

# JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

*Journal of Geological Engineering*

*Cilt - Volume 41*

*Sayı - Number 2*

*ISSN 1016 - 9172*

*Aralık / December 2017*



**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:8/7 İskitler/Ankara  
Tel : (0312) 384 54 88  
Baskı Tarihi : Aralık 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 TÜREK (Hacettepe Üniversitesi)  
Prof. Dr. Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Üniversitesi)  
Prof. Dr. Asuman TÜRKMEENOĞLU (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  
Yüksel METİN  
Faruk İLGÜN  
D. Malik BAKIR  
Canan DEMİRALP  
Düzgün ESİNA  
Murat AKGÖZ

Başkan / President  
İkinci Başkan / Vice President  
Yazman / Secretary  
Sayman / Treasurer  
Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities  
Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs  
Yayın Üyesi / Member of Publication

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



## **İçindekiler / Contents**

### **Makaleler / Articles**

**91- Araştırma Makalesi / Research Article**

**Koray ULAMIŞ, Recep KILIÇ**

**Atık Barajlarındaki Su Kaçaklarının İncelenmesi: Çanakkale Örneği**

*Investigation of Water Seepage from Tailing Dams, Case of Çanakkale*

**101- Araştırma Makalesi / Research Article**

**Şehnaz ŞENER, Hülya KİBAR**

**Karagöl (Borçka-Artvin) Gölü ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi**

*Hydrogeochemical Investigation of Karagöl (Borçka-Artvin) Lake and Its Vicinity*

**117- Araştırma Makalesi / Research Article**

**Özgür AVŞAR, Bedri KURTULUŞ**

**Köyceğiz Gölü Su ve Taban Sedimanlarının Sıcaklık Dağılımı**

*Distribution of Water and Bottom Sediment Temperature of Lake Köyceğiz*

**137- Araştırma Makalesi / Research Article**

**Ali ELMAS**

**Trabzon Civarındaki Fay Türü Jeolojik Yapıların Gravite Verileri Kullanılarak Belirlenmesi**

*Identification of Fault Type Geological Structures around Trabzon by Using Gravity Data*

**155- Derleme / Review Paper**

**Ebru AKIŞ, Özgür SATICI**

**Underground Structures, Rock Structures and Rock Mechanics from Ancient Era to the Modern Age**

*İlk Çağlardan Günümüze Yer Altı Yapıları, Kaya Yapıları ve Kaya Mekaniği*



Araştırma Makalesi / Research Article

## Atık Barajlarındaki Su Kaçaklarının İncelenmesi: Çanakkale Örneği

*Investigation of Water Seepage from Tailing Dams, Case of Çanakkale*

Koray ULAMIŞ , Recep KILIÇ 

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı, ANKARA

Geliş (Received): 06 Haziran (June) 2017, Düzeltme (Revised): 03 Temmuz (July) 2017, Kabul (Accepted): 05 Temmuz (July) 2017

### ÖZ

Maden sahalarında işlenen cevherden artan pasa, atık havuzlarında yüzdürme metodu ile seçilerek depolanmaktadır. Atık rezervuarının planlanmasında taban zeminindeki birimlerin ve gövde inşaatında kullanılacak doğal malzemenin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi, su kaçaklarının önlenmesi amacıyla önemlidir. Bu çalışmada, Çanakkale ili, Yenice ilçesi, Kalkım beldesi güneyinde işletilmekte olan Pb-Zn tesisine ait atık depolama rezervuar alanındaki zeminlerden sızmaların sebepleri araştırılmıştır. Bu amaçla rezervuar alanındaki zeminin yatay ve düşey yöndeki değişimi ile geçirimsizlik özellikleri incelenmiştir. Atık alanı çevresinde araştırma çukurları açılarak zeminlerden örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır. Standart kompaksiyon deneyleri ile zeminlerin optimum su içeriği ve maksimum kuru yoğunluğu tespit edilmiş, sıkıştırılan örneklerin geçirimsizlik katsayıları düşen seviyeli permametre ile belirlenmiştir. Rezervuar tabanındaki kilin geçirimsizlik ve sıkışma parametreleri açısından ilgili yönetmeliklere uygun olduğu belirlenmiştir. Kil kaplama yapılmadan önce eski dere yatağındaki su drene edilmiş, fakat eski alüvyon kazılmadan üzerine baraj dolgusu inşaa edilmiş olup, su sızmalarının bu seviyeden olduğu belirlenmiştir. Gövdenin doğusundaki dere yatağında sızan su ile taşınmış ağır metaller ve demiroksit çökeltilerine rastlanmıştır. Gövdenin eski alüvyon üzerine gelen yaklaşık 100 m uzunluğundaki kesimi kaldırılmış, eski alüvyon temizlendikten sonra rezervuar alanında bulunan zemini optimum su içeriği ve maksimum kuru yoğunlukta sıkıştırılarak gövdenin yeniden inşa edilmesine karar verilmiştir. Gövdenin tamamlanıp, rezervuara suyun dolmasından sonra sızıntının kesildiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Atık Barajı, Çanakkale, Çevre, Geçirimsizlik, Sıkışma, Sızıntı.

### ABSTRACT

*The waste material extracted after ore mining process is floated in the tailing dams within the mining plants. In order to prevent possible water seepage, the geotechnical characteristics of natural building materials of the dams and foundation soils must be determined for the design of reservoir. In this study, the reasons of water seepage from the waste disposal reservoir of Pb-Zn mining plant located at southern Çanakkale, Kalkım town were investigated. In this context, horizontal and vertical distribution and the permeability of the foundation soils at the reservoir area were determined by trial pits, disturbed/undisturbed sampling and laboratory testing. The optimum water content and maximum dry density of the soils have been tested by standard compaction tests. Moreover, the permeability coefficient of the same soils was tested by falling head permeameter. The clay lining beneath the reservoir is properly compacted based on the related regulations with no permeability problem. However, the seepage from the reservoir is found to be due to the alluvial soils of the stream bed which is not excavated before the construction. Heavy metal and oxidated residual materials were observed in the stream bed. A total length of 100 m of the embankment located*

*on the alluvial soil was removed. This portion of the embankment was re-compacted using the clayey soils with optimum water content and maximum dry density. The seepage from the embankment is completely prevented after re-compaction with a full reservoir.*

**Keywords :** *Tailing Dam, Çanakkale, Environment, Permeability, Compaction, Seepage.*

## GİRİŞ

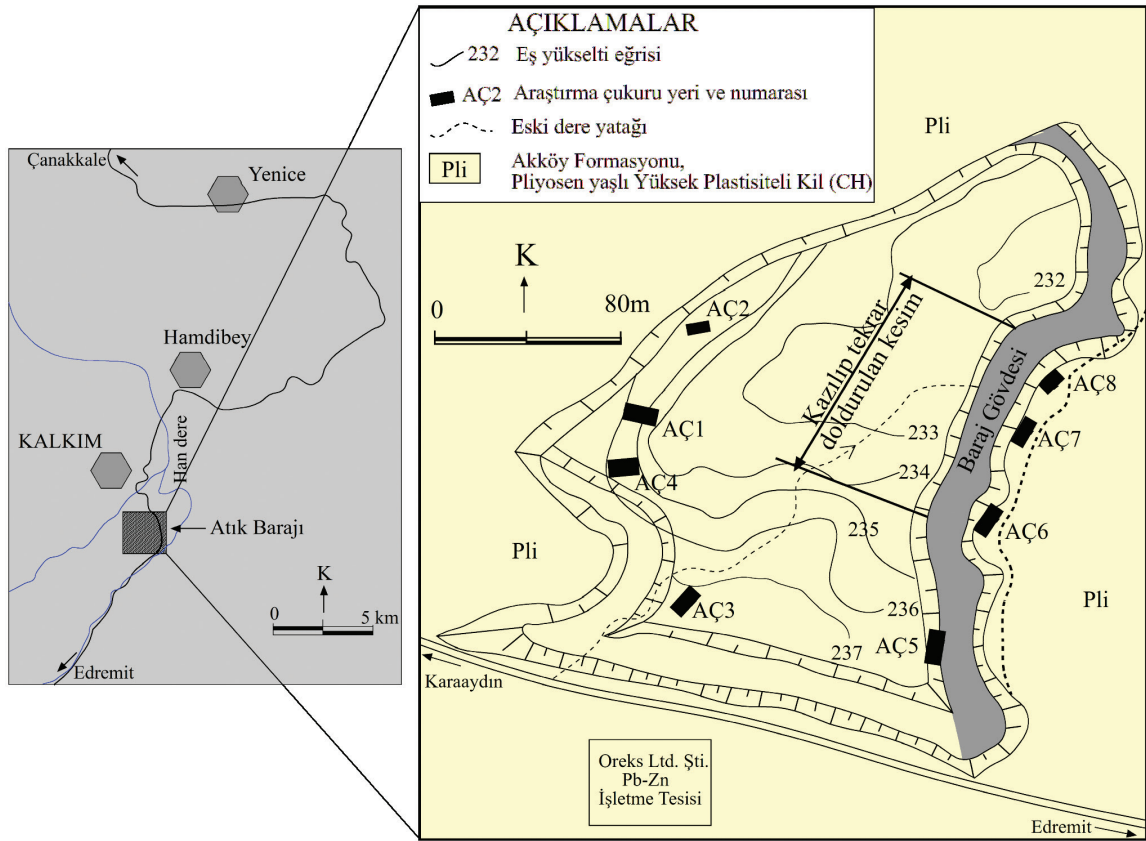
Cevher zenginleştirme tesislerindeki atık depolama alanlarının amacı, işlenen malzemedan artan pasanın çevreye olumsuz bir etki yaratmadan suda çöktürülerek toplanmasını sağlamaktır. Pasanın çevreye ve yeraltı suyuna olumsuz etkisini önlemek amacı ile atık havuzunun temeli sıkıştırılmış geçirimsiz malzeme ile kaplanmalı ve geçirimsizliği sağlayacak bir baraj gövdesi projelendirilmelidir. Rezervuar temelini ve gövde malzemesinin sıkıştırılması ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Johnson ve Sallberg, 1960; Hilf, 1975; Cedergren, 1989; Holtz, 1989; TRB, 1990). Rezervuar ve baraj gövdesinden kaynaklanabilecek su kaçakları ve çevresel etkileri de ayrıca incelenmiştir (ICOLD, 1981; TRB, 1990; McGuffey vd., 1990; Dougherty ve Hall, 1995; Sharma ve Busaidi, 2001; Ghobadi vd., 2005; Yılmaz ve Atmaca, 2006; Kılıç, 2007; Ulamış vd., 2013).

Bu çalışmada, Çanakkale ili, Kalkım beldesi güneyinde işletilmekte olan Pb-Zn cevher zenginleştirme tesisine ait atık depolama rezervuarının temel zemini ile baraj gövdesinin geçirimsizlik ve sıkışma özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla inceleme alanında araştırma çukurları açılarak örnekler alınmış ve bu örneklerin geçirimsizlik ve sıkışma özellikleri laboratuvarında

belirlenmiştir. Arazi incelemelerinde rezervuarın kuzeyinde Han Deresi'nin yan kolu olan bir dere yatağında siyah ve sarımsı atıkların çökelmiş olduğu gözlenmiştir. Rezervuar tabanındaki eski dere yatağının alüvyonlarından sızıntı olduğu zemin profillerine göre belirlenmiş ve önlenmesi için öneriler getirilmiştir.

## JEOLOJİ

İnceleme alanı ve çevresindeki birimler; Miyosen yaşlı Kalkım Volkanitleri, Pliyosen yaşlı Akköy formasyonu ve Han Deresi alüvyonlarıdır. Kalkım Volkanitleri, kırmızımsı kahverengi andezit, grimsi yeşil renkli tuf ve aglomeradan oluşur. Akköy formasyonu altta konglomera ile başlayarak, üst kesimlerde birbiri ile geçişli kumtaşı, kıltaşı ve marndan oluşur (Erentöz, 1975; Gözler vd., 1984; Orgün vd., 2005). Han Deresi ve yan kollarında ise çakıl, kum, silt ve kilden oluşan güncel alüvyon yer alır. İnceleme alanında Akköy formasyonu'na (Şekil 1) ait kahverenkli kil içinde yer yer grimsi yeşil kum bantları ve kalınlığı en fazla 1.0 m olan alüvyon bulunmaktadır (Kılıç, 2007). İnceleme alanı ve yakın çevresindeki cevherleşmenin kökeni ve yeraltı modellenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Anıl, 1984; Tufan, 2003; Akıska vd., 2013a, 2013b).



Şekil 1. İnceleme alanının konumu ve jeoloji haritası.

Figure 1. Location and geological map of the study area.

## ARAZİ İNCELEMELERİ

İnceleme alanındaki kahverenkli kil ile içindeki kum mercекlerinin düşey ve yatay dağılımını belirlemek, yeraltı suyu seviyesini ölçmek, olası su kaçaklarının olduğu seviyeleri belirlemek ve örnek almak amacı ile derinlikleri 5.0 m ile 8.5 m arasında değişen 8 adet araştırma çukuru açılmıştır (Şekil 2). Göl alanı batısında açılan çukurlarda en fazla 1.0 m kalınlıktaki alüvyonun altında yeşilimsi kum bantları içeren kahverenkli kil gözlenmiştir. Kalınlığı 7.5 m'ye varan baraj dolgu malzemesi altında alüvyon ve mercek sel kum bantlı kahverengi kil kesilmiştir.

## LABORATUVAR İNCELEMELERİ

Zeminlerin sınıflama, geçirimsizlik, sıkışma ve fiziksel özellikleri laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir (TS 1900-1, 2006; ASTM, 2012). Kahverenkli, yüksek plastisiteli silt ve killerin maksimum kuru yoğunlukları  $1.69 \text{ g/cm}^3$  ile  $1.77 \text{ g/cm}^3$ , optimum su içeriği ise % 16 ile % 23 arasında değişmektedir (Çizelge 1). Yeşilimsi gri siltli kumun (SM) maksimum kuru yoğunluğu  $1.73 \text{ g/cm}^3$  olup, optimum su içeriği % 10 olarak belirlenmiştir. Standard proktor moldunda optimum su içeriği ve maksimum kuru yoğunlukta sıkıştırılan kilin geçirimsizlik katsayısı

düşen seviyeli permametre deneyi ile belirlenmiş olup,  $4.97 \cdot 10^{-9}$  cm/s ile  $3.6 \cdot 10^{-8}$  cm/s arasında değişmektedir ve geçirimsiz zemin sınıfındadır.

Siltli kumun geçirimsizlik katsayısı ise  $3.33 \cdot 10^{-6}$  cm/s olup, yarı geçirimlidir.



Şekil 2. Atık rezervuar alanı ve araştırma çukuru konumları.

Figure 2. Location of the tailing dam and trial pits.

Çizelge 1. Zemin örneklerinin derinlik, doğal su içeriği, sıkışma parametreleri ve geçirimsizlik katsayıları.

Table 1. Depth, natural water content, compaction parameters and permeability coefficients of the soil samples.

