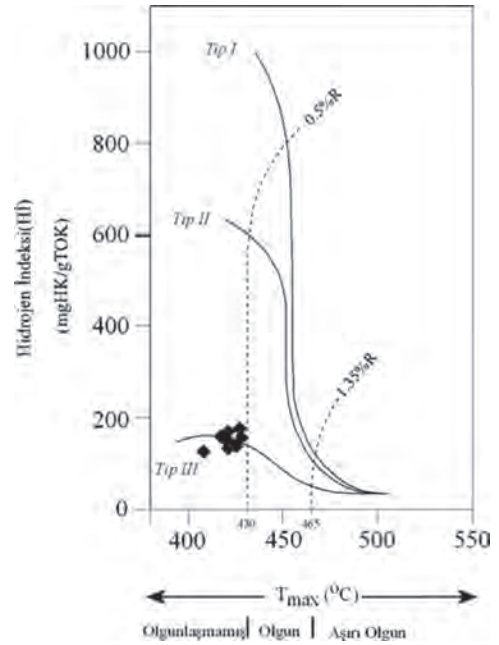
### ORGANİK MADDE TİPİ

Ekizköy kömürlerin organik madde tiplerini belirlemek için  $S_2$ -TOK (Langford ve Blanc-Valeron, 1990) ve  $H\dot{I}$ - $T_{max}$  diyagramları kullanılmıştır (Mukhopadhyay vd., 1995).  $S_2$ -TOK diyagramında incelenen örneklere ait 8 adet örneğin Tip III kerojen alanında dağıldığı görülmüştür (Şekil 6).  $H\dot{I}$ - $T_{max}$  diyagramında ise örneklerin Tip II kerojen alanında, Tip II ve Tip III kerojen sınırında ve Tip III kerojen alanında yer aldığı gözlenmiştir (Şekil 7). Tip III (karasal organik madde) ve Tip II kerojenin, turba alanı ve çevresindeki kara bitkilerinin damar ve lif kütüküllerinden, polenlerden ve spordardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Hoş-Çebi ve Korkmaz, 2013).



Şekil 6. Milas-Ekizköy kömür örneklerinin  $S_2$ -TOK kerojen tipi diyagramındaki (Langford ve Blanc-Valeron, 1990) dağılımı.

Figure 6. The distribution of the Milas-Ekizköy coal samples on the  $S_2$  vs. Total Organic Carbon (TOC) kerojen type diagram (Langford and Blanc-Valeron, 1990).



Şekil 7. Milas-Ekizköy kömür örneklerinin  $H\dot{I}$ - $T_{max}$  grafiğindeki (Mukhopadhyay vd., 1995) dağılımı.

Figure 7. The distribution of the Milas-Ekizköy coal samples on the  $H\dot{I}$  vs.  $T_{max}$  plot graph (Mukhopadhyay et al., 1995).

## OLGUNLUK

Ekizköy kömürlerinin olgunluk yorumlamalarında, vitrinit yansıma değerlerinden (Ro%) , piroliz ve GC analiz verilerinden ( $T_{max}$ ) yararlanılmıştır. Vitrinit yansıması değerleri M-4 nolu örnek için 0.31, M-8 nolu örnek için ise 0.21 aralığında ölçülmüştür. Her iki örnek de linyit aşamasındaki kömürü işaret etmektedir. Querol vd., 1991 tarafından ise, Ekizköy sahası kömürlerinin  $R_{max}$  değeri ortalama % 0.39 olarak ölçülmüştür

Üretim İndeksi değerleri ( $S_1/S_1+S_2$ ) 0.02 ile 0.05 aralığında değişmekte olup ortalama 0.03'tür (Çizelge 1). 0.1'den küçük Üretim İndeksi değerleri olgunlaşmamış organik maddeyi göstermektedir (Merril, 1991).

Sahaya ait örneklerin  $T_{max}$  değerleri 408 - 428 C° arasında değişmektedir.  $T_{max}$  değerleri dikkate alınarak olgunluk sınıflaması yapıldığında (Peters ve Moldowan, 1993) tüm örneklerin olgunlaşmamış düzeyde olduğu görülmektedir. Organik maddenin olgunluğunu ve kerojen tipini belirlemek amacıyla Hİ- $T_{max}$  diyagramı kullanılmıştır (Şekil 7). Bu diyagrama göre yine örneklerin olgunlaşmamış düzeyde olduğu görülmüştür.

Olgunlaşmamış kömürlerde, uzun zincirli *n*-alkanların kısa zincirli *n*-alkanlara baskınlığı, karasal bitkiler ile kütiküler waxlardan kaynaklanmaktadır (Wang ve Simoneit, 1990; Bechtel vd., 2003; Eglinton ve Hamilton, 1967).  $CPI_1$  ve  $CPI_2$  değerlerinin her iki örnekte de 1'den büyük olması, Ekizköy kömürlerinin olgunlaşmamış düzeyde olduğunu göstermektedir (Çizelge 2).