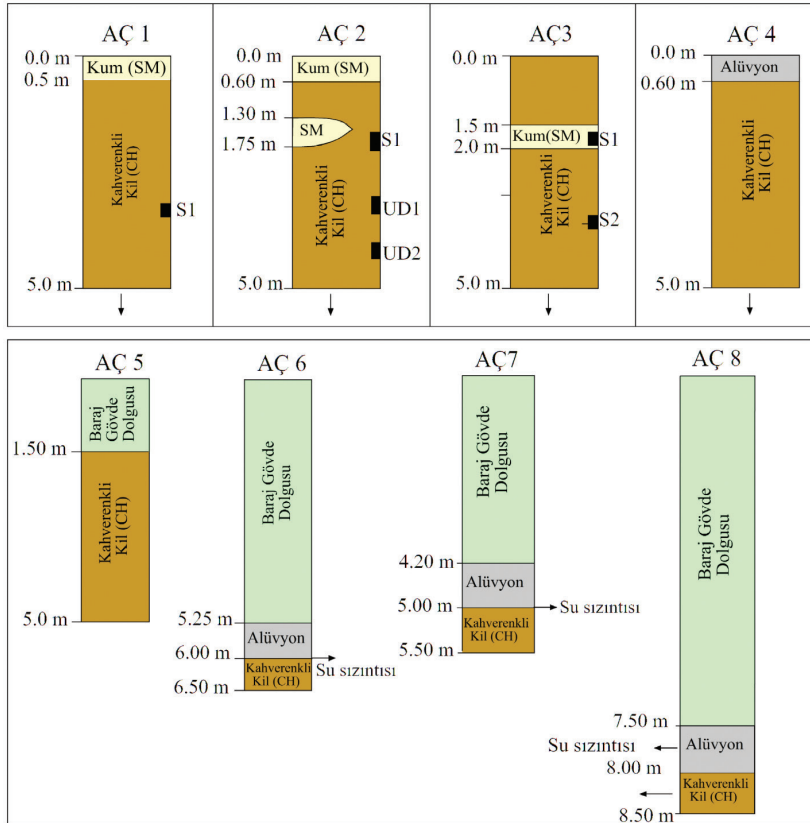
	Örnek	Derinlik, m	USCS	$\omega_{opt}$ , %	$\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	k, cm/s
AÇ1	S1	3.50	CH	21	1.72	$4.97 \cdot 10^{-9}$
AÇ2	S1	1.75	CH	18	1.77	$2.06 \cdot 10^{-8}$
	UD1	3.00	CH	23	1.76	$3.68 \cdot 10^{-8}$
	UD2	4.00	CH			-
AÇ3	S1	1.75	SM	10	1.73	$3.33 \cdot 10^{-6}$
	S2	3.50	CH	16	1.69	$1.83 \cdot 10^{-8}$
AÇ4	S1	3.50	CH	-		-
AÇ7	S1	5.50	CH	-		-



## BARAJ YERİNİN MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ

Rezervuar alanı; tabanda 30 cm kalınlıkta sıkıştırılmış kil ile geçirimsizlik sağlanarak, toplam alanı 4.16 hektar, atık depolama kapasitesi 285.000 ton olacak şekilde projelendirilmiştir (M&T Müh. Ltd. Şti., 2005). Rezervuar kazısı öncesinde alanı güneybatı-kuzeydoğu yönünde kesen dere drene edilmiş, fakat alüvyonun kaldırılmadığı anlaşılmıştır. Rezervuarın güney-güneybatısında açılan AÇ1, AÇ2, AÇ3 ve AÇ4 numaralı çukurlarda yüksek plastisiteli kahverengi kil içinde kalınlığı 30-50 cm arasında değişen yeşilimsi gri siltli kum bantları bulunmaktadır (Şekil 3). Eşyükselti

eğrileri ve alanın geçmişteki uydu görüntülerinde rezervuarın inşa edileceği alanın doğusunda eski dere yatağı bulunmakta olup, burada açılan AÇ5, AÇ6, AÇ7 ve AÇ8 numaralı araştırma çukurlarında kalınlığı 50 cm ile 100 cm arasında değişen alüvyon belirlenmiştir. Baraj gövdesinin dolgusu da kuzey kesimlerde alüvyonun üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3). İnceleme yapılan 2007 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında araştırma çukurlarında yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Baraj gövdesinin kuzey kesiminde mansap tarafında açılan AÇ6, AÇ7 ve AÇ8 numaralı çukurlarda baraj gövde dolgusu ile kahverenkli kil arasında kalan alüvyonda su kaçakları belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Baraj rezervuarı ve gövdesinde açılan araştırma çukurlarının kesitleri.

Figure 3. Sections of the trial pits at the reservoir and dam site.



Şekil 4. Baraj gövde dolgusu ile kahverengi kil arasındaki alüvyonda su kaçağı.

Figure 4. Water seepage from the alluvium between the dam fill material and brown clay.

Rezervuar alanının çevresinde arazi incelemeleri yapılarak, özellikle alüvyon malzemenin bulunabileceği kesimler belirlenmeye çalışılmıştır. Eğim güneyden doğuya doğru azalmakta olup, inceleme alanı ile ilgili hazırlanan ÇED raporlarında tabandaki kil kaplamada geçirimsizlik sorunu olmadığı belirtilmiştir. Rezervuar alanında KB-GD yönünde akan eski dere yatağındaki çakıllı, kumlu alüvyon kesim kil kaplamanın altında kalmış olup, üzerine baraj dolgusu inşa edilmiştir. Zamanla kazılarak yerine sıkışmış malzeme yerleştirilmeyen alüvyondan kaplama üzerinde çökelen artık malzemeyi de doğudaki dereye doğru taşımaya başlamıştır.

## ATIK HAVUZUNUN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Oreks Ltd. Şti. Cevher Zenginleştirme Tesisi'nde Pb-Zn cevherinin kırma, eleme ve

yıkama işlemlerinden çıkan atık su, kapalı borular ile baraj rezervuarına iletilmektedir. Katı atıkların boyutu en fazla 12 mm olup, su ile gelen atıklar rezervuar tabanında çökeltilmektedir. Yüzeyle durulan su ise işletmede kullanılmak üzere pompajla çekilerek tekrar tesise iletilmektedir. Baraj rezervuarında meydana gelen sızma ile baraj gövdesinin mansap tarafında güneybatı-kuzeydoğu yönünde akan dere içinde ağır metaller de içeren siyahımsı Pb-Zn çökelleri ile sarı-kahverengi demiroksit çökeltiler gözlenmiştir (Şekil 5a,b). Bu kirlilik deredeki canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir.

Baraj gövdesinin 100 m uzunluğundaki kesimi kazılarak geçirimsiz kil ile gövde dolgusu arasındaki alüvyonun temizlenmesi önerilmiştir. Gövdenin kaldırılan kesimi optimum su içeriği ve maksimum kuru yoğunlukta sıkıştırılıp imal edilmesi ile su kaçakları tamamıyla önlenmiştir (Kılıç, 2007). Bu öneri doğrultusunda iyileştirme yapılması ve üst kotu 238-240 m arasında değişen



gövdenin 255 m kotuna yükseltileceği 2013 tarihli ÇED raporunda belirtilmiştir (SimÇed, 2013). Bu sayede, rezervuardan kaçaklar

önlenmiş ve çevresel etkileri önlenmiştir. Tesiste üretim halen devam etmektedir.



Şekil 5. Gövde mansabındaki dere yatağında çökelen ağır metal ve demir oksit (a) ile yaşam mücadelesi veren su kaplumbağası (b).

Figure 5. Heavy metal contamination and ferro-oxidation in the stream channel at downstream of the dam structure (a) and a turtle struggling in this environment (b).

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Çanakkale ili, Yenice ilçesi, Kalkım beldesinde bulunan cevher zenginleştirme tesisindeki atık baraj rezervuarındaki kaçakların nedenlerini araştırmak amacı ile, baraj yerinin jeolojisi, zeminlerin fiziksel ve sınıflama özellikleri ve geçirgenlik katsayısı incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Rezervuar alanı ve çevresindeki temel birim kahverengi katı kilden oluşmaktadır. Kalınlığı 50 cm'yi geçmeyen kum mercekleri eğimin azaldığı kesimde bulunmamakta olup, geçirimsizlik sorunu yaratabileceği düşünülerek örnek alınmış ve yarı geçirimli olduğu tespit edilmiştir. Araştırma çukurlarında derinlikle beraber kumlu merceklerin görülmemesi de sızma problemine neden olmayacağını desteklemiştir.

Rezervuar alanının doğu kesimi hariç şevlerin topuklarında herhangi bir sızma tespit edilmemiştir. Araştırma çukurları özellikle baraj gövdesinde, şevlerinin en yüksek olduğu doğu kısımda ve eğimin azalmaya başladığı batı kısımda açılmıştır. Çukurların kazılması sırasında herhangi bir seviyeden yeraltı suyu gelişi belirlenmemiş olup, doğu kesimdeki AÇ6, AÇ7 ve AÇ8 numaralı çukurlarda katı kil ve grimsi renkli kumdan farklı olan eski alüvyon belirlenmiştir. AÇ6 numaralı çukur tam gövde üzerinde, AÇ7 ve AÇ8 ise gövdenin doğu şevlerinde, 1-2 m daha düşük kotlarda açılmıştır. AÇ6 numaralı çukurda alüvyonun bulunduğu seviyeden sızan su ile rezervuardaki suyun alt kotu yaklaşık aynı seviyededir. AÇ7 ve AÇ8 açılırken su sızıntısı gözlenirse de, kesilen birimler aynıdır.

Baraj gövdesinin kuzeyindeki dere yatağında, ağır metaller içeren siyahımsı çökeltiler ve kahverengi-sarımsı demiroksit çökeltilerine rastlanmıştır. İnceleme döneminde su kimyası için örnekleme imkanı olmamıştır.

Deredeki kirlilik seviyesinin belirlenmesi ve takibinin yapılabilmesi için sistematik su kimyası analizleri yapılması uygun olacaktır.

Baraj gövdesinin kuzey kesiminin 100 metrelik kısmının kaldırılarak optimum su içeriği ve maksimum kuru yoğunlukta sıkıştırılması ile su kaçaklarının önlenmesi mümkün olacaktır. Araştırma çukurlarında belirlenen geçirimsiz kahverengi kilin dolguda kullanılması uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Akıska, S., Demirela, G., Sayılı, S., 2013a. Geology, mineralogy and the Pb, S isotope study of the Kalkım Pb-Zn±Cu deposits Biga Peninsula, NW Turkey. *Journal of Geosciences*, 58, 279-396.
- Akıska, S., Sayılı, S., Demirela, G., 2013b. Three-dimensional subsurface modeling of mineralization: a case study from the Handeresi (Çanakkale, NW Turkey) Pb-Zn-Cu deposit. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, 574-587.
- American Standards of Testing Materials (ASTM), 2012. Soil and Rock (I): D420 - D5876. Volume 04.08. 1830 p.
- Anıl, M., 1984. Yenice (Arapuçandere -Kurttaş-Sofular ve Kalkım Handeresi) Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinin köken sorunu ve Tersiyer volkanizmasıyla ilişkileri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 20, 17-31.
- Cedergren, H. R., 1989. Seepage, Drainage and Flow Nets. 3rd Ed. Wiley, NY, 254-291 p.
- Dougherty, T. C., Hall, A.W., 1995. FAO Irrigation and Drainage. Paper 53. HR Wallingford, 106 p.
- Erentöz, C., 1975. 1/500 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. MTA Ankara (yayımlanmamış).
- Ghobadi, M. H., Khanlari, G. R., Djalaly, H., 2005. Seepage problems in the right abutment of the Shahid Abbaspour dam, southern Iran. *Engineering Geology*, 82, 119-126.

- Gözler, Z., Ergül, E., Akçören, F., Genç, Ş., Akat, U., Acar, Ş. 1984. Çanakkale Boğazı doğusu-Marmara Denizi güneyi-Bandırma-Balıkesir-Edremit ve Ege Denizi arasındaki alanın jeolojisi ve kompilasyonu. MTA Derleme Rapor No: 7430, Balıkesir (yayımlanmamış).
- Hilf, J. W., 1975. Compacted fill. Chapter 7. In: Foundation Engineering Handbook, Winterkorn and Fang, eds, Van Nostrand Reinhold, NY, 244-311.
- Holtz, R. D., 1989. NCHRP Synthesis of Highway Practice 147: Treatment of Problem Foundations for Highway Embankments. TR, NRC, Washington DC, 72 p.
- ICOLD (International Commission on Large Dams), 1981. Dams and the Environment, Bulletin 35 (<http://www.icold-cigb.org/GB/publications/bulletins.asp>).
- Johnson, A.W., Sallberg, J. R., 1960. Factors that influence field compaction of soils. Bulletin 272, HRB. NRC, Washington DC, 206 p.
- Kılıç, R., 2007. Oreks Madencilik Ltd. Şti. Kalkım Flotasyon Tesisi Atık Baraj Yeri (Çanakkale, Yenice) Zeminlerinin Geçirgenlik Özellikleri. AÜ Döner Sermaye Rapor, 15 s (yayımlanmamış)
- McGuffey, V. C., Bellatty, T. A., Haas, W.M., 1990. Environmental considerations. In: TRB Guide to Earthwork Construction. Chapter 8, 83-91 p.
- M&T Müh. Ltd. Şti., 2005. Oreks Madencilik Ltd. Şti. Maden Zenginleştirme Tesisi, Çanakkale İli, Yenice İlçesi, Kalkım Beldesi, Karaaydin Köyü Nihai Çed Raporu. 104 s (yayımlanmamış).
- Orgün, Y., Gültekin, A. H., Önal, A., 2005. Geology, mineralogy and fluid inclusion data from the Arapucan Pb-Zn-Cu-Ag deposit, Çanakkale, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 25, 629-642.
- Sharma, R. S., Al-Busaidi, T. S., 2001. Groundwater pollution due to a tailings dam. Engineering Geology, 60, 235-244.
- Sim-Çed, Sicimoğlu Müh. İnş. Ltd. Şti., 2013. OREKS Madencilik Ltd. Şti. çinko, kurşun ve bakır zenginleştirme tesisi kapasite artırımı ve atık depo alanları projesi çevresel etki değerlendirmesi başvuru dosyası. 36 s (yayımlanmamış).
- TRB (Transportation Research Board), 1990. Guide to Earthwork Construction. State of the Art Report, 8. Washington DC, 119 p.
- TS 1900-1., 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneylemleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, 93 s, Ankara.
- Tufan, A. E., 2003. Karaaydin Köyü (Yenice, Çanakkale) kurşun-çinko zehurlarının jeolojisi, parajenezi ve oluşumu. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (1- 2), 95-106.
- Ulaşım, K., Kılıç, R., Bilgehan, R. P., 2013. Atık barajlarında su kaçakları ve iyileştirme yöntemleri, Kalkım (Çanakkale) örneği. Baki Canik Su Medeniyeti Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.11, Aksaray.
- Yılmaz, A., Atmaca, E., 2006. Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: a case study in Sivas, Turkey. Environmental Geology, 50, 677-689.







Araştırma Makalesi / Research Article

## Karagöl (Borçka-Artvin) Gölü ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi

### Hydrogeochemical Investigation of Karagöl (Borçka-Artvin) Lake and Its Vicinity

Şehnaz ŞENER , Hülya KİBAR 

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ISPARTA

Geliş (Received): 11 Mayıs (May) 2017, Düzeltme (Revised): 27 Temmuz (July) 2017, Kabul (Accepted): 03 Ağustos (August) 2017

### ÖZ

Bu çalışmada, Karagöl ve çevresinin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelenerek bölgedeki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri, kullanım durumları ve kirlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışma alanında Üst Kretase-Kuvaterner zaman aralığında farklı yaş ve litolojiye sahip kaya birimleri yüzeylemektedir. Çalışma alanında yeraltı suyu rezervuarları alüvyon ve içerisinde yer yer kireçtaşı, kumtaşı seviyeleri olan kırık ve çatlaklı magmatik kaya birimleri olup en önemli yüzey suları ise Çoruh Nehri ve Karagöl'dür. Çalışma alanındaki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla, yüzey suyu ve kaynak suyu örneklerinin hidrojeokimyasal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bölgedeki su kaynaklarının, Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve NaHCO<sub>3</sub> sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Su tiplerinin gelişmesindeki ana etken kayaç-su etkileşimi olup genel olarak Na ve Ca iyonlarının artışı Na-Ca feldspatlar ile, Mg iyon artışı ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat minerallerinin ayrışması sonucunda gerçekleşmektedir. Su örneklerindeki baskın HCO<sub>3</sub> iyonu; kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldspat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineralleri ile ilişkili kaya-su etkileşimi sonucunda artış göstermektedir. Su kalitesi bakımından incelendiğinde çalışma alanındaki suların tamamı I. su kalite sınıfında yer almakta olup yapılan değerlendirmelere göre içme ve sulama suyu olarak kullanıma uygundur.