## HİDROKARBON POTANSİYELİ

Ekizköy kömürlerinin Hİ değerleri 127-178 mgHK/gTOK arasında değişmektedir. Ortalama Hİ değeri ise 152.88 mgHK/gTOK olarak hesaplanmıştır. 150 mgHK/gTOK'tan küçük olan Hİ değerleri ancak gaz türetebilecek bir organik maddeyi işaret etmektedir. Sahaya ait örneklerin organik madde tipleri ve  $S_2/S_3$  kerojen tipi parametreleri hesaplandığında ortalama değer 2 olduğu görülmüştür.  $S_2/S_3$  kerojen tipi parametresinin 3'ten küçük olan değerleri yalnızca gaz türetebilecek organik madde tipini işaret etmektedir (Merrill, 1991).

Ekizköy kömürlerinin Potansiyel Ürün değerleri 60.62-84.03 mgHK/g kaya arasında değişmektedir. Ortalama Potansiyel Ürün değeri 73.02 mgHK/g kaya olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre Ekizköy kömürlerinin hidrokarbon potansiyellerinin yüksek olduğu, ancak Hİ değerleri ve kerojen tipi de dikkate alındığında uygun basınç ve sıcaklıkta yalnızca gaz türümü sağlayabilecek bir potansiyele sahip oldukları sonucuna varılmıştır.

## ORTAMSAL YORUM

Denizel olmayan koşullarda da sülfür içeriği yüksek olabilmektedir (Bechtel vd., 2003). Markic ve Sachsenhofer (1997)'ye göre; göreceli olarak yüksek sülfür içeriği ve değişkenliği, kalsiyumca zengin yüzey sularının ve değişen pH değerlerinin bir sonucudur. Kömür damarlarının, kireçtaşları ve sapropelik malzemeler tarafından üzerlenmesi, damarlardaki sülfür içeriğinin artmasına neden olmaktadır (Bechtel vd., 2001). Tatlı sulu göllerde, organik madde içinde sülfür birliktelikleri için uygun şartların olduğu bilinmektedir (Brown ve Kenig, 2004). Yüksek

sülfürlü ve metanca zengin kömürlerin, zayıf asidik şartlardan-nötr şartlara kadar sülfat üreten (hafif tuzlu, acı sulu) ortamlardaki anaerobik bakterilerin yüksek aktivitesi nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir (Sachsenhofer vd., 2000 a,b).

Denizle irtibatlı olmayan ortamlarda oluşan kömürlerdeki yüksek kükürt içeriği, turbanın depolanma ortamındaki yüksek pH ve düşük Eh şartlarındaki yüksek su tablası ile ilişkili olabilir (Stach vd., 1982; Robert, 1980). Bu şartlarda, organik kükürt ve sinjenetik (eş zamanlı) piritin, yüksek miktarda bakteriyel aktivitelerden ve bol miktarda proteince zengin maddelerden sağlandığı söylenebilir. Bakteri aktivitesinin artmasıyla, kömürleri oluşturan turbada kükürt içeriğinin nispeten arttığı ifade edilmiştir (Stach vd., 1982). Biyolojik bozunma da kükürt seviyesini oldukça arttırmaktadır (Waples, 1985).

Ekizköy kömürlerinin turbalaşma sürecinde düşük bir kırıntı girdisi ve karbonatça zengin gölsel ortam şartlarının mevcut olduğu bildirilmiştir (Querol vd., 1999). Yüksek su tablası, bol mollusca faunalı göl gelişimini ve mikritik karbonat çökelimini sağlamıştır. Bu yüzden Ekizköy linyitleri göreceli olarak düşük Al ve Fe (< % 1.4), yüksek sülfür (% 4.2) ve yüksek Ca (% 6.28) içeriğine sahiptir (Querol vd., 1999). Ekizköy kömürlerinin turbalaşması esnasında yüksek pH şartları ve yüksek bakteriyel aktivite mevcuttur (Querol vd., 1999). Ekizköy kömürlerini oluşturan organik madde, çok yüksek karbonat ve sülfat içerikleri ile karakterize olan göl ortamında kapalı drenaj sistemi ve kurak-yarı kurak paleoiklim şartları altında birikmiştir (Querol vd., 1999).

Piroliz ve TOK analiz verilerinden yararlanarak oluşturulan  $H\dot{I}-T_{max}$  ve  $S_2-TOK$  diyagramlarında Ekizköy kömürlerinin Tip II,

Tip II ve Tip III sınırı ve Tip III kerojen alanında yer aldıkları görülmüştür. GC analizlerinden yararlanarak hesaplanan yüksek CPI ve  $TAR_{(HC)}$  değerleri, Ekizköy kömürlerinde karasal organik maddeyi temsil eden yüksek karbon numaralı *n*-alkanların baskın olduğunu göstermektedir.

CPI değerleri M-4 ve M-8 nolu örnekler için  $C_{26}-C_{28}$  ve  $C_{22}-C_{30}$  aralıklarında sırasıyla 3.2, 2.8 ve 1.9, 2.4 olarak hesaplanmıştır. Yüksek CPI değerleri göreceli olarak kuru ve soğuk paleoiklimi yansıtmakla beraber, karasal organik madde içeren kömürlerde yüksek ve tek numaralı *n*-alkanların baskınlığı yüksek CPI değerleri vermektedir. Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde ( $P_{wax}$ ,  $P_{aq}$ , CPI, TOK, ACL,  $Q_{wood/grass}$ ,  $Q_{wood/plant}$  ve  $Q_{grass/plant}$ ) M-4 nolu örneğin alındığı periyotta iklimin orta düzeyde nemli ve orta düzeyde sıcak olduğu, M-8 nolu örneğin alındığı periyotta ise iklimin M-4 nolu örneğin alındığı periyoda nazaran göreceli olarak daha nemli ve ılıman olduğu düşünülebilir.

Ekizköy sahası kömürlerinin olgunluk değerlendirmesinde kullanılan  $\dot{U}\dot{I}$ ,  $CPI_1$ ,  $CPI_2$  vitrinit yansıması ve  $T_{max}$  değerleri olgunlaşmamış organik maddeyi işaret etmektedir.

## KAYNAKLAR

- Atalay, Z., 1980. Muğla ve Yatağan bölgeleri çevresindeki Neojen yaşlı kıtasal çökellerin stratigrafisi. Türkiye Jeoloji Bülteni 23/1, 93-99.
- Bechtel, A., Sachsenhofer, R. F., Gratzner, R. Püttmann, W., 2001. Organic geochemical and stable carbon isotopic investigations of coals formed in low-lying and raised mires within the Eastern Alps (Austria). Organic Geochemistry, 32, 1289-1310.



- Bechtel, A., Sachsenhofer, R. F., Markic, M., Gratzner, R., Lücke, A., Püttmann, W., 2003. Palaeoenvironmental implication from biomarker and stable isotope investigations on the Pliocene Velenje lignite seam (Slovenia). *Organic Gechemistry*, 34, 1277-1298.
- Bingham, E. M., McClymont E. L., Välranta M., Mauquoy D., Roberts Z., Chambers F. M., Pancost R. D., Evershed R. P., 2010. Conservative composition of *n*-alkane biomarkers in *Sphagnum* species: implications for palaeoclimate reconstruction in ombrotrophic peat bogs. *Organic Gechemistry*, 41, 214-220.
- Bourbonniere, R. A., Meyers, P. A., 1996. Sedimentary geolipid records of historical changes in the watersheds and productivities of Lakes Ontario and Erie. *Limnology and Oceanography*, 41, 352-359.
- Brown, T. C., Kenig, F., 2004. Water column structure during deposition of Middle Devonian-Lower Mississippian black and green/gray shales of the Illinois basins: a biomarker approach. *Paleogeography Paleoclimate Paleocol*, 215, 59-85.
- Cranwell, P. A., Eglinton G., Robinson, N., 1987. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments-2. *Organic Geochemistry*, 11, 513-527.
- Eglinton, G., Hamilton, R. J., 1967. Leaf epicuticular waxes. *Science*, 156, 1322-1335.
- Ficken, K. J., Li, B., Swain, D. L., Eglinton, G., 2000. An *n*-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry*, 31, 745-749.
- Goossens, H., Duren, C., De Leeuw, J. W., Schenck, P. A., 1989. Lipids and their mode of occurrence in bacteria and sediments-2. Lipids in the sediment of a stratified, freshwater lake. *Organic Geochemistry*, 14, 27-41.
- Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D., Tuncali, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri. MTA, 356 s.
- Göktaş, F., 1982. Muğla ve çevresindeki Senozoik yaşlı çökelti kayalarının sedimantolojik ve paleontoloji araştırmalar. MTA, Arşiv No. 519, 84 s.
- Görür, N., Şengör, A. M. C., Sakıncı, M., Tüysüz, O., Akkök, R., Yiğitbaş, E., Oktay, F. Y., Barka, A., Sarıca, N., Ecevitoglu, B., Demirbağ, E., Ersoy, S., Algan, O., Güneysu, C., Aykol, A., 1995. Rift formation in the Gökova region, southwest Anatolia: implications for the opening of the Aegean Sea. *Geological Magazine*. 132 (6) ,637-650.
- Hoş-Çebi, F., Korkmaz, S., 2013. Organic geochemistry and depositional environments of Eocene coals in northern Anatolia, Turkey. *Fuel*, 113, 481-496.
- Hoş-Çebi, F., Korkmaz S., 2015. Organic Geochemistry of Ağaçaş Yayla Peat Deposits, Köprübaşı/Trabzon, NE Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 146, 155-165.
- Hunt, J. M., 1995. Petroleum geochemistry and geology, New York: W.H. Freeman and Company; 743 p.
- ICCP, 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 77, 349-358.
- ISO 7404-5, 2009. Methods for the petrographic analysis of coals — Part 5: Method of determining microscopically the reflectance of vitrinite. Standards Australia, Level 10, The Exchange Centre 20 Bridge Street, GPO Box 476, AU-Sydney NSW 2001 ([www.standards.org.au](http://www.standards.org.au)).