**Anahtar Kelimeler:** Ayrışma, Hidrojeokimya, Hidrojeoloji, Karagöl.

### ABSTRACT

In this study, geological and hydrogeological properties of Karagöl and its surroundings were investigated and hydrogeochemical properties and quality of waters were evaluated. The rock units are observed with different age and lithology in the Upper Cretaceous-Quaternary time interval in the study area. The groundwater reservoirs are alluvium and fractured-fissured magmatic rock units with locally limestone, sandstone levels. The most important surface waters are Çoruh River and Karagöl Lake in the region. In order to determine hydrogeochemical properties of the surface and spring waters, hydrochemical analyses were performed. According to the obtained results, the water resources are in Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, and NaHCO<sub>3</sub> facieses. The main factor in the development of water types is water-rock interactions. In general, increase of Na and Ca ions is related to Na-Ca feldspars alteration, while the Mg ions are mainly due to the weathering of silicate minerals such as biotite, amphibole, pyroxene. On the other hand, dominant HCO<sub>3</sub> ion shows an increase associated with limestone and clayey limestone units, and also with the secondary calcite minerals which are formed as a result of the feldspar mineral alteration. Water resources are classified as 1<sup>st</sup> water quality in terms of all parameters and suitable for drinking and irrigation.

**Keywords:** Weathering, Hydrogeochemistry, Hydrogeology, Karagöl.

## GİRİŞ

İnsanoğlunun yarattığı olumsuz koşullar nedeniyle kullanılabilirliğini yitiren yüzey sularının en önemli alternatifi yeraltısularıdır. Günümüzde yüzey sularının kullanıma kazandırılması kolay olmasına rağmen bu sular, bölgesel kirleticilerden çok daha kolay etkilenmektedir. Bu nedenle su ihtiyacının karşılanmasında yeraltısuları daha önemli hale gelmiştir. Ancak, yeraltısularının sürdürülebilir kullanımı, plansız yönetimlere bağlı olarak aşırı çekimler ve kirleticiler sebebiyle tehlike altına girmektedir. Su kaynaklarının en etkin ve doğru şekilde kullanımı doğru su yönetimlerinin planlanmasına bağlıdır. Bu da kapsamlı hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemelerin yapılması ile mümkündür.

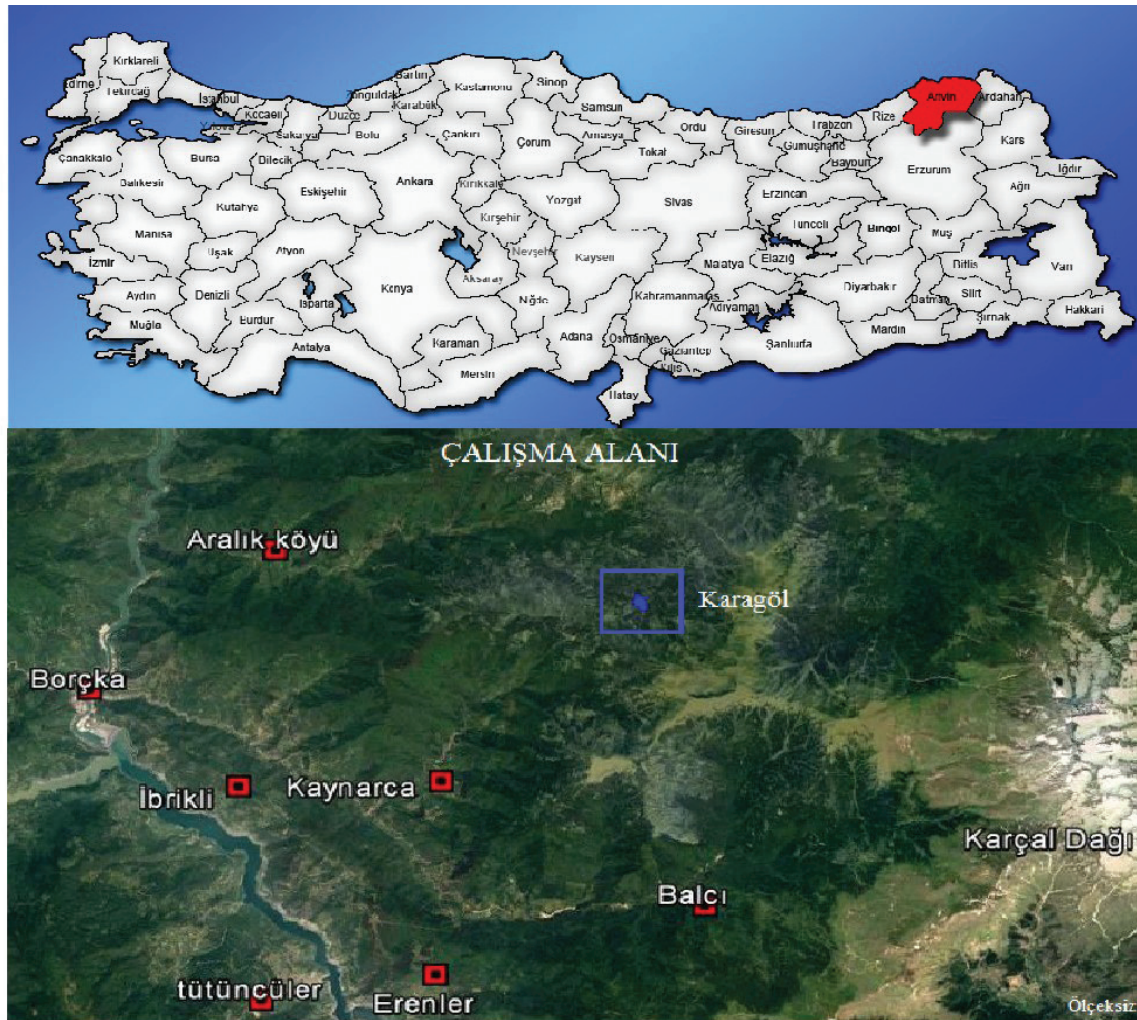
Artvin ili Borçka ilçesi sınırları içinde yer alan Karagöl, 368 hektar alana sahip olup, 14.08.2002 tarihinde Bakanlar Kurulu'na tabiat parkı olarak ilan edilmiştir. Savgule ve Heba Dereleri sularını Karagöl'e taşıyarak gölün beslenmesini sağlamaktadır. Gölde biriken sular, bir drenajla kuzeydeki küçük göle oradan da bir başka drenajla Cosidenara Deresi'ne bağlanarak inceleme alanını terk etmekte ve nihayetinde Çoruh Nehri'ne ulaşmaktadır. Çoruh Nehri ve Karagöl çalışma alanındaki en önemli yüzey sularıdır. Ayrıca bölgede çok sayıda kaynak

çıkışı gözlenmektedir. Ancak, yüzey suyu ve yeraltısuyu potansiyeline sahip olan bölgedeki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri daha önce incelenmemiş olup mevcut durumdaki kalitesi bilinmemektedir. Bu çalışmada Karagöl ve çevresinin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek çalışma alanındaki yüzey suyu ve kaynakların kimyasal özelliklerinin ortaya koyulması, kullanılabilirlik ve kalite durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### İnceleme Alanının Tanıtılması

Çalışma alanı olarak seçilen Karagöl ve çevresi, Artvin ilinin Borçka ilçesi sınırları içinde yer almakta olup yaklaşık 410 km<sup>2</sup> bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı Borçka merkez, Aralık köyü, İbrikli köyü, Kaynarca köyü, Balcı köyü, Erenler ve Tütüncüler ile çevrili olup F47A2, F47A3, F47B1, F47B2, F47B3 ve F47B4 paftaları içinde yer almaktadır. Karagöl ilçe merkezine 25 km uzaklıktadır. Borçka'nın 2007 Yılı Genel Nüfus Sayımı verilerine göre toplam nüfusu 29.079'dur. İlçe merkezinin nüfusu 10.433, köy nüfusu ise 18.646 kişidir. Köy nüfusunun büyük bir kısmı çay, fındık, tütün ve orman ürünleriyle geçimini sağlamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

## Yöntem

Çalışma alanının, önceki çalışmalardan ve arazi çalışmalarından yararlanılarak 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2). Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak bölgedeki geçirimli ve geçirimsiz birimler ayırtlanmıştır. Çalışma alanındaki yüzey ve kaynak sularının hidrojeokimyasal özelliklerini, kalitesini ve kullanım koşullarını belirlemek amacıyla Mayıs (2016) döneminde

17 adet su örneği alınmıştır. Örneklerin sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) değerleri çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazları kullanılarak yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin katyon analizleri, Bureau Veritas Mineral (Kanada) laboratuvarı'nda ICP-MS cihazı ile, anyon analizleri ise Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi

laboratuvarında spektrofotometrik yöntem ve titrimetrik yöntemler kullanılarak yaptırılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları kullanılarak, çalışma alanındaki suların iyon özellikleri, kullanım amaçları (içme ve sulama) ve kalite özellikleri incelenmiştir.

## JEOLOJİ VE HİDROJEOLOJİ

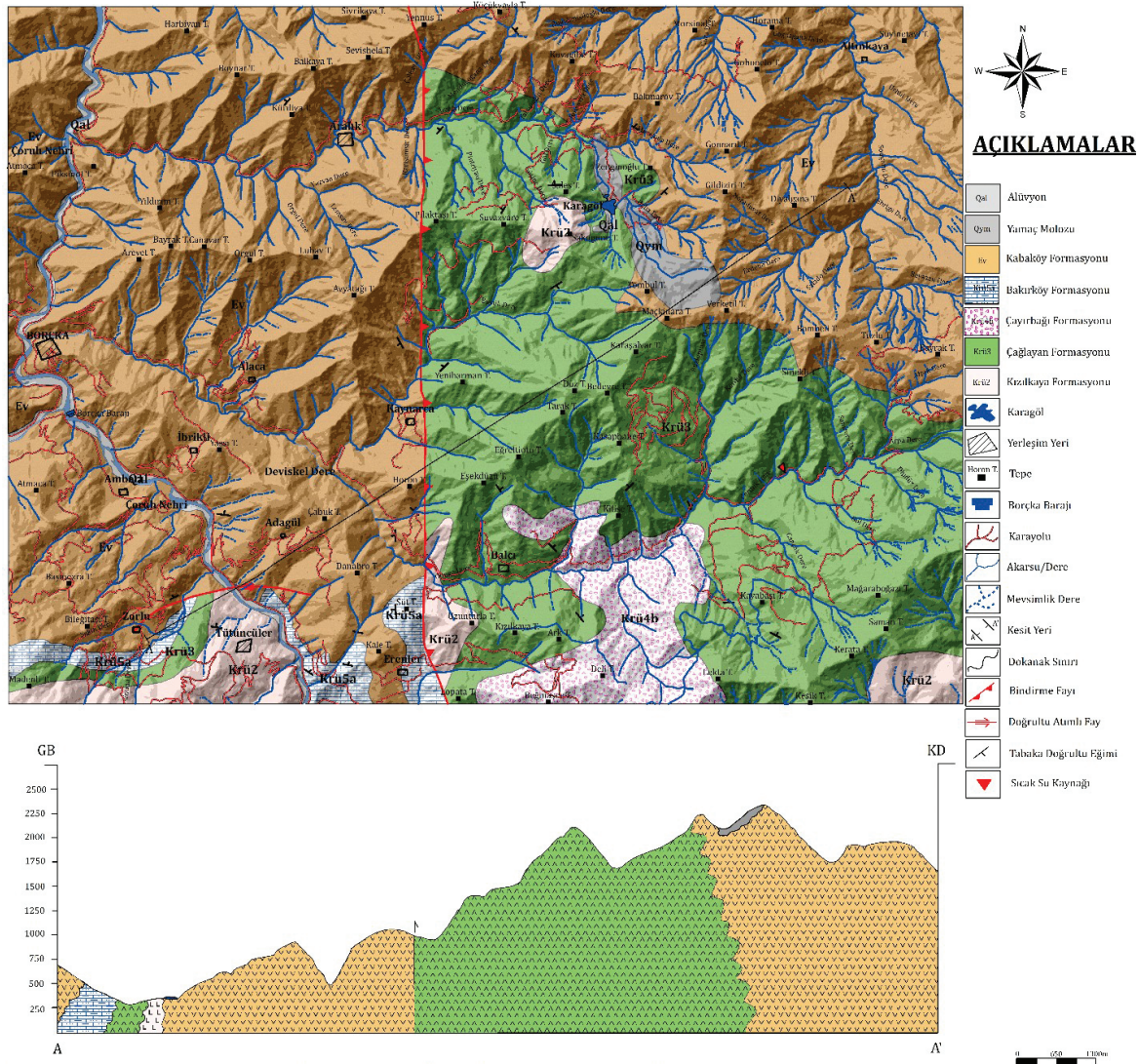
Karagöl ve çevresi, jeotektonik bakımdan Doğu Karadeniz Dağları (Doğu Pontitler) içerisinde yer almaktadır. Bu kütleler Mesozoyik'te başlayıp Neojen sonlarına kadar süren Alp orojenezinin ve aynı dönemlere rastlayan volkanizmanın izlerini taşır (Kopar ve Sever, 2008). Saha genelinde, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı toleyitik ve kalko-alkalen kayalar izlenmektedir. Özellikle Üst Kretase dönemi bu bölümde yoğun şekilde volkanik aktivitenin görüldüğü dönem olup, asit ve bazik nitelikte periyodlarla kendini göstermiş, bu zamanın sonlarında ise volkanik aktivite denizaltı volkanizması şeklinde gelişme göstermiştir. Paleosen sonlarına doğru devam eden orojenik etkinlik Eosen'de de devam ederek denizel ortamda gerçekleşen yayılmaya bağlı olarak volkano-tortul istiflerin oluşmasına neden olmuştur (Güven ve Tosun, 1986; Yılmaz vd., 1998).

Çalışma alanının 1/50000 ölçekli jeoloji haritası arazi ve literatür çalışmaları sonucunda hazırlanmış ve Şekil 2'de sunulmuştur. Çalışma alanı ve yakın çevresinin en yaşlı birimi Mesozoyik yaşlı Kızılkaya formasyonudur. Bu birimin üzerine sırasıyla Mesozoyik yaşlı Çağlayan formasyonu, Çayırbağı formasyonu ve

Mesozoyik-Senozoyikyaşlı Bakırköy formasyonu gelmektedir. Bakırköy formasyonunun üzerinde Senozoyik yaşlı Kabaköy formasyonu uyumsuz olarak yerleşmiştir. Tüm bu birimleri uyumsuz olarak örten Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ile alüvyon birimleri bulunmaktadır.

Kızılkaya formasyonu; gri, beyaz rekli riyodasitik-dasitik karakterli lav ve piroklastlarından oluşur. Lavlarda yer alan kolonlu yapılar ve yer yer de akıntılı (flüvdal) yapılar gözlenir. Hidrotermal girdiler sonucu sülfürlü mineralizasyon oluşumları ve buna bağlı olarak da yan kayalarda yer yer hidrotermal ayrışmalar (silişleşme, serizitleşme ve killeşme) mevcuttur. Formasyon içerisinde; piritleşme, silisleşme, kaolenleşme, serizitleşme, kloritleşme ve limonitleşme izlenen alterasyon ürünleridir. Kızılkaya formasyonu bazik volkano-tortul karakterli Çağlayan formasyonunu uyumlu olarak üzerler. Kızılkaya formasyonu içinde, fosil içerir tortul seviye bulunmadığından formasyonun yaşı göreceli olarak belirlenmiştir. Kızılkaya formasyonu çalışma alanı dışında gözlenen Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak formasyonunu ve Kampaniyen-Mestristiyen yaşlı Çağlayan formasyonunu uyumlu olarak üzerlediğinden yaşı göreceli olarak Santoniyen-Kampaniyen (Üst Kretase) olarak belirlenmiştir (Yılmaz vd., 1998). Çağlayan formasyonu; genellikle gri, yeşil renkli andezitik bazalt, bazalt lav ve piroklastları ile birlikte ardalanmalı olarak bulunan kırmızı-bordo renkli çamurtaşı, gri renkli marn ve kumtaşlarından oluşur. Formasyon içindeki tabakalarda bindirmenin etkisiyle gelişmiş dalgalı kıvrım yapıları görülür. Ayrıca, bazaltlarda yastık lav yapıları gelişmiştir.





Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası ve enine kesiti.

Figure 2. Geological map and cross-section of the study area.

Çağlayan formasyonu riyodasit-dasitik lav ve piroklastlarından oluşan Kızılkaya formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunur. Çağlayan formasyonunun yaşı, içerdiği fosil bileşenlerine göre Kampaniyen-Maestrihtiyen (Üst Kretase) olarak belirlenmiştir (Yılmaz vd., 1998). Birim, Borçka ilçesinin doğusunda, Karagöl'ün kuzeyinde, batısında ve güneyinde oldukça geniş bir alanda gözlenmektedir. Çayırbağı formasyonu; fazla yaygın olmayan riyolit ve riyodasitik karakterli lav ve piroklastlarından meydana gelmiştir. Volkanojenik dom yapıları iyi gelişmiştir. Lavlarda prizmatik kolon yapıları ve akışkan yapılar görülmektedir. Çayırbağı formasyonunun üzerinde yanal geçişli ve uyumlu olarak Bakırköy formasyonu gelmektedir. Çayırbağı formasyonunun içinde yaş verebilecek tortul seviyeler mevcut değildir. Ancak, Kampaniyen-Maestrihtiyen yaşlı Çağlayan formasyonunun üzerinde uyumlu olarak yer alması ve Maestrihtiyen-Paleosen yaşlı Bakırköy formasyonları ile de uyumlu olarak örtülmesi dolayısıyla formasyonun yaşı Maestrihtiyen olarak kabul edilmiştir (Yılmaz vd., 1998). Formasyon, çalışma alanında Balçı beldesinin kuzeydoğu ve güneydoğusunda dar alanlarda izlenmektedir. Bakırköy formasyonu; Borçka ilçesi Cankurtaran Geçidi yöresinde izlenen türbiditik karakterli bir birim olup genellikle killi kireçtaşı, marn, şeyl ve az oranda da kumtaşlarından oluşmuştur. Bakırköy formasyonu, Çayırbağı formasyonunun üzerinde yanal geçişli ve uyumlu olarak bulunmakta iken üstte Kabaköy formasyonu birim üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Bakırköy formasyonunun yaşı içerdiği fosil türlerine göre Maestrihtiyen-Paleosen olarak belirlenmiştir (Yılmaz vd., 1998). Formasyon çalışma alanında Zorlu beldesinin güneyinde ve Erenler beldesinin kuzey ve batısında izlenmektedir. Kabaköy formasyonu; kırmızı bir çimento matriksi ile

tutturulmuş iri çakıllı konglomera seviyesi ile başlar. Çakıllar çoğunlukla bazalt, dasit ve granitten oluşur. Konglomera seviyesinin üzerine kumtaşı ve bol nummilitli kireçtaşları gelir. Toplam olarak 20-30 m kadar bir kalınlık gösteren bu taban seviyesi üzerinde kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakalı andezit lav ve piroklastları yer almaktadır. Kabaköy formasyonu bazik volkano-tortul bir seriden oluşan Çağlayan formasyonunun üzerine transgresif diskordan olarak gelmektedir. Üstte ise Kuvaterner birimler tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Çalışma alanında Borçka ilçesi, Muratlı ve Camili yörelerinde oldukça geniş bir alanda yüzeylenmektedir.

Kuvaterner birimlerden yamaç molozu; Karagöl'ün kuzey-güney doğrultusunda yer alan, tutturulmamış ve az tutturulmuş çamurtaşı, kumtaşı özellikle olan iri malzemelerden oluşmuştur. Birim genellikle üzerinde yer aldığı birimin daha üst kotlarda mekanik olarak ayrışması ve su-rüzgar etkisiyle aşağı doğru taşınması sonucu oluşmuştur. Alüvyon ise yine Karagöl'ün çevresinde, akarsu yataklarında özellikle Çoruh Nehri'nin kenarlarında yüzeylenmektedir. Birim çakıl, kum, kil ve silt çökellerinden oluşmuştur. Bunlar, akarsuların getirdikleri güncel malzemelerdir. Birimin yaşı stratigrafik konumuna göre Kuvaterner'dir.

Çalışma alanında bulunan litolojik birimler, fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından Az Verimli Gözenekli Akifer, Yersel Verimli Çatlaklı Kaya Akiferi ve Akifüj olmak üzere üç ayrı grupta incelenmiştir. Çalışma alanında yer alan Bakırköy formasyonu genel olarak şeyl, marn ve killi kireçtaşı içeriği nedeniyle "Akifüj" olarak; Kabaköy formasyonuna ait andezit, bazaltik lav, kireçtaşı, kumtaşı; Çayırbağı formasyonuna ait riyolitik, riyodasitik lav; Çağlayan formasyonuna



ait bazaltik lav, piroklast, çamurtaşı, kumtaşı çökelleri; Kızılıkaya formasyonuna ait dasit, riyodasit lav içerikleri ve kırık-çatlaklı yapıları nedeniyle “Yersel Verimli Çatlaklı Kaya Akiferi” olarak; alüvyon ve yamaç molozları ise bölgedeki yayımları ve litolojik özellikleri dikkate alınarak “Az Verimli Gözenekli Akifer” olarak sınıflandırılmıştır.

Çalışma alanı içerisindeki en önemli yüzey suyu noktaları Çoruh Nehri ve Karagöl'dür. Elektrik üretmek amacı ile inşaa edilmiş Borçka Barajı, çalışma alanındaki önemli bir su yapısıdır. Ayrıca bölgede çok sayıda sürekli ve mevsimsel yüzeysel akış ile su kaynakları bulunmaktadır. Ancak, çalışma alanında yeraltısuyu derinliğini ve akifer karakteristiklerini belirlemede yardımcı olacak sondaj kuyusu ve/veya sığ kuyu bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında bölgenin yeraltısuyu seviye ve dinamiği ile birlikte akiferin permeabilite, transmisibilite, depolama katsayısı gibi karakteristik özellikleri hakkında bilgi elde edilememiştir.

## HİDROJEOKİMYA

Hidrojeokimyasal değerlendirmede kullanılan su örneklerinin alındığı lokasyonlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Çalışma alanı içerisinde bulunan yüzey ve kaynak sularının iyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sertlik, hidrojen iyonu aktivitesi (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sodyum iyon yüzdesi (%Na) gibi genel kimyasal özellikler değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, suların sınıflandırılmasında su örneklerinin major anyon ve katyon ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$ ) analiz sonuçlarından yararlanılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca su örneklerinin major iyonlara ait analiz sonuçları kullanılarak çalışma alanının hidrojeokimyasal

özellikleri harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3).

Suların sertliği kalsiyum, magnezyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg sülfat, Ca-Mg nitrat ve +2 veya daha yüksek değerliğe sahip metal katyonlarından ( $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ) ileri gelmektedir (Şahinci, 1991). Ülkemizde suların sertlik derecesini belirtmek için Fransız Sertlik Derecesi ( $^{\circ}\text{F}$ ) kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki suların toplam sertlik değerleri  $1.82^{\circ}\text{F}$  ile  $16.2^{\circ}\text{F}$  arasında değişmekte olup KG-14 nolu su örneği ‘az sert sular’ sınıfında, KG-12, KG-13, KG-17 nolu su örnekleri ‘yumuşak sular’ sınıfında, diğer tüm su örnekleri ise ‘çok yumuşak sular’ sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanındaki su örneklerin pH değerleri 7.28 – 9.21 arasında olup genel olarak “Bazik” ve “Bazik karakterli” sular sınıfında yer almaktadır (Çizelge 1). Çalışma alanından alınan su örneklerinin özgül elektriksel iletkenlik değerleri yerinde ölçümler ile belirlenmiş olup 53–150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki yüzey sularının analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değerleri genel olarak 0.15 ile 0.37 arasında, % Na değerleri ise 5.54– 22.70 arasında değişmektedir.

## Suların Kimyasal Sınıflaması

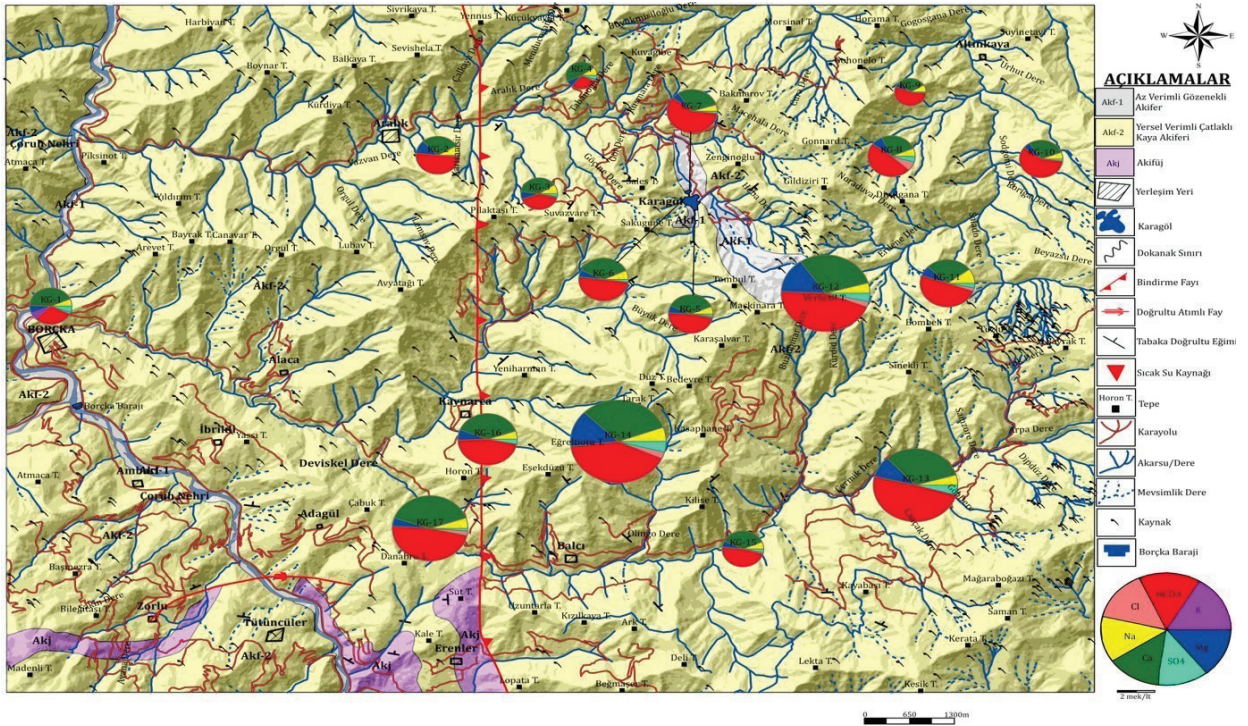
Çalışma alanındaki yüzey ve kaynak sularını temsil eden su örneklerine ait analiz sonuçları Piper Diyagramı üzerinde gösterilerek su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir (Şekil 4). Buna göre, KG-1 nolu su örneği dışındaki tüm yüzey ve kaynak suyu örnekleri; alkali toprak elementlerin toplamı (Ca+Mg), alkali elementlerin toplamından (Na+K) büyük, zayıf asit kökleri toplamının ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ) güçlü asit köklerinin toplamından ( $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ ) büyük ve karbonat sertliği % 50'den

Şener, Kibar

fazla olan suları temsil etmektedir. Piper Diyagramı'na göre su örneklerinin tamamının genel olarak Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. KG-1 nolu su örneği ise Ca-Na-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde yer almaktadır.

Bu durum, su örneklerinin kayaç-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Genel olarak çalışma alanında yersel verimli çatlaklı kaya akiferini temsil eden formasyonlar; andezit, dasit ve bazalt lavları ile piroklastik kayaçlar ve yer yer tabakalı kumtaşı, kireçtaşı, marn seviyelerini içermektedirler. Ortaç ve mafik magmatik kayaçlarda yoğun olarak Na-Ca feldspat ve koyu renkli silikat mineralleri (biyotit, amfibol,

piroksen) hakimdir. Genel olarak Na ve Ca iyonlarının artışı Na-Ca feldspatlar ile, Mg iyonları ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat minerallerinin ayrışması sonucunda gerçekleşmiş olabilir. Su örneklerindeki baskın HCO<sub>3</sub> iyonu ise bölgede yer yer çökelmiş olan kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldspat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineraleri ile ilişkili kaya-su etkileşimi sonucunda artış göstermektedir. Ayrıca, bölgedeki magmatik kayaçların kırık ve çatlaklarında yoğun olarak kalsit dolguları bulunmakta olup, bu çatlaklar içerisindeki yeraltısuyu, kalsit mineralini kolaylıkla çözerek HCO<sub>3</sub> iyonu bakımından zenginleşmektedir.



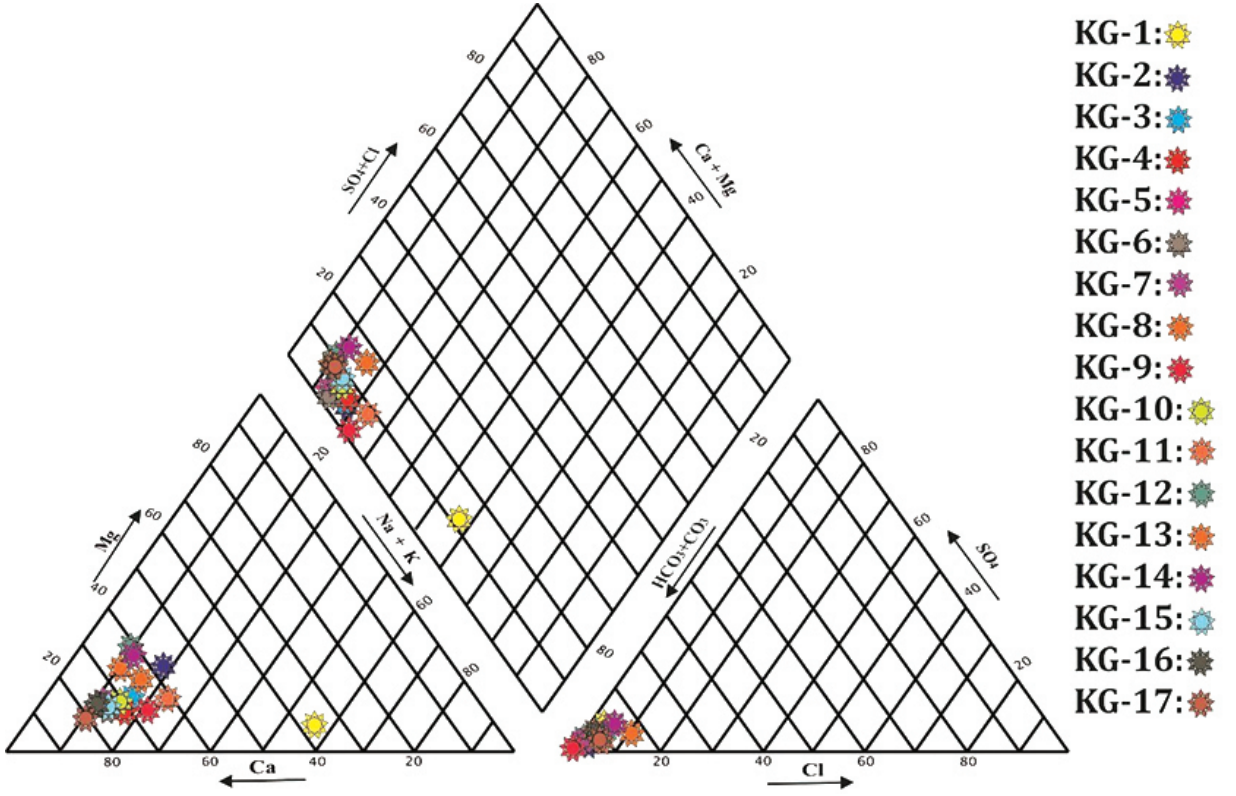
Şekil 3. Su ana iyon konsantrasyonları dağılımlarının harita üzerinde gösterimi.

Figure 3. Presentation of major ion concentration distributions on the map.

Çizelge 1. Su örneklerinin hidrojeokimyasal özellikleri.  
Table 1. Hydrogeochemical properties of water samples.