- Kara-Gülbay, R., 2015. Organic geochemical and petrographical characteristics of coal bearing Oligo-Miocene sequence in the Oltu-Narman Basin (Erzurum), NE Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 149, 93-107.
- Kayseri-Özer, M., 2013. Spatial distribution of climatic conditions from the Middle Eocene to Late Miocene based on palynoflora in Central, Eastern and Western Anatolia. *Geodinamica Acta*, 26, 1-2, 122-157.
- Kayseri Özer, M., Akgün, F., Mayda, S., Kaya, T., 2014. Palynofloras and vertebrates from Muğla-Ören region (SW Turkey) and palaeoclimate of the Middle Burdigalian-Langhian period in Turkey. *Bulletin of Geosciences*, 89, 1, 137-162 pp.
- Korkmaz, S., Kara Gülbay, R., 2007. Organic geochemical characteristics and depositional environments of the Jurassic coals in the eastern Taurus of Southern Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 70, 292-304.
- Langford, F. F., Blanc-Valleron, M. M., 1990. Interpreting rock-eval pyrolysis data using graphs of pyroizable hydrocarbons vs. total organic carbon. *AAPG Bulletin*, 74, 799-804.
- Long, L., Fang, X. M., Miao Y. F., Bai Y., Wang, Y. L., 2011. Northern Tibetan Plateau cooling and aridification linked to Cenozoic global cooling: Evidence from n-alkane distributions of Paleogene sedimentary sequences in the Xining Basin. *Chinese Science Bulletin*, 56, 1569-1578.
- Markic, M., Sachsenhofer, R. F., 1997. Petrographic composition and depositional environments of the Pliocene Velenje Lignite Seam (Slovenia). *International Journal of Coal Geology*, 33, 229-254.
- Merrill, R.K., 1991. *Source and Migration Processes and Evaluation Techniques* (R.K. Merrill, ed.), Oklahoma, 213 p.
- Meyers, P. A., Ishiwatari, R., 1993. Lacustrine organic geochemistry-an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry*, 20, 867-900.
- Mukhopadhyay, P. K., Wade, J. A., Kruge, M. A., 1995. Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks, and possible oil-source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes, Scotian Basin, Canada, *Organic Geochemistry*, 22, 1, 85-104.
- Querol, X., Alastuey, A., Plana, F., Lopez-Soler, A., Tuncali, E., Toprak, S., Ocañoğlu, F., Koker, B., 1999. Coal geology and coal quality of the Miyosen Muğla basin, southwestern Anatolia, Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 41, 311-332.
- Peters, K. E., Moldowan J. M., 1993. *The Biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Englewood Cliffs (N.J.): Prentice-Hall, 363 p.
- Peters, K. E., Walters, C. C., Moldowan, J. M., 2005. *The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History*. Cambridge University Press, 1155 p.
- Petersen, H. I., Andersen, C., Anh, P. H., Bojesen-Koefeld, J. A., Nielsen, L. H., Nytoft, H. P., Rosenberg, P., Thanh, L., 2001. Petroleum potential of Oligocene lacustrine mudstones and coals Ot Dong Ho, Vietnam - an outcrop analogue to terrestrial source rocks in the greater Song Hong Basin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19, 135-154.
- Robert, P., 1980. The Optical Evolution of Kerogen and Geothermal Histories Applied to Oil and Gas Exploration: In: Durand B., (Ed.) q.v., chapter 11, 340-414.
- Sachsenhofer, R. F., Kogler, A., Polesny, H., Strauss, P., Wagreich, M., 2000a. The Neogene Fohnsdorf Basin: Basin formation and basin inversion during lateral extrusion in the Eastern Alps.

- International Journal of Earth Science, 89, 415-430.
- Sachsenhofer, R. F., Strauss, P., Wagreich, M., Abart, R., Decker, K., Goldbrunner, J. E., Gruber, W., Kriegl, C., Spötl, C., 2000b. Das Miozäne Fohndorfer Becken-Eine Übersicht. Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr, 4, 173-190.
- Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D., Teichmüller, R., 1982. Stach's Textbook of Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 535 p.
- Stout, S. A., 1992. Aliphatic ve aromatic triterpenoid hydrocarbons in a Tertiary angiospermous lignite. Organic Geochemistry, 18, 51-66.
- Şengüler, İ., Akkiraz, M. S., 2014. Eskişehir havzasındaki Miyosen yaşlı tortulların palinolojisi ve paleoekolojisi. TPJD Bülteni, 26 (1), 7-17.
- Tissot, B. P., Welte, D. H., 1984. Petroleum Formation and Occurrence, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York Tokyo, 699 p.
- Volkman, J. K., 1986. A review of sterolmarkers formarine and terrigenous organicmatter. Organic Geochemistry, 9, 83-99.
- Walters, C. C., Cassa, M. R., 1985. Regional Organic Geochemistry of offshore Louisiana. Transactions Gulf Coast Association Geological Society, 35, 277-286.
- Wang, T. G., Simoneit, B. R. T., 1990. Organic geochemistry and coal petrology of Tertiary brown coal in the Zhoujing Mine, Baise Basin, South China. Fuel, 69, 12-20.
- Waples, D. W., 1985. Geochemistry in Petroleum Exploration: International Human Resources Development Corporation, Boston, 232 p.
- Xie, S., Nott, C. J., Avsejs, L. A., Maddy, D., Chambers, F., Evershed, R. P., 2004. Molecular and isotopic stratigraphy in an ombrotrophic mire for palaeoclimate reconstruction. Geochimica et Cosmochimica Acta, 68, 2849-2862.
- Yalçın Erik, N., Ay, F., 2010. Tersiyer yaşlı Artova ve Zile kömürlerinin (Tokat) organik jeokimyasal özellikleri ve hidrokarbon türetim potansiyelleri. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, 31 (3), 169-190.
- Yalçın Erik, N., Sancar, S., 2010. Relationship between coal-quality and organic-geochemical parameters: a case study of the Hafik Coal Deposits (Sivas Basin, Turkey). International Journal Of Coal Geology, 83, 396-414.
- Yalçın Erik, N., Ay, F., 2013. Organic geochemical characterization and hydrocarbon potential Of Tertiary coals Of The Tokat Province (Central Anatolia, Turkey). Energy Sources, Part A, 35, 991-999.
- Yalçın Erik, N., 2016, Paleoenvironment characteristics and hydrocarbon potential of the Lower Miocene Bituminous shales in Sivas Basin (Central Anatolia, Turkey). Journal of Arabian Earth Science, 9,18.
- Yamamoto, S., Kawamura, K., Seki, O., Meyers, P. A., Zheng, Y., Zhou, W., 2010. Environmental influences over the last 16 ka on compound-specific d13C variations of leaf wax n-alkanes in the Hani peat deposit from northeast China. Chemical Geology, 277, 261-268.
- Yiğitel, I., 1979. Güneybatı Anadolu'da yer alan sahaların genel görünümü, MTA raporu, No: 6180, Ankara, yayımlanmamış, 15 s.
- Zhang, E., Hatcher, P. G., Davis, A., 1993. Chemical composition of pseudo-phlobaphinite precursors: Implications for the presence of aliphatic biopolymers in vitrinite from coal. Organic Geochemistry, 20, 721-734.
- Zheng, Y., Zhou, W., Meyers, P. A., Xie, S., 2007. Lipid biomarkers in the Zoigê-Hongyuan peat deposit: Indicators of Holocene climate changes in West China. Organic Geochemistry, 38, 1927-1940.