Mevki	Numune Tipi	Num no	Na <sup>+</sup> mek/l	K <sup>+</sup> mek/l	Ca <sup>++</sup> mek/l	Mg <sup>++</sup> mek/l	Cl <sup>-</sup> mek/l	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mek/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mek/l	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mek/l	Sic. (C <sup>o</sup> )	Sertlik (Fr <sup>o</sup> )	EC $\mu$ S/cm	pH	%Na SAR	Su Sınıfı	
Çoruh Nehri	Yüzey suyu	KG-1	0.085	0.079	0.562	0.095	0.023	0.072	0.4	0.4	14,00	2.48	94	8.6	5.54	0.15	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
Aralık-1	Kaynak suyu	KG-2	0.118	0.014	0.392	0.159	0.018	0.014	0.7	0	13,90	2.98	73	7.28	17.3	0.23	Ca-HCO <sub>3</sub>
Aralık-2	Kaynak suyu	KG-3	0.095	0.008	0.379	0.077	0.012	0.028	0.4	0.4	10,20	2.1	74	8.14	17	0.20	Ca-HCO <sub>3</sub> -CO <sub>3</sub>
Maysur	Kaynak suyu	KG-4	0.073	0.007	0.330	0.056	0.017	0.035	0.2	0.8	12,50	1.95	63	8.07	15.67	0.17	Ca-CO <sub>3</sub>
Savgule Dere	Yüzey suyu	KG-5	0.093	0.009	0.534	0.091	0.015	0.032	0.7	0.4	10,00	2.4	88	7.87	12.8	0.17	Ca-HCO <sub>3</sub>
Karagöl-1	Yüzey suyu	KG-6	0.123	0.008	0.648	0.095	0.009	0.036	0.9	0.2	12,80	2.92	87	8.44	14.1	0.20	Ca-HCO <sub>3</sub>
Karagöl-2	Yüzey suyu	KG-7	0.09	0.009	0.550	0.099	0.012	0.035	1.1	0	12,10	2.42	82	7.83	12.1	0.16	Ca-HCO <sub>3</sub>
Çamdallı-1	Kaynak suyu	KG-8	0.103	0.006	0.420	0.132	0.120	0.076	0.8	0.2	17,20	2.3	70	8.5	15.6	0.20	Ca-HCO <sub>3</sub>
Çamdallı-2	Kaynak suyu	KG-9	0.063	0.006	0.216	0.036	0.008	0.004	0.4	0.2	12,70	1.82	53	7.92	19.6	0.18	Ca-HCO <sub>3</sub>
Bozçalı	Kaynak suyu	KG-10	0.08	0.007	0.387	0.076	0.009	0.026	0.8	0.2	12,80	2.14	75	8.18	14.55	0.17	Ca-HCO <sub>3</sub>
Vertekil-1	Kaynak suyu	KG-11	0.225	0.008	0.604	0.155	0.053	0.067	1.1	0.2	12,30	3.06	89	8.09	22.7	0.37	Ca-HCO <sub>3</sub>
Vertekil-2	Kaynak suyu	KG-12	0.252	0.014	1.750	0.857	0.132	0.207	2.6	0.2	16,70	14	140	9.05	8.8	0.22	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
Salerde	Kaynak suyu	KG-13	0.239	0.003	1.684	0.493	0.042	0.226	2.6	0	17,10	9.98	138	8.21	9.9	0.23	Ca-HCO <sub>3</sub>
Balçı	Kaynak suyu	KG-14	0.378	0.014	2.163	0.964	0.177	0.281	2.8	0.2	15,70	16.2	150	8.76	10.8	0.30	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
Erenler	Kaynak suyu	KG-15	0.081	0.010	0.461	0.072	0.018	0.037	0.6	0	14,80	2.25	79	8.51	13	0.17	Ca-HCO <sub>3</sub>
Kaynarca-1	Kaynak suyu	KG-16	0.134	0.008	0.997	0.174	0.024	0.076	1.2	0.2	10,80	5.75	107	8.41	10.2	0.18	Ca-HCO <sub>3</sub>
Kaynarca-2	Kaynak suyu	KG-17	0.220	0.017	1.666	0.171	0.098	0.054	2.0	0.2	15,00	9	127	9.21	10.6	0.23	Ca-HCO <sub>3</sub>





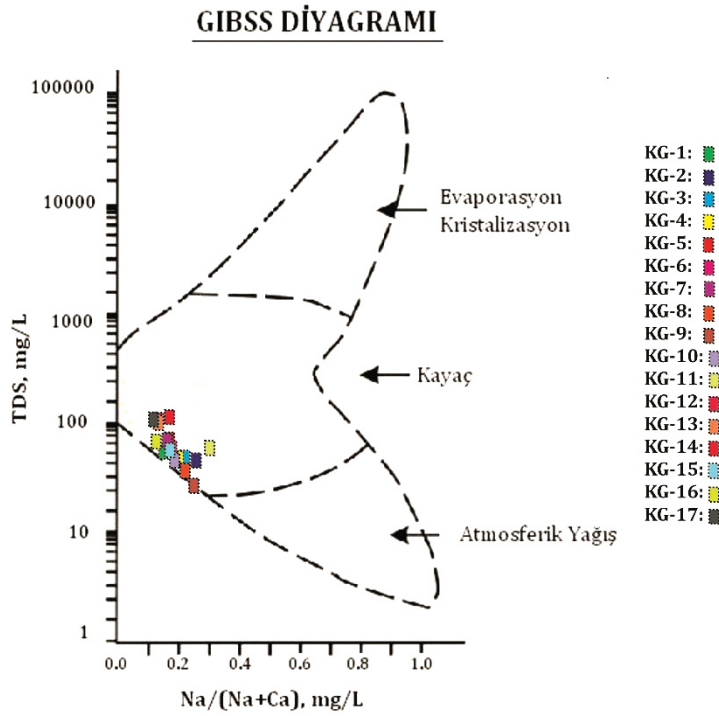
Şekil 4. Analiz edilen su örneklerin Piper Diyagramı.

Figure 4. Piper Diagram of the water samples analysed.

Çalışma alanında belirlenen su tipinin hangi işlev ve/veya mekanizma sonucu değiştiğini belirleyebilmek için, su örneklerinin iyonik oranları Gibss Diyagramı üzerine yerleştirilmiştir. Gibss Diyagramı'nda, su örneklerinin tamamı "Kayaç Baskın" bölgesine düşmektedir (Şekil 5). Bu da, su kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğunu göstermektedir.

### Major İyonların İstatistiksel Değerlendirilmesi

Çalışma alanındaki su örneklerinde ölçülen iyonların birbirleri ile ilişkilerini belirlemek için öncelikle korelasyon analizi yapılmıştır. Su örneklerinin analiz sonuçlarına göre Ca iyonu, Na ve HCO<sub>3</sub> ile çok yüksek pozitif korelasyon, Mg, Cl ve SO<sub>4</sub> ile yüksek pozitif korelasyon sunmaktadır. Mg iyonu, SO<sub>4</sub> ile çok yüksek pozitif korelasyona, Na iyonu ise HCO<sub>3</sub> ile çok yüksek pozitif korelasyona sahiptir (Çizelge 2). K iyonu ise diğer tüm iyonlar ile negatif korelasyon göstermektedir.



Şekil 5. Analiz edilen su örneklerin Gibss Diyagramı.

Figure 5. Gibss Diagram of the water samples analysed.

Çizelge 2. İnceleme alanındaki suların korelasyon katsayıları.

Table 2. Correlation coefficients of the waters in the study area.

Parametreler	pH	EC	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
pH	1								
EC	0.633	1							
Ca <sup>+2</sup>	0.648	0.977	1						
Mg <sup>+2</sup>	0.467	0.840	0.867	1					
Na <sup>+</sup>	0.496	0.881	<b>0.911</b>	0.877	1				
K <sup>+</sup>	0.172	0.013	-0.096	-0.112	-0.167	1			
Cl <sup>-</sup>	0.646	0.681	0.752	0.799	0.802	-0.106	1		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.538	0.941	<b>0.963</b>	0.880	<b>0.909</b>	-0.219	0.737	1	
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0.489	0.870	0.876	<b>0.940</b>	0.868	-0.012	0.753	0.883	1

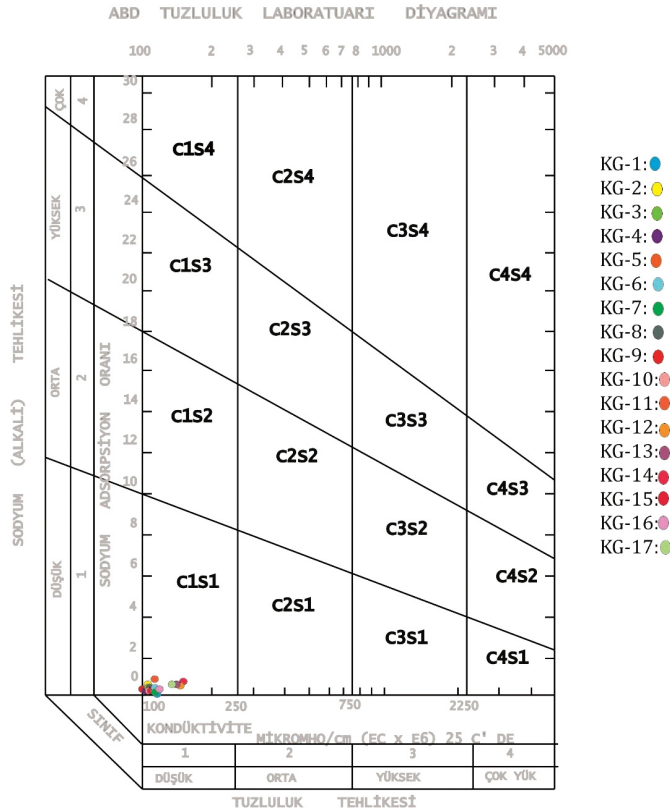
Şener, Kıbar

### Suların Kullanım Özellikleri

Çalışma alanında yüzey ve kaynak sularından alınan su örneklerinin  $\text{NO}_3$  ve ağır metal analiz sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Yüzey ve kaynak sularına ait örneklerin analiz sonuçları; Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanmış İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te (2005) ve Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından hazırlanmış İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik'te (2012) belirtilen limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre yüzey ve kaynak sularına ait su örneklerinin tamamı ölçülen parametreler kapsamında içme suyu olarak kullanıma uygundur.

Çalışma alanındaki yüzey ve kaynak sularının sulamada kullanılabilirliğini belirlemek için Sodyum Adsorbsiyon Oranları (SAR) ve Özgül Elektriksel İletkenlik (EC) değerleri ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda kullanılmıştır.

Çalışma alanında bulunan sular 'C1S1' sınıfındadır (Şekil 6). Bu sınıflamaya göre sular; bitkiler için çoğu sulama suyu olarak kullanılabilen 'az tuzlu su' ve sodyuma karşı duyarlı olan bitkiler dışında her türlü tarım için uygun olan 'az sodyumlu su' özelliğindedir. Bu sonuç çalışma alanı ve yakın çevresindeki suların genel anlamda tüm sulama faaliyetlerinde kullanılabilir özellikte sular olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Analiz edilen su örneklerin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.

Figure 6. US Salinity Laboratory Diagram of the water samples analysed.



Çizelge 3. Yüze ve kaynak sularının ağır metal ve nitrat analiz sonuçları.  
Table 3. Heavy metals and nitrate analyses results of surface and spring waters.

Mevkii	Numune No	Numune Tipi	Al µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Pb µg/l	Hg µg/l	Cd µg/l	Se µg/l	As µg/l	Fe µg/l	Cr µg/l	Ni µg/l	NO <sub>3</sub> mg/l
Çoruh Nehri	KG-1	Yüze suyu	154	13.12	1.3	0.06	0.2	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	121	0.8	<0.2	1.0
Aralık-1	KG-2	Kaynak suyu	80	3.22	2.7	<0.02	0.4	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	34	<0.5	<0.2	10.69
Aralık-2	KG-3	Kaynak suyu	51	5.51	0.4	<0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	35	<0.5	<0.2	0.88
Maysur	KG-4	Kaynak suyu	42	1.55	0.6	<0.02	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	<10	<0.5	<0.2	0.22
Savgule Dere	KG-5	Yüze suyu	98	18.74	0.8	<0.02	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	114	<0.5	<0.2	0.23
Karagöl-1	KG-6	Yüze suyu	111	9.15	0.6	<0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	107	<0.5	<0.2	0.24
Karagöl-2	KG-7	Yüze suyu	91	23.30	0.8	<0.02	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	122	<0.5	<0.2	0.25
Çamdalı-1	KG-8	Kaynak suyu	39	1.35	0.8	0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	19	<0.5	<0.2	1.12
Çamdalı-2	KG-9	Kaynak suyu	79	2.87	0.7	0.04	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	25	<0.5	<0.2	0.15
Bozçalı	KG-10	Kaynak suyu	180	10.32	0.9	0.04	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	103	<0.5	<0.2	0.39
Vertekil-1	KG-11	Kaynak suyu	133	4.51	1.1	<0.02	0.2	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	50	<0.5	<0.2	1.59
Vertekil-2	KG-12	Kaynak suyu	67	8.09	2.1	<0.02	0.2	<0.1	<0.05	<0.5	0.6	36	<0.5	<0.2	2.17
Salerde	KG-13	Kaynak suyu	25	0.39	1.3	<0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	0.9	<10	<0.5	<0.2	0.77
Balcı	KG-14	Kaynak suyu	96	6.12	1.0	0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	0.6	41	<0.5	<0.2	2.31
Erenler	KG-15	Kaynak suyu	82	4.05	1.2	<0.02	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	31	<0.5	<0.2	1.23
Kaynarca-1	KG-16	Kaynak suyu	8	0.15	0.1	<0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	0.8	<10	0.7	<0.2	5.49
Kaynarca-2	KG-17	Kaynak suyu	7	0.51	6.1	<0.02	0.3	<0.1	<0.05	<0.5	0.7	<10	<0.5	<0.2	8.37
ITAS (2005) mg/l			0.2	0.05	2.0	-	0.01	0.001	0.005	0.01	0.01	0.2	0.05	0.02	50
İSYSKY (2012); Al değerleri: mg/l			0.3	0.05	0.02	0.5	0.05	0.0005	0.001	0.01	0.01	0.1	0.05	0.02	25

Çalışma alanındaki yüzey sularının kalite sınıflandırılmasında Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde (2008) belirlenen Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne ait limit değerler kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre çalışma alanındaki yüzey ve kaynak sularının tamamının genel olarak I. su kalite sınıfında olduğu görülmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanında yer alan Bakırköy formasyonu şeyl, marn ve killi kireçtaşı içeriği nedeniyle "Akifüj" olarak sınıflandırılmıştır. Kabaköy formasyonuna ait andezit, bazaltik lav, kireçtaşı, kumtaşı; Çayırbağı formasyonuna ait riyolitik, riyodasitik lav; Çağlayan formasyonuna ait bazaltik lav, piroklast, çamurtaşı, kumtaşı çökelleri; Kızılkaya formasyonuna ait dasit, riyodasit lav içerikleri ve kırık-çatlaklı yapıları nedeniyle "Yersel Verimli Çatlaklı Kaya Akiferi" olarak sınıflandırılmıştır. Alüvyon ve Yamaç Molozları ise bölgedeki yayılımları ve litolojik özellikleri dikkate alınarak "Az Verimli Gözenekli Akifer" olarak sınıflandırılmıştır. Su örneklerinin tamamının genel olarak Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Çoruh Nehri'nden alınan KG-1 nolu su örneği ise Na-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde yer almaktadır. Gibbs Diyagramı'nda ise, su örneklerinin tamamı "Kayaç Baskın" bölgesine düşmektedir.

İncelenen sulara Ca, Mg, Na ve K iyonları toplam katyona göre sırasıyla ortalama % 65.6, %18.2, % 11.7 ve % 4.5 bir değere sahiptir. Anyonlardan ilk sırayı %90.2 ile HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, % 6.1 ile SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ve % 3.7 ile Cl<sup>-</sup> iyonları almaktadır. Su tiplerinin gelişmesindeki ana etken kayaç-su etkileşimi olup bölgede yüzeyleyen formasyonların litolojik ve mineralojik bileşimlerine bağlı olarak su örneklerinde Ca-

Mg-Na ve HCO<sub>3</sub> iyonları baskındır. Ortaç ve mafik magmatik kayalarda yoğun olarak Na-Ca feldspat ve koyu renkli silikat mineralleri (biyotit, amfibol, piroksen) hakimdir. Genel olarak Na ve Ca iyonlarının artışı Na-Ca feldspatlar ile, Mg iyonları ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat minerallerinin ayrışması sonucunda gerçekleşmektedir. Su örneklerindeki baskın HCO<sub>3</sub> iyonu ise bölgede yer yer çökelmiş olan kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldspat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineralleri ile ilişkili kaya-su etkileşimi sonucunda artış göstermektedir. Major iyonlar arasında yapılan korelasyon analizlerine göre Ca iyonu Na ve HCO<sub>3</sub> ile çok yüksek pozitif korelasyon, Mg, Cl ve SO<sub>4</sub> ile yüksek pozitif korelasyon sunmaktadır. Mg iyonu SO<sub>4</sub> ile çok yüksek pozitif korelasyona, Na iyonu ise HCO<sub>3</sub> ile çok yüksek pozitif korelasyona sahiptir. K iyonu ise diğer tüm iyonlar ile negatif korelasyon göstermektedir.