Zhou, W., Xie, S., Meyers, P. A., Zheng, Y., 2005. Reconstruction of late glacial holocene climate evolution in southern China from geolipids and pollen in the Dingnan peat sequence. *Organic Geochemistry*, 36, 1272-1284.

Zhou, W., Zheng, Y., Meyers, P. A., Jull, A. J. T., Xie, S., 2010. Postglacial climate-change record in biomarker lipid compositions of the Hani peat sequence, northeastern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 294, 37–46.

# YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

## AMAÇ

### JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

• İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözleterek daha güvenli ve rahat 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 Mühendisleri'nin bilgisine sunmak,

• Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan biliminsanları, 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,

• Türkiye'nin toplumsal ve ekonomik kalkınmasını yakından ilgilendiren jeolojiye ilişkin sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması açısından büyük önem taşıyan kurumlararası işbirliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,

• Türkçe'nin Jeoloji Mühendisliği alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirmek amaçlarına sahiptir.

## KAPSAM VE NİTELİK

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, ulusal ve uluslararası platformlarda, yerbilimlerinin uygulamaya yönelik alanlarında çalışmalar yapan herkesin katkısına açıktır. Bu çerçevede;

- İnsanların yaşamını etkileyen jeolojik süreçler ile mühendislik yapıları ve bunlara ilişkin sorunlar ve çözümler
- Jeolojik kaynakların yönetimi ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi
- Doğal ve yapay kirleticiler ve ekosisteme etkileri
- Jeolojik anıtların korunması
- Jeolojik sorunların çözümüne katkıda bulunan arazi ve laboratuvar yöntemlerinin ve tekniklerinin geliştirilmesi

ile ilgili kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan ürünler, Yayın Kurulu'nun değerlendirmesinden geçtikten sonra Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde yayımlanır.

Jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin her türlü çalışma Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nin yayın amaçlarına uygundur. Bununla birlikte, çalışmaya konu olan sorunun kullanılan teknik ne olursa olsun, bilimsel yöntemlerle ele alınması ve jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin olması aranan temel nitelikler arasındadır. Çalışmanın daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekmektedir. Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde, yeni yapıyla beş tür yazı yayımlanacaktır:

**1- ELEŞTİREL İNCELEME (Review Paper):** 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 geliştiren yazıdır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.

**2- ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article):** Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kuramsal temel, yeterli miktar ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılıyla

değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 6000 sözcük eşdeğerini (10 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

**3- TEKNİK NOT (Technical Note):** Herhangi bir süreci veya tekniği, kuramsal temel, yeterli veri ve ayrıntılı değerlendirmeye dayanmadan sunan ve amacı, bu süreci veya teknikleri kullanabilecek yerbilimcilere duyurmak olan özgün yazıdır. Yazının uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

**4- ARAŞTIRMA NOTU (Research Note):** Henüz tamamlanmamış, eksik veri ve bulgularla yüzeysel değerlendirmelere dayalı, kendi içinde tutarlı, özgün, deneysel, uygulamalı veya kuramsal araştırmaların önsonuçlarının veya bulgularının sunulduğu yazıdır. Amaç, okuyucuya güncel bir konuya ilişkin bir çalışmanın ön bulgu ve sonuçlarını duyurarak konu üzerinde tartışma ortamı yaratmak, konunun gelişmesine diğer araştırmacıların katkılarını sağlamaktır. Yazı uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

**5- GÖRÜŞ-YORUM ve YANITLAR (View, Comment and Reply):** Dergide yayımlanan yazılar hakkında her türlü görüş, yorum ve bunlara ilişkin yanıtları içerir. Editörün uygun gördüğü uzunlukta yayımlanır.

## YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ Editörlüğü'ne 2 satır aralığında 12 punto harflerle yazılmış ve 1 nüsha halinde \*.doc veya \*.docx formatında hazırlanarak e-posta ile gönderilen yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları, vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirilmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine ve/veya Kurul dışından seçilecek uzmanlara gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğrudan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörce karar verilir ve sonuç yazarlara bildirilir.

Yayın Kurulu üyelerinin birbiriyle çelişen görüş bildirmeleri durumunda, Editör'ün bir karara varabilmesi için yazı, üçüncü bir Yayın Kurulu üyesine veya yazı konusundaki uzmana gönderilir. Yayın Kurulu üyeleri gerekli görürlerse yazıları düzeltilmiş haliyle tekrar görüp değerlendirebilirler.

Yazarlar, Yayın Kurulu üyelerinin ve Editör'ün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmeler arasında katılmadıkları hususlar olduğunda bunları ayrı bir sayfada gerekçeleriyle birlikte açıklamalıdır.

Gönderilen yazılar, JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlansın veya yayımlanmasın yazarlara iade edilmez.

## YAZIM DİLİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayın dili olarak "Türkçe" ve "İngilizce" kullanılmaktadır. Derginin oldukça geniş bir yurt dışı aboneliği ve sürümü olduğu için, Türkçe makalelerin, kabulden sonra "Genişletilmiş bir İngilizce Özeti"nin yazılması gerekmektedir. Dergide; ayrıca yazıların başlıkları, özetleri ve tüm çizelgeler ile şekillerin açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

## YAZIM KURALLARI

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlanması kabul edilen yazıların** basım öncesi dizgi işlemleri Editörlükçe yazarlara gönderilecek olan "**Makale Yazım Formatı**"na göre yazarlar tarafından yapılır. Zaman tasarrufu, ekonomiklik ve yazıların son şeklinin yazarlar tarafından da kontrolünü sağlamak açısından tercih edilen bu yöntemde, yazarlar yazılarını baskıya girecek şekilde bilgisayarda formata uygun bir şekilde dize ederler ve bırakılan boşluklara da şekil ve çizelgeleri yerleştirerek (camera-ready uygulamasına benzer şekilde) basım aşamasına getirerek Editörlüğe gönderirler.

### Metin Bölümü

- 1- **Metin:** A4 boyutunda (29,7 x 21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1,5 satır aralıkla, 10 punto ve Times New Roman yazı karakteri ile yazılmalıdır. Sayfa kenarlarında 3'er cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar numaralandırılmalıdır.
- 2- **Başlık:** konuyu en iyi şekilde belirtecek ve 12 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli ve Türkçe başlığın (tamamı büyük harflerle ve koyu yazılmış) yanısıra, İngilizcesi (İtalik ve normal büyük harflerle) de yazılmalıdır. Eğer yazı İngilizce yazılmış ise, önce İngilizce sonra Türkçe başlık verilmelidir.
- 3- **Öz:** yazının başlangıcında 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış Öz/Abstract (Türkçe ve İngilizce) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve sonuçlarını yansıtarak) olmalıdır. Yazı Türkçe yazılmışsa Abstract'ın, İngilizce yazılmışsa Öz'ün başlığı ve metin kısmı italik karakterle yazılmalıdır. Ayrıca, Öz ve Abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak *Anahtar Kelimeler ve Key Words* (en az 2, en çok 6 kelime alfabetik sıraya göre) verilmelidir. Eğer yazı İngilizce hazırlanmış ise, önce Abstract sonra Öz verilmelidir.
- 4- Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir:
  - a) Başlık (Türkçe ve İngilizce)
  - b) Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları büyük harflerle, adresler normal italik karakterlerle)
  - c) Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
  - d) Abstract (key words eklenerek)
  - e) Giriş (amaç, kapsam, çalışma yöntemleri, vd.)
  - f) Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, vd.)
  - g) Tartışmalar
  - h) Sonuçlar ve Öneriler
  - i) Katkı belirtme (gerekliyse)
  - j) Kaynaklar
- 5- Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmemelidir. Bunların yazım şekli aşağıdaki gibi olmalıdır:

### ÖZ

### ABSTRACT

### GİRİŞ

### ANA BAŞLIK

**Birinci Derece Alt Başlık**

**İkinci derece alt başlık**

**Üçüncü derece alt başlık**

### TARTIŞMALAR

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### KATKI BELİRTME

### KAYNAKLAR

- 6- Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m<sup>3</sup> vb.) kullanılmalıdır.
- 7- Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta kullanılmalıdır (3.1 gibi).