Yapılan değerlendirmeye göre yüzey ve kaynak sularından alınan su örneklerinin tamamı, analiz edilen parametreler kapsamında içme suyu olarak kullanıma uygundur. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki suların genel anlamda tüm sulama faaliyetlerinde kullanılabilecek özellikte sular olduğunu göstermektedir. Çalışma alanı içerisindeki su kaynaklarının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre değerlendirilmesi sonucunda, yüzey ve kaynak sularının tamamı tüm parametreler bakımından I. su kalite sınıfında yer almaktadır.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapılan yüksek lisans tez çalışmasının bir ürünüdür. Yazarlar, çalışmayı finansal olarak destekleyen Süleyman Demirel

Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na (Proje No: 4489-YL1-15) teşekkür eder.

### KAYNAKLAR

- Güven, İ. H., Tosun, C. Y., 1986. Artvin-Borçka Karagöl Sahası Maden Jeolojisi Raporu. MTA Yayınları, Rapor No: 8021, Ankara.
- Kopar, I., Sever, R., 2008. Karagöl (Borçka-Artvin). Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 1, 21-38.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, 548 s, İzmir.
- T.C. Resmi Gazete, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, 25730.
- T.C. Resmi Gazete, 2008. Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği, 25687.
- T.C. Resmi Gazete, 2012. İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik, 28338.
- Yılmaz, B. S., Gülibrahimoğlu, İ., Konak, O., Yazıcı, E. N., Köse, Z., Yaprak, S., Çuvalcı, F., Saraloğlu, A., Tosun, C.Y., 1998. Artvin İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Olanakları. MTA Yayınları, s: 1-223. Ankara.







Araştırma Makalesi / Research Article

## Köyceğiz Gölü Su ve Taban Sedimanlarının Sıcaklık Dağılımı Distribution of Water and Bottom Sediment Temperature of Lake Köyceğiz

Özgür AVŞAR , Bedri KURTULUŞ 

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Menteşe, MUĞLA

Geliş (Received): 4 Temmuz (July) 2017, Düzeltme (Revised): 5 Ağustos (August) 2017, Kabul (Accepted): 11 Ağustos (August) 2017

### ÖZ

Köyceğiz Gölü, 52 km<sup>2</sup> yüzölçümüyle Türkiye'nin en büyük 16. gölüdür. Yapılan öncel çalışmalar bu gölün meromiktik karakterde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma kapsamında, 40 adet noktada CTD ve termoprob cihazlarıyla Nisan ayında ölçümler yapılmış, göl suyu sıcaklığının uzaysal dağılımı ile taban sedimanlarının sıcaklığının alansal dağılımı detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Su gözlem noktalarında elektriksel iletkenlik ve pH ölçümlerini de içeren incelemede, gölde, fiziksel özellikleri birbirinden farklı dört adet su kütesinin olduğu tespit edilmiştir. Kuzey ve güney çanaqtaki su ile taban sedimanı sıcaklıkları karşılaştırıldığında, gölün kuzey çanağında daha soğuk olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bazı sualtı kaynaklarının, çevresindeki su ve sedimanların sıcaklığını artırdığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Meromiktik, Sualtı Jeotermal Kaynak, Termal Tabakalanma, Termoprob, Uzaysal Dağılım.

### ABSTRACT

With its 52 km<sup>2</sup> areal extent, the Lake Köyceğiz is the 16<sup>th</sup> largest lake in Turkey. As it is indicated in the earlier studies, the lake is meromictic. Within the scope of this study, thermoprobe and CTD measurements were done in April covering 40 locations and spatial distribution of the lake water temperature and the areal distribution of the lake bottom sediments were investigated in detail. Investigations including electrical conductivity and pH measurements at water monitoring locations show that there are physically four distinct water bodies in the Lake Köyceğiz. The water and sediment temperatures in northern basin are slightly less than the southern basin. In addition, subaqueous springs increase the temperature of the water and sediment, and create a positive temperature anomaly around these locations.

**Keywords:** Meromictic, Subaqueous Geothermal Spring, Thermal Stratification, Thermoprobe, Spatial Distribution.

## GİRİŞ

Göllerle ilgili çalışmalarda suyun sıcaklık, pH ve EC gibi özelliklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi limnoloji çalışmalarının ilk adımını oluşturmaktadır. Bu ölçümler uzun yıllar elle ve basit ölçüm cihazları ile yapılmıştır. Son yıllarda yüksek frekanslı ölçüm cihazlarının gelişmesiyle birlikte yapılan ölçümlerin zaman aralıkları ve miktarı artmış, bu ölçümler nispeten küçük cihazlarda depolanabilmiştir.

Güneybatı Anadolu'da bulunan Köyceğiz Gölü 52 km<sup>2</sup> alanıyla Türkiye'nin en büyük 16. gölüdür. Gölün sıra dışı kimyasal ve fiziksel özellikleri birçok araştırmacının ilgisini çekmiş, limnolojik ve çevresel özelliklerini inceleyen önemli çalışmalar yapılmıştır (Kazancı vd., 1992; Ertürk, 2002; Ertürk vd., 2014; Ertürk vd., 2017). Köyceğiz Gölü'ndeki en kapsamlı çalışmayı Bayarı vd. (1995) gerçekleştirmiştir. Göl suyu sıcaklığının ölçümü yanında eco-sounding tekniği ile taban sedimanlarını görüntülemişler, göl tabanından geçen fayları tespit etmişlerdir. Bu araştırmanın sonucunda Bayarı vd. (1995), gölün meromitik bir göl olduğu, yüzeyden 10 m derinlikte bir "termoklin" olduğu ve daha derinde oksijensiz, durgun, ölü bir su kütleinin bulunduğu sonucuna varmışlardır. Yaptıkları su bütçesinden, gölü besleyen sıcak ve soğuk su kaynaklarının olduğunu belirtmişler, hatta bazı su çıkışlarını jeofizik çalışmalarla ve sualtı akım ölçümleriyle tespit edebilmişlerdir. Köyceğiz Gölü ile ilgili yapılan bir diğer çalışma Kazancı ve Girgin (2001) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kazancı ve Girgin (2001), Köyceğiz ve Dalaman'daki 5 adet termal kaynaktaki su kimyası ve yosun çeşitliliği üzerine çalışma yapmış ve bu sahaların korunması gerektiğini savunmuştur. Köyceğiz Gölü'nde, Avşar vd. (2017) yaptıkları detaylı çalışmada, gölde 2 adet sualtı soğuk su kaynağı ve 3 adet sualtı sıcak su kaynağı tespit etmişlerdir. Avşar vd. (2016)'nın, göl

çökellerinden aldıkları karot örnekleri üzerinde yaptıkları çalışmada, 370 yıllık varv kayıtlarına rastlanmış, bu kayıtlar tarihsel depremlerle ilişkilendirilerek bölgenin depremselliği ile ilgili önemli sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, yüksek frekanslı sıcaklık ölçüm cihazları kullanarak, Köyceğiz Gölü'nün su sıcaklığını ve taban çökellerinin sıcaklığının alansal dağılımını belirlemektir. Bu amaçla, 40 noktada düşey sıcaklık profilleri ve taban çökel sıcaklıkları noktasal olarak ölçülmüştür. Çalışmada, gölün su sıcaklığına ek olarak pH ve EC değerleri yüksek çözünürlüklü bir şekilde ölçülmüş ve gölün fizikokimyasal modeli ortaya konmuştur. Öncel çalışmalarda her ne kadar kabaca gölün su sıcaklık dağılımı çıkarılsa da, bu çalışmada olduğu gibi detaylı bir sıcaklık (pH ve EC) ölçümü daha önce yapılmamıştır. Termoprob isimli cihaz ile taban sediman sıcaklığının 40 noktada ölçülmesi, taban sedimanlarının sıcaklık dağılımı ile ilgili önemli bilgilere ulaşılmasını sağlamıştır.

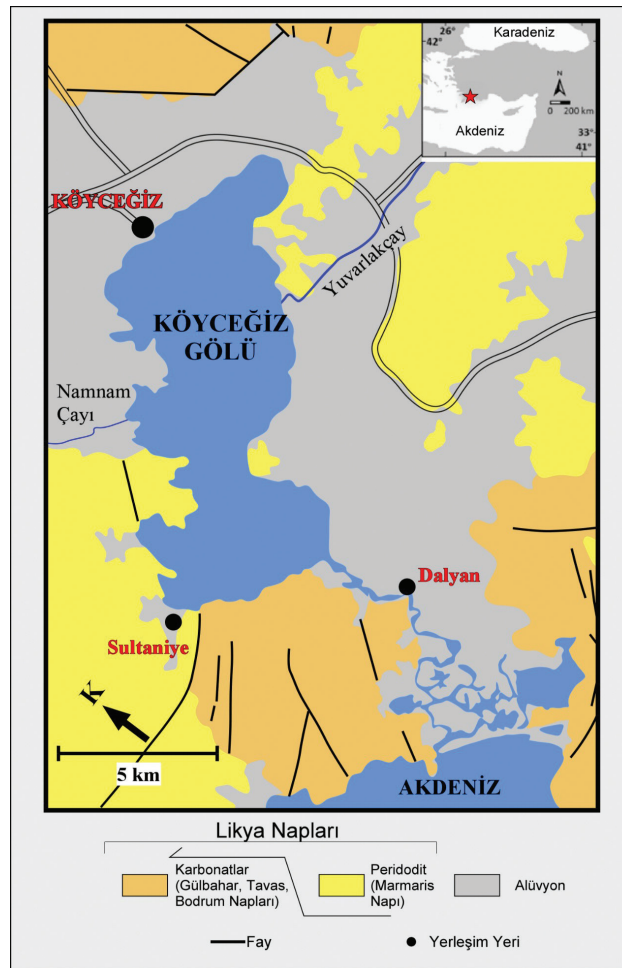
## ÇALIŞMA ALANI

Yukarıda belirtildiği gibi, yaklaşık 52 km<sup>2</sup> alanıyla Köyceğiz Gölü, Türkiye'nin en büyük ilk 20 gölü arasında yer almaktadır. 10 km uzunluğundaki Dalyan kanalı ile Akdeniz'e bağlanan göl "Köyceğiz-Dalyan Havzası Özel Çevre Koruma Bölgesi" adıyla devlet tarafından koruma altına alınmıştır. Ender bulunan ekolojik yapısı, bölgeyi koruma altına alınmaya değer kılmıştır. Bölgede tipik Akdeniz iklimi hakimdir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Kuzeyde ve güneyde iki çanak oluşan gölün kuzeydeki en derin yeri 25 m, güneydeki ise 32 m'dir. Bu iki çanak D-B uzanımlı, su derinliğinin 2-3 metreye düştüğü bir sırt ile ayrılmaktadır. Öncel çalışmalar, göl suyunun yüzeyin 10 m altından tabana kadar olan derinlikte soğuk,

oksijensiz, ölü bir su kütleinin olduğunu göstermiştir (Bayarı vd., 1995; Kazancı ve Girgin, 2001).

İnceleme alanının üzerinde bulunduğu Güneybatı Anadolu, birçok bilimsel araştırmaya konu olmuştur. Genellikle jeolojik oluşum süreçleri üzerine teoriler üreten bu araştırmalar, bölgenin oluşum tarihçesi, jeolojik birimlerin tanımlanması ve birbirine göre konumları ile ilgili çok değerli ve detaylı bilgiler sunmaktadır (Rimmelé, vd., 2003a; 2003b, Ten Veen vd., 2009; Hinsbergen, 2010; Hinsbergen vd., 2010; Sözbilir vd., 2011). Bu çalışmada, Şenel (1997)

tarafından hazırlanan 1/100000 ölçekli jeoloji haritası sadeleştirilerek Şekil 1'de sunulmuştur. İnceleme alanının tamamında Likya napları olarak bilinen allokton birimler yüzlek vermektedir (Şekil 1). Kuvaterner alüvyon bütün birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Likya napları, adından da anlaşılacağı üzere, sınırında düşük açılı bindirme fayları olan nap birimlerinin üst üste istiflenmesiyle oluşmuştur. Likya napları kaba olarak peridotit (Marmaris Napı) ve neritik/pelajik karbonatlar (Gülbahar, Tavas ve Bodrum Napları) olarak iki ayrı alt birime ayrılmıştır (Şenel, 1997; Gökğöz ve Tarcan, 2006).



Şekil 1. Köyceğiz gölü çevresi jeoloji haritası (Şenel, 1997).

Figure 1. Geological map of the Lake Köyceğiz and its vicinity (Şenel, 1997).

Sahanın yapısal jeolojisi paleotektonik döneme ait bindirmeler ve aktif normal faylarla karakterize olmuştur. Erken Eosen – Erken Oligosen dönemi boyunca etkin olan sıkışma tektoniği nap sisteminin oluşmasına neden olurken, Geç Miyosen ile başlayan ve etkisi günümüze kadar devam eden gerilme tektoniği güncel normal fayların ve horst graben sistemlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Bozkurt ve Park, 1999; Rimmelé vd., 2003a; 2003b). Bindirme fayları ile birbirinden ayrılan jeolojik formasyonlarla ve bunları kesen daha genç normal faylarla morfolojisi şekillenen sahada, jeotermal sistemlerin gelişimi, bu yapısal jeoloji ile kontrol edilmektedir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, göl suyunun sıcaklık, pH ve EC değerlerinin belirlenmesinden (Multiparametre Ölçüm Cihazı) ve taban sedimanlarının sıcaklık ölçümlerinden (Termoprob Cihazı) oluşmaktadır. 2017 yılının Nisan ayında yapılan arazi çalışmaları 3 gün sürmüştür. Söz konusu çalışmada 10 m uzunluğunda bir tekne kiralanmış ve 40 noktada ölçümler yapılmıştır.

### Su Ölçümleri

Köyceğiz göl suyunun üç boyutlu değerlendirilebilmesi için, YSI marka (6600) Multiparametre Ölçüm Cihazı ile, 2 saniyede bir ölçüm yapacak şekilde sıcaklık, pH ve EC değerleri belirlenmiştir. Göl alanına düzgün dağılacak şekilde 40 adet noktada düşey ölçüm yapılmıştır. Çalışma boyunca koordinatları kaydetmek amacı ile (2 saniye aralıkla) Garmin marka (421S) Küresel Konumlandırma Cihazı (GPS) kullanılmıştır. Ölçüm yapılması planlanan noktaların koordinatları GPS'e kaydedilmiş, hedef noktaya varıldığında ipin ucuna bağlanan

prob gölün tabanına doğru indirilip geri çekilerek düşey sıcaklık, pH ve EC ölçümleri yapılmıştır. Bu üç parametreye ek olarak, su derinliğini de ölçen Multiparametre Ölçüm Cihazı, bu parametrelerin derinlikle değişiminin incelenebileceği profillerin oluşturulmasını da sağlamıştır. Ölçüm noktalarının (40 adet) dağılımı ve derinlikleri (1.7 m ile 31.9 m arasında) göz önünde bulundurulduğunda; sıcaklık, pH ve EC değerlerinin, tüm göl yüzeyini temsil edecek şekilde belirlendiği söylenebilir. Bu yaklaşım, bir noktada derinlemesine ölçüm değerlerini, yüzeyde yatay olarak yapılan ölçümlerle karşılaştırma olanağı sağlamıştır.