### Kaynaklar

- a) Metin içinde kaynaklara değinme yapılırken aşağıdaki örneklerde olduğu gibi, bibliyografya araştırmacı soyadı ve tarih sırasıyla verilir.  
....Ford (1986) tarafından....  
....bazı araştırmacılar (Williams, 1987; Gunn, 1990; Saraç ve Tarcan, 1995)

- b) Birden fazla sayıda yazarlı yayınlara metin içinde değinirken ilk soyadı belirtilmeli, diğer yazarlar için vd. İbaresini kullanılmamalıdır.  
....Doyuran vd. (1995)....  
....Smart vd.(1971)....
- c) Ulaşılamayan bir yayına metin içinde değinme yapılırken bu kaynakla birlikte alıntının yapıldığı kaynak da aşağıdaki şekilde belirtilmelidir. Ancak Kaynaklar Dizisinde sadece alıntının yapıldığı kaynak belirtilmelidir.  
....Dreybrodt(1981; Schuster and White, 1971)....
- d) Kişisel görüşmelere metin içinde soyadı ve tarih belirtilerek değinilmeli, ayrıca "Kaynaklar Dizini"nde de yer verilmelidir. (Soyadı, Adı, Tarih. Kişisel görüşme. Görüşülen kişinin/kişilerin adres(ler)i)
- e) Kaynaklar, yazar soyadları esas alınarak alfabetik sırayla verilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar, "Kaynaklar Dizini"nde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır:

### Sürelili yayımlar ve bildirimler

Yarbaşı, N., Kalkan, E., 2009. Geotechnical mapping for alluvial fan deposits controlled by active faults: a case study in the Erzurum, NE Turkey. *Environmental Geology*, 58 (4), 701-714.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin Başlığı. Sürelili Yayımların Adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), Sayfa No.]

Altındağ, R., Şengün, N., Güney, A., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., Onargan, T., 2006. The integrity loss of physicommechanical properties of building stones when subjected to recurrent cycles of freeze-thaw (F-T) process. *Fracture and Failure of Natural Building Stones-Applications in the Restoration of Ancient Monuments* (Editors: Stavros and Kourkoulis), 363-372.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin Başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editörler, Basımevi, Cilt No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa), Düzenlendiği Yerin Adı, Sayfa No.]

### Kitaplar

Palmer, C.M., 1996. *Principles of Contaminant Hydrogeology* (2<sup>nd</sup> Edition). Lewis Publishers, New York, 235 p.

Ketin, İ., Camtez, N., 1972. *Yapısal Jeoloji*. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869,520 s.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın Adı (ilk harfleri büyük). Yayımevi, Basıldığı Şehrin Adı, Sayfa Sayısı.]

### Raporlar ve Tezler

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234, 17 s (yayımlanmamış).

Akın, M., 2008. Eskipazar (Karabük) travertenlerinin bozunmasının araştırılması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 263 s (yayımlanmamış).

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya Tezin Başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa), Sayfa Sayısı (yayımlanıp, yayımlanmadığı)]

**NOT:** Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 0.7 cm içeriden başlanarak yazılmalıdır.

### Eşitlikler ve Formüller

- a) Eşitlikler elle yazılmamalı ve bilgisayardan yararlanılmalıdır. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- b) Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.
- c) Eşitliklerde kullanılacak alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır ( $I_a$ ,  $x^2$  gibi).
- d) Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir.
- e) Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır ( $\sigma_{\text{cross}} = \sigma_c^{0.5}$  gibi).

- f) Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "\*" işareti tercih edilmektedir ( $y=5 * 10^{-3}$  gibi).
- g) Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla  $Ca^{++}$  veya  $CO^{-}$  gibi ifadeler yerine  $Ca^{2+}$  ve  $CO_3^{2-}$  kullanılmalıdır.
- h) İzotop numaraları, "<sup>18</sup>O" şeklinde verilmelidir.

#### Çizelgeler

- a) Yazarlar, derginin boyutlarını dikkate alarak, çizelgeleri sınırlamalı ve gerekiyorsa metinde kullanılanlara oranla daha küçük karakterlerle yazmalıdır. Bu amaçla çizelgeler tek sütuna (7.5 cm) veya çift sütuna (16 cm) yerleştirilebilecek şekilde hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin en fazla (16 x 21) cm boyutlarında olması gerekir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak çizelgeler kabul edilmez.
- b) Çizelgelerin hemen altında gerekli durumlarda açıklayıcı dip notlara veya kısaltmalara ilişkin açıklamalara yer verilmelidir.
- c) Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilmeli, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) "Çizelgeler Dizini" başlığı altında ayrı bir sayfaya yazılmalıdır. İngilizce olarak hazırlanmış yazılarda önce İngilizce sonra Türkçe çizelge başlığı verilmelidir.
- d) Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almamalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır.
- e) Her çizelge, sıralı olarak ayrı bir sayfada olmalı ve çizelge başlıkları çizelgenin üzerine yazılmalıdır.