Sıcaklık, EC ve pH verilerinin, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) bünyesinde yürütülen Çevresel Teknolojiler Verifikasyon Programı (ETV) kapsamında belgelenen aletsel ölçüm hata miktarları sırasıyla  $\pm 0.15$  °C,  $\pm \%5$ ,  $\pm 0.2$  birimdir. Çalışmalarda, ölçümlere yönelik kalite kontrol ölçümleri yapılmamıştır.

### Taban Çökel Sıcaklığı Ölçümleri

Çalışma alanında, taban çökellerinin sıcaklığını ölçmek için Termoprob Cihazı kullanılmıştır. Termoprob, kromdan imal edilmiş, 2 m boyunda, 3.2 cm çapında sivri uçlu silindirik bir çubuktur. Kazık şeklindeki bu çubuğun içinde uca doğru bulunan bir hazneye Onset marka (HOB0) yüksek frekanslı sıcaklık ölçüm cihazı yerleştirilmiştir. Termoprob, üstüne bağlanan bir iple, göl tabanına 2-3 metre kalana kadar indirilir ve bu yükseklikten bırakılarak tabana saplanması sağlanır. Tabana saplanmış olarak 5-6 dakika bekledikten sonra yüzeye çekilir. Kazığın içindeki silindirik ölçüm cihazı, tüp şeklindeki haznenin içinde, tabana çarpmada ve saplanmada oluşabilecek titreşimden zarar görmemesi için önünden ve arkasından yayla desteklenmiştir.



Cihaz, saniyede bir sıcaklık ölçüp kaydetmeye ayarlanmıştır. Hafızası 12 saat ölçüm yapmaya uygundur. 5-6 dakikalık bekleme, çamura en az 1 metre saplanmış olan Termoprob'un çevre sıcaklığını algılaması için yeterli bir süredir. Zamanı ve sıcaklığı saniyede bir ölçüp kaydeden cihazın, tabana saplanmış vaziyette kaldığı sürenin başlangıcı ve sonu çalışma defterine kaydedilir. Cihazdan kişisel bilgisayara indirilen zamana karşılık sıcaklık verilerinden, istenilen zaman aralığındaki veri, o noktanın verisi olarak kaydedilir. 5-6 dakikalık ölçüm sırasında okunan sıcaklık, göl taban sedimanının o noktada, o andaki sıcaklığı olarak kaydedilir. Bulunan bu

sıcaklık değerleri, göl boyunca taban sediman sıcaklık dağılım haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır. Bütün dağılım haritaları ve kesitler, Surfer 10 (Golden Software Inc., 2012) bilgisayar programında hazırlanmıştır.

Elde edilen su ve taban sedimanı ölçüm değerleri (Çizelge 1) kullanılarak dağılım haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca, gölden alınan 3 adet kesit üzerinde; göl suyuna ait sıcaklık, pH ve EC dağılımı ve taban sıcaklık değişimi gösterilmiştir. Bu veriler ışığında gölün fizikokimyasal dinamiğini anlamaya yönelik yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Çizelge 1. Köyceğiz gölünde yapılan ölçümlerle ilgili genel bilgiler.

**Table 1.** General information about the measurements done in the Lake Köyceğiz.

	Ölçüm Noktası	Koordinat (UTM/WGS84)		Su Derinliği (m)	Ölçüm Tarihi	Yüzey Suyu Sıcaklığı (°C)	Taban Suyu Sıcaklığı (°C)	Çamur Sıcaklık (°C)	Su çamur sıcaklık farkı (°C)
1	K1	649660	4090803	19.959	09.04.2017	18.78	12.67	15.008	2.338
2	K2	651100	4090197	18.741	09.04.2017	18.93	12.54	14.888	2.348
3	K3	652167	4089873	15.546	09.04.2017	18.71	12.18	14.505	2.325
4	K5	653227	4089755	10.630	09.04.2017	19.02	11.76	14.768	3.008
5	K6	650566	4088869	22.994	09.04.2017	17.20	13.07	15.199	2.129
6	K7	649905	4089654	24.619	09.04.2017	16.55	13.43	15.079	1.649
7	K8	648680	4090069	22.374	09.04.2017	15.71	12.92	15.079	2.159
8	K9	649036	4089123	24.146	09.04.2017	17.89	13.39	15.247	1.857
9	K10	649480	4088373	23.083	09.04.2017	16.67	12.95	15.031	2.081
10	K11	650516	4087689	22.081	09.04.2017	18.20	12.69	15.127	2.437
11	K12	649519	4087243	10.290	29.04.2017	20.04	12.77	14.553	1.783
12	K13	648495	4087675	22.108	29.04.2017	20.04	13.34	15.031	1.691
13	K14	648261	4088538	22.583	29.04.2017	20.11	13.50	15.199	1.699
14	K15	647209	4087482	20.574	29.04.2017	20.04	12.77	15.079	2.309
15	K16	648322	4086833	18.117	29.04.2017	20.14	13.16	14.888	1.728
16	K17	649044	4086125	4.037	29.04.2017	20.06	19.41	18.414	-0.996
17	K18	647869	4085559	4.187	29.04.2017	20.18	19.76	18.247	-1.513
18	K19	647334	4086400	17.739	29.04.2017	20.14	12.87	14.864	1.994
19	K20	646065	4086861	15.079	29.04.2017	20.21	13.37	14.745	1.375
20	K21	646513	4085863	4.852	29.04.2017	20.39	20.13	17.748	-2.382
21	K22	645274	4085535	4.401	29.04.2017	20.49	19.30	17.439	-1.861
22	K23	645732	4084839	3.360	29.04.2017	20.34	19.89	18.224	-1.666
23	K24	645300	4083755	5.173	29.04.2017	21.23	19.27	18.414	-0.856
24	K25	644399	4084237	22.167	30.04.2017	21.64	15.36	16.630	1.270
25	K26	643190	4084503	30.712	30.04.2017	20.65	15.35	16.558	1.208

Avşar, Kurtuluş

Çizelge 1. (devamı)

Table 1. (continued)

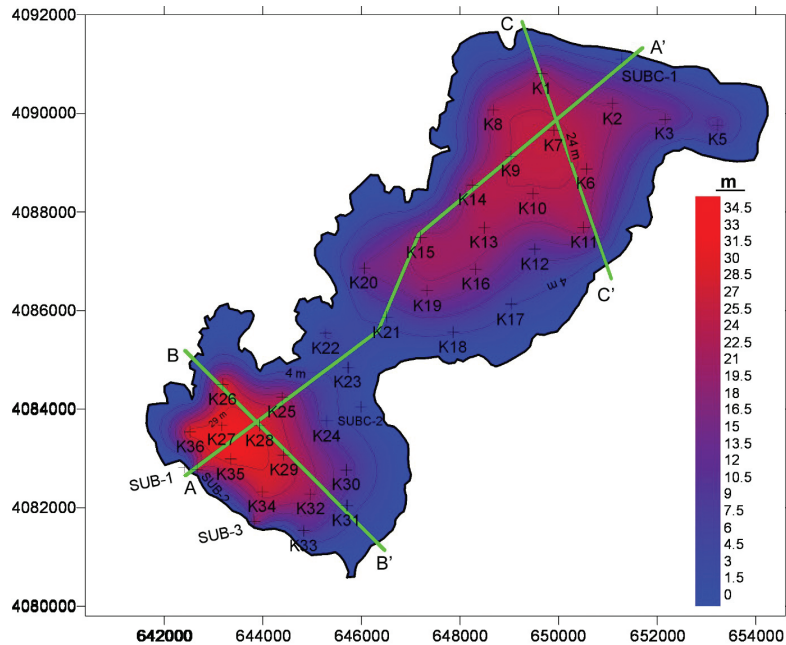
26	K27	643176	4083673	31.528	30.04.2017	20.97	15.33	16.606	1.276
27	K28	643937	4083666	28.668	30.04.2017	21.07	15.30	16.534	1.234
28	K29	644426	4083064	26.089	30.04.2017	21.16	15.36	16.630	1.270
29	K30	645701	4082755	11.448	29.04.2017	21.06	15.19	17.558	2.368
30	K31	645710	4082043	5.625	29.04.2017	20.87	19.95	18.771	-1.179
31	K32	644964	4082271	20.328	29.04.2017	21.22	15.23	16.439	1.209
32	K33	644835	4081528	10.122	29.04.2017	21.49	15.40	16.129	0.729
33	K34	644000	4082322	26.679	30.04.2017	21.42	15.33	16.630	1.300
34	K35	643349	4082984	31.025	30.04.2017	20.72	15.38	16.558	1.178
35	K36	642526	4083532	31.924	30.04.2017	21.09	15.41	16.606	1.196
36	SUB1	642408	4082821	27.665	30.04.2017	21.07	15.34	16.344	1.004
37	SUB2	642676	4082773	26.299	30.04.2017	20.90	15.36	16.511	1.151
38	SUB3	643831	4081711	21.025	30.04.2017	20.76	15.43	17.368	1.938
39	SUBC-1	651289	4091105	1.742	30.04.2017	20.21	20.21	19.508	-0.702
40	SUBC-2	645999	4084040	2.111	29.04.2017	21.12	21.03	19.270	-1.760

## BULGULAR

### Su Ölçümleri

Öncel çalışmalarda da belirtildiği gibi, Köyceğiz Gölü güney ve kuzeyde iki ayrı çanaktan oluşmaktadır. Gölün orta kısmında, su derinliğini 2 metreye kadar düşüren bir sırt, bu

iki çanağı birbirinden ayırmaktadır. Köyceğiz Gölü'nün, CTD (Conductivity-Temperature-Depth) cihazının derinlik verisi ile oluşturulan batimetri haritası incelendiğinde, kuzey çanağın en derin noktasının 24 m civarında, güney çanağın ise en derin yerinin 32 m civarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).

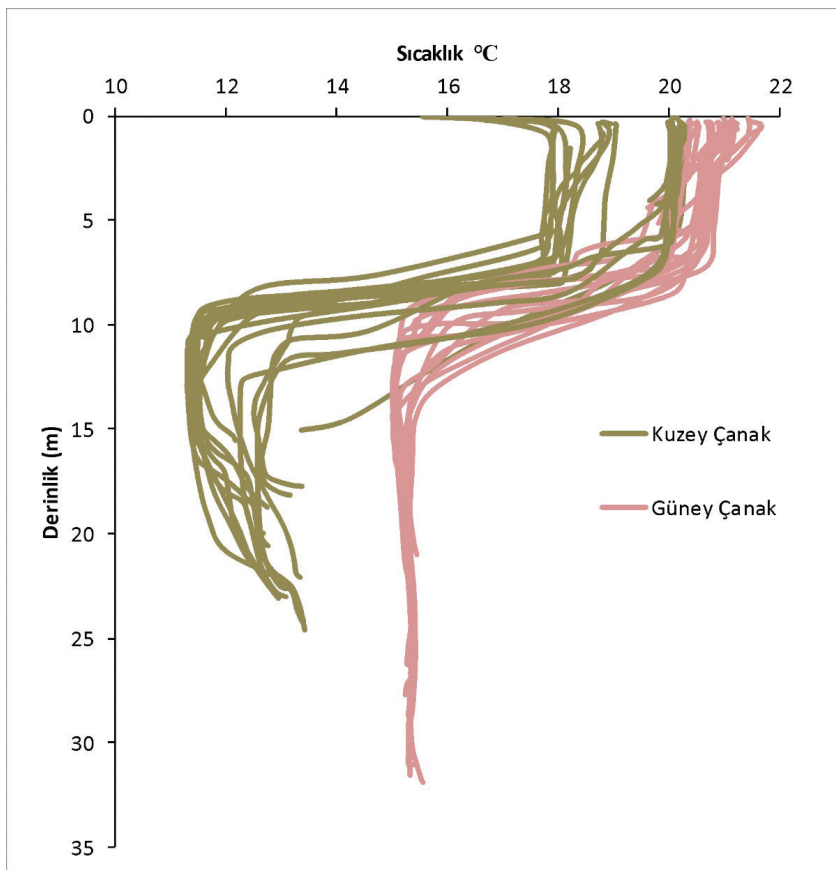


Şekil 2. Batimetri haritası.

Figure 2. Bathymetry map.

Şekil 3a'daki Su Sıcaklığı - Derinlik grafiği incelendiğinde, kuzey ve güney çanaklarda gölün suyunun termal olarak tabakalandığı, tabanda ve yüzeyde farklı sıcaklıkta iki su tabakasının bulunduğu ve bu tabakaların sınırının yüzeyden yaklaşık 8 m derinde olduğu gözlemlenmektedir. Bu sınır, kuzey çanakta daha keskindir. Güney çanakta ise, yaklaşık 7 metre kalınlıkta bir geçiş zonundan sonra alttaki tabakaya geçilmektedir. Su Sıcaklığı - Derinlik grafiğinde gözlemlenen bir diğer husus ise, alt ve üst tabakaların sıcaklıklarının çanaktan çanağa farklılık göstermesidir. Kuzey çanakta üstteki tabakanın sıcaklığı genellikle  $17.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $19.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında değişirken, alttaki tabakanın sıcaklığı  $11.3$

$^{\circ}\text{C}$  ile  $13.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında değişmektedir. Güney çanakta ise üstteki tabakanın sıcaklığı genellikle  $19.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $21.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında değişirken, alttaki tabakanın sıcaklığı  $15.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarındadır. Bu veriler ışığında güney çanaktaki su sıcaklığının kuzey çanağa göre her iki tabaka için de yüksek olduğu söylenebilir. Sıcaklık dağılımı ile ilgili diğer önemli bir nokta ise kuzey çanağın güney kısmında gerçekleştirilen ölçümlerle ilgilidir. K12'den K21'e kadar olan noktaları kapsayan bu ölçümlerde yüzeye yakın sıcaklıklar güney çanağın üst kısmındaki sıcaklıklarla benzerlik göstermektedir. Bu durum güney çanağın üst tabakasının ortadaki sırtı aşarak kuzeye doğru bir miktar ilerlediğini göstermektedir.

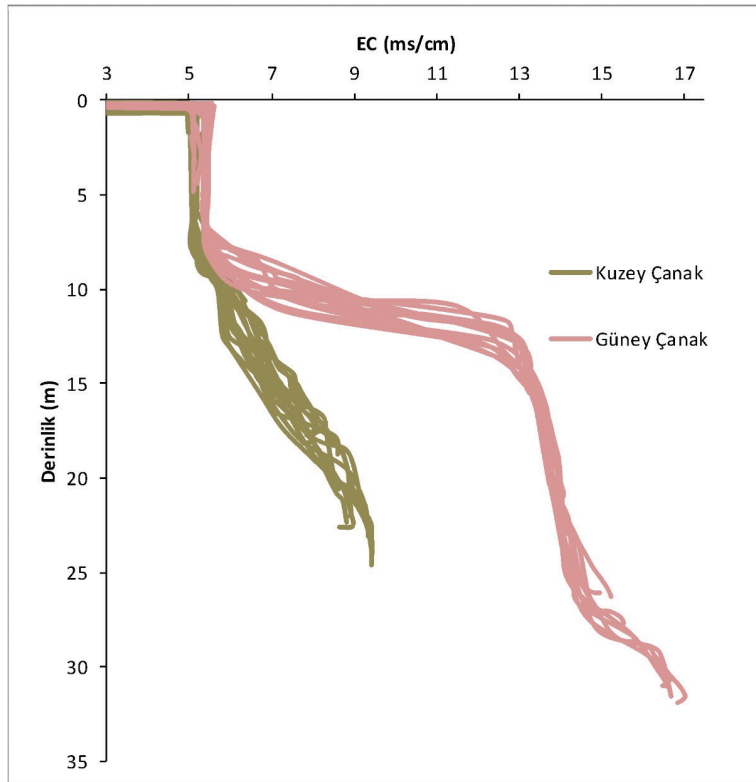


Şekil 3. a. Derinlik - sıcaklık grafiği.

Figure 3. a. Depth vs. temperature graph.