#### Şekiller (Çizim, fotoğraf ve levhalar)

- a) Şekiller, uygun bir bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmalı, değerlendirmeyi kolaylaştıracak biçimde yüksek kalitede, metin sonunda verilmelidir. Ancak bu durum, elektronik dosya boyutunu fazla büyütmemelidir.
- b) Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil altı yazıları "Şekiller Dizini" başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) ayrı bir sayfada verilmelidir. Yazı İngilizce olarak hazırlanmışsa, şekil altı yazıları önce İngilizce sonra Türkçe verilmelidir.
- c) Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek "Şekiller Dizini" sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır.
- d) Şekiller, ya tek sütuna (7.5 cm), ya da çift sütuna (en fazla 16 cm) yerleştirilebilecek boyutta hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunluluğu olan büyük şekillerin, şekil altı açıklamalarına da yer kalacak biçimde, en fazla (16 x 21 cm) boyutlarında olması gerekir. Belirtilen bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak boyuttaki şekiller kabul edilmez.
- e) Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk (bar) türü ölçek kullanılmalıdır.
- f) Şekiller yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanırken, şekil üzerindeki açıklamaların (karakterlerin) okunabilir boyutlarda olmasına özen gösterilmelidir.
- g) Fotoğraflar, şekiller için yukarıda belirtilen boyutlarda basılmış olmalıdır. Fotoğrafların üzerinde gösterilecek olan simgeler okunaklı olmalıdır. Özellikle koyu tonların egemen olduğu bölgelerde simgelerin beyaz renk ile gösterilmesi tavsiye edilir. Yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelerin kullanılmasına özen gösterilmelidir.

#### Ek Açıklamalar ve Dipnotlar

- a) Ana metnin içine alındığında okuyucunun dikkatinin dağılmasına yol açabilecek, hatırlatma niteliğindeki bilgiler, yazının sonundaki "Ek Açıklamalar" başlığı altına konulabilir (İstatistik bilgilerin verilmesinde, formüllerin çıkarımının gösterilmesinde, bilgisayar programlarının verilmesinde, vb. konularda bu yol izlenebilir).
- b) Dipnotlar, yerleştirme ve yazılma açısından güçlükler neden olduğundan, çok gerekli durumlar dışında kullanılmamalıdır. Eğer dipnot kullanılırsa, yıldız (\*) işareti ile gösterilmeli ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Dipnotta eğer değinme yapılırsa bibliyografik bilgiler dipnotta değil, "Kaynaklar Dizini"nde verilmelidir.

#### YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

*JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin* "Yayın Amaçları ve Kuralları, Yayına Kabul İlkeleri"nde belirtilen ilkelere uygun olarak elektronik ortamda hazırlanmış yazılar, e-posta ile gönderilmelidir.

E-posta adresi: topal@metu.edu.tr

#### JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ

##### TMMOB 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 : topal@metu.edu.tr

#### AYRI BASKILAR

Dergide yayımlanması kabul edilen yazıların ayrı baskısından on adet yazarına veya birden fazla yazarlı yazılarda yayım için başvuruyu yapan yazara olanaklar çerçevesinde ücretsiz olarak gönderilir. Ondan fazla ayrı baskı talebinde bulunulması halinde, Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ücret, her ayrı baskı için yazarlar tarafından ödenir.









## İçindekiler / Contents

### Makaleler / Articles

- 123- Ömer ÜNDÜL, Namık AYSAL  
Gökçeada'da Yüzeleyen Andezit ve Riyodasit Bileşimli Kayaların İçyapı Özelliklerinin Dayanım ve Deformasyon Özelliklerine Etkileri  
*The Effects of Micro-Textural Properties on the Strength and Deformation Characteristics of Rocks with Andesite and Rhyodasite Compositions Exposed in Gökçeada*
- 149- Mutluhan AKIN, İsmail DİNÇER, Ali ÖZVAN, Vural OYAN, Mücip TAPAN  
İgnimbiritlerdeki Kılcal Su Emme Özelliğinin Ahlat Selçuklu Mezar Taşlarının Bozunmasındaki Rolü  
*The Role of Capillary Water Absorption Characteristics of Ignimbrites on the Deterioration of Ahlat Seljuk Tombstones*
- 167- Murat KARAHAN, Hakan ERSOY, M. Oğuz SÜNNETÇİ, Özge ÖRGEN  
Hacimsel Dane Oranının ve Dane Boyutunun Hamurda Kayaların (BIMRock) Dayanımı Üzerindeki Etkisi  
*The Effect of Volumetric Block Proportion and Grain Size on BIMRock Strength*
- 177- Orhan ARKOÇ, Tahir Çetin AKINCI, H. Selçuk NOGAY  
Yapay Sinir Ağları Yardımı ile Yeraltı Suyunda Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR) Tahmini: Ergene Havzası Doğu Akiferi Örneği  
*Prediction of Sodium Absorption Ratio (SAR) in Groundwater with the Aid of Artificial Neural Networks: the East Aquifer of Ergene Basin*
- 189- Orhan ARKOÇ  
Application of Water Quality Index with the Aid of Geographic Information System in Eastern Thrace to Assess Groundwater Quality  
*Doğu Trakya Bölgesi'nde Yeraltı Suyu Kalitesinin Araştırılması Amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımı ile Su Kalite İndeksi Uygulaması*
- 209- Fatma HOŞ ÇEBİ  
Ekizköy (Muğla-Milas) Erken-Orta Miyosen Kömürlerinin Organik Jeokimyası ve Paleoiklim Şartları  
*Organic Geochemistry and Paleoclimate Conditions of the Early-Middle Miocene Coals at the Ekizköy (Muğla-Milas)*