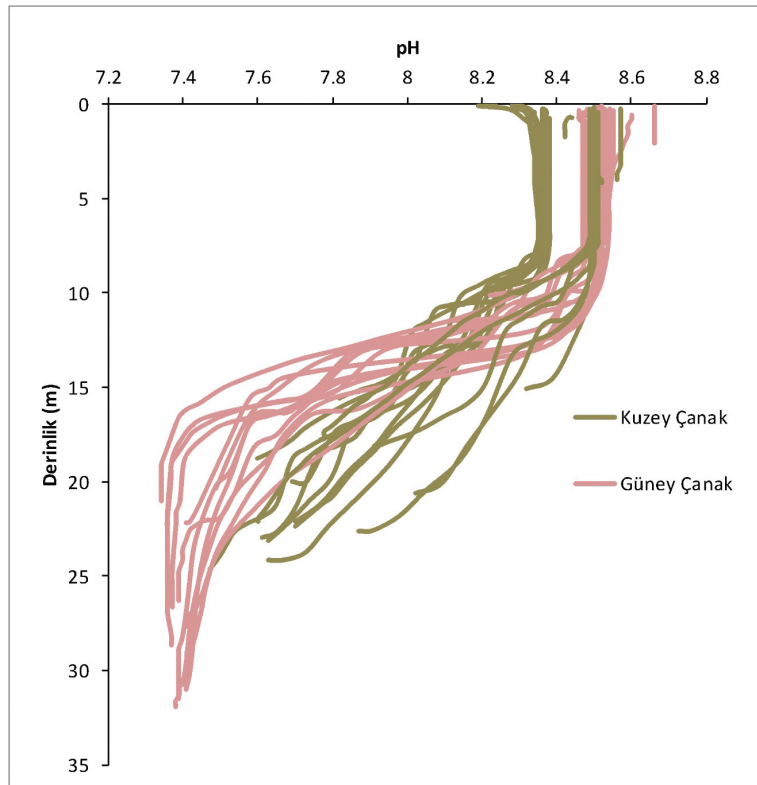
Bu araştırmada öncelikle göl suyu ve sediman sıcaklıklarının alansal/hacimsel değişimine odaklanılmıştır. Bununla birlikte EC (düzeltilmemiş, su sıcaklığındaki değerler) ve pH gibi parametreler de ölçülmüştür. EC - Derinlik grafiği incelendiğinde her iki çanakta da üst tabakanın kalınlığının 7 m olduğu söylenebilir (Şekil 3b). Her iki çanakta da 5 mS/cm civarında sabit bir EC gözlemlenmektedir. Bu derinliğin altında kuzey çanak sularının EC'si sabit bir eğimle düşüm gösterirken, güney çanak suları yine yaklaşık 7 m'lik bir geçiş zonu sergilemekte, bu zonun altında 13 mS/cm civarında sabit bir değere ulaşmaktadır. Güney çanakta 27 m derinlikten sonra, EC değerlerinde 2 mS/cm seviyelerine hafif bir yükseliş eğilimi gözlemlenmektedir. Suyun EC'sinin

sıcaklık artışıyla beraber arttığı bilinmektedir. Köyceğiz Gölü'nde derine indikçe sıcaklığın düşmesine rağmen EC'nin artması, altta ve üste toplam çözülmüş madde miktarı birbirinden tamamen farklı su fasiyelerinin bulunduğunu göstermektedir. pH - Derinlik grafiğinde, üst tabakanın kalınlığının 8 m civarında olduğu görülmektedir (Şekil 3c). Üst tabakada yine kuzey çanak suları 8.35 civarında sabit bir pH değeri sergilerken, güney çanak üst tabaka suları 8.5 civarında sabit bir değer sergilemektedir. 8 m derinliğin altında kuzey çanakta pH değeri düzgün bir eğimle 7.6 değerine doğru azalma eğilimine girmekte, güney çanakta yaklaşık 8 m'lik bir geçiş zonundan sonra 7.45 civarında sabitlemektedir.



Şekil 3. b. Derinlik - EC grafiği.

Figure 3. b. Depth vs. EC graph.



Şekil 3. c. Derinlik - pH grafiği.

Figure 3. c. Depth vs. pH graph.

Su sıcaklığının alansal dağılımını gözlemek için, her bir ölçüm noktasından gelen/ölçülen dikine profillerden, yüzeyde ölçülen sıcaklığın ve en derin noktada ölçülen su sıcaklığının alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4). Bu haritalar incelendiğinde, sıcaklıklar çanakların içinde sabitken, iki ayrı çanak içindeki suların sıcaklıkları hem derindeki hem de yüzeydeki tabakada farklılık göstermektedir. Başka bir deyişle, kuzey çanaktaki su, güney çanaktaki sudan daha soğuktur. Şekil 3'te verilen Sıcaklık - Derinlik grafiğinde de gözlemlenen, güney çanak üst tabaka suyunun kuzeye doğru bir miktar ilerlemesi durumu, yüzey suyu sıcaklığı dağılım haritasında da açıkça gözlemlenmektedir. Her

iki çanağın alt tabakalarında birbirleriyle bir etkileşim gözlemlenmemiştir. Yüzey ve taban suyu sıcaklık dağılım haritasında gözlemlenen bir diğer husus da; gölün kuzey sınırında bulunan SUBC-1 isimli sualtı soğuk su kaynağı etrafında pozitif sıcaklık anomalisi varken, diğer sualtı kaynaklarının (SUB-1, SUB-2, SUB-3, SUBC-2) etrafında pozitif veya negatif herhangi bir belirgin anomali gözlemlenmemiş olmasıdır. Bu durum aşağıdaki bölümlerde tartışılmaktadır.

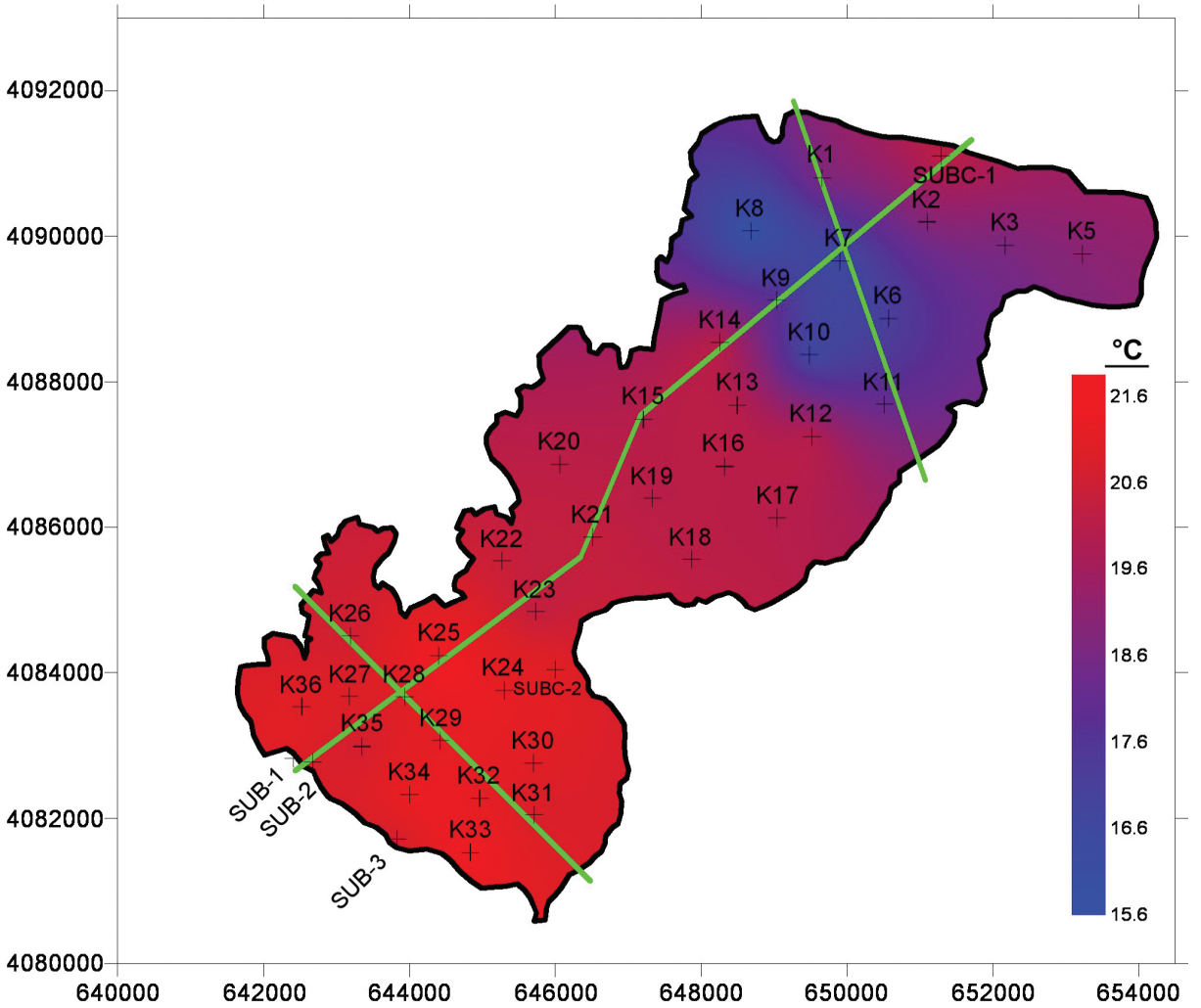
Köyceğiz Gölü suyunun fiziksel ve kimyasal özelliklerini üç boyutlu olarak algılayabilmek için, alansal dağılım haritalarına ek olarak 3 adet kesit hazırlanmış ve Şekil 5'te sunulmuştur. Bu kesitler incelendiğinde her iki çanakta da iki adet tabaka gözlemlenmektedir. Üst tabakanın



Avşar, Kurtuluş

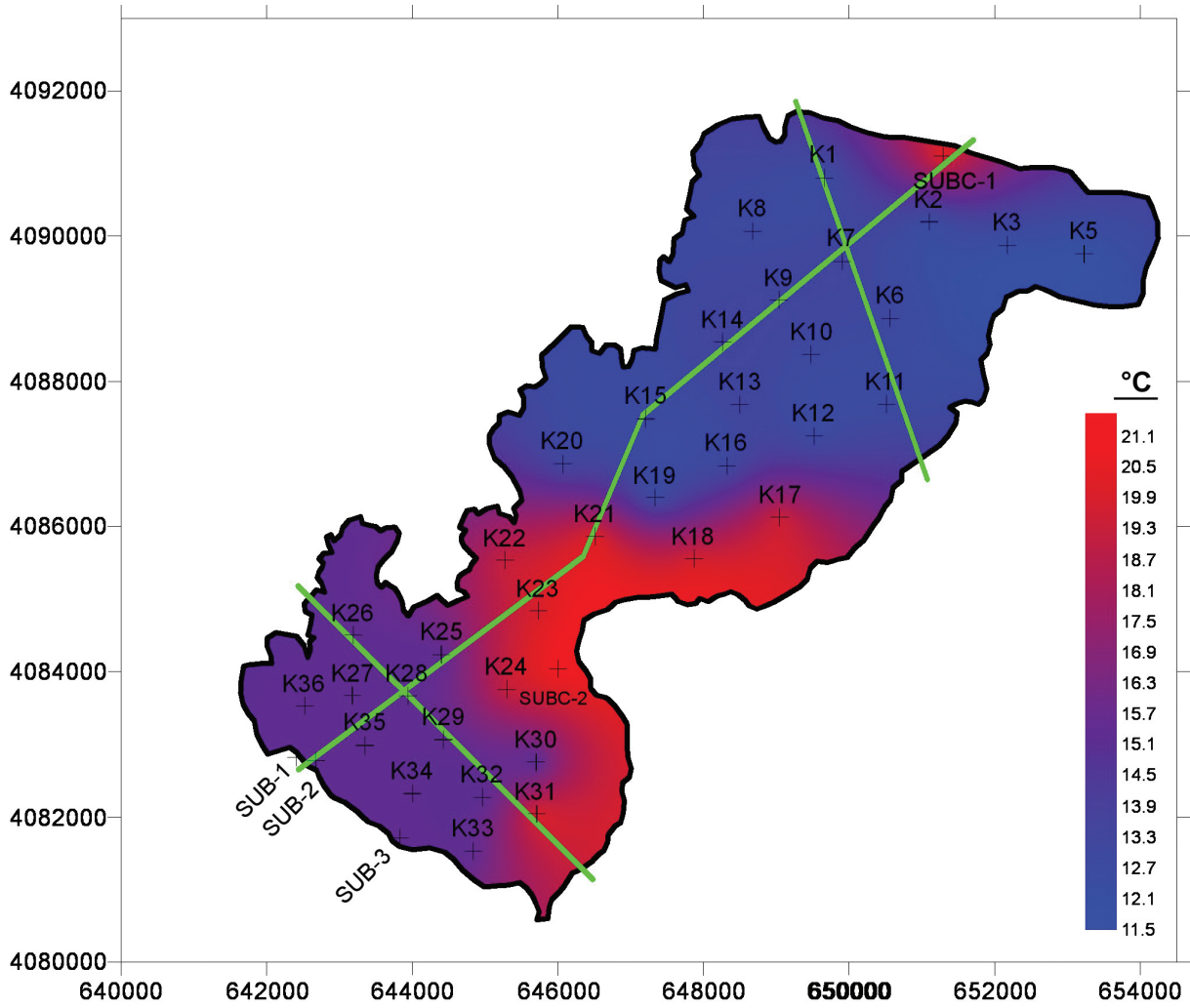
alt sınırı yüzeyden 7-9 m derinliktedir. Daha önce Derinlik - Sıcaklık grafiğinde gözlemlenen tabakalanmanın geometrisi ve iki çanak arasındaki farklılıklar, bu kesitlerde daha belirgindir. Kesitlerden de görüleceği üzere, kuzey çanaktaki alt ve üst tabakalar güney çanağa göre daha soğuktur. Bu kesitlerden özellikle

AA' hattı boyunca alınanlarda gözlemlenen en çarpıcı nokta, kuzey ve güney çanaklarda suların fiziksel özelliklerinin genellikle birbirinden farklı olmasına rağmen, güney çanağın üst tabakasındaki suyun ortadaki sırtı aşmış kuzey çanağın güneyine doğru yerleşmiş olmasıdır.



Şekil 4. a. Yüzey suyu sıcaklığı dağılım haritası.

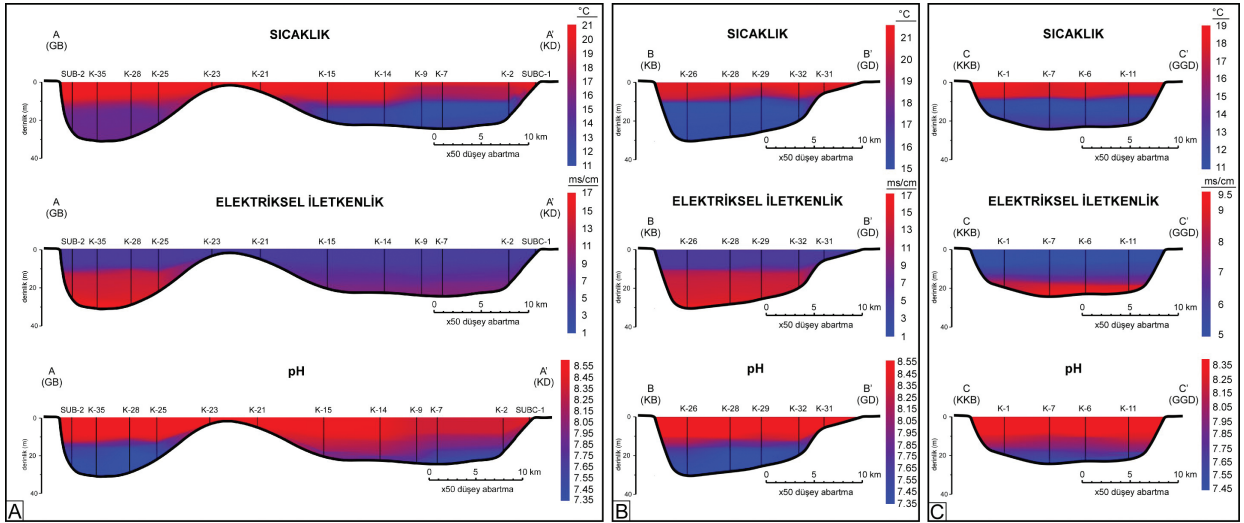
Figure 4. a. The temperature distribution map of the surface water.



Şekil 4. b. Taban suyu sıcaklığı dağılım haritası.

Figure 4. b. The temperature distribution map of the bottom water.

Avşar, Kurtuluş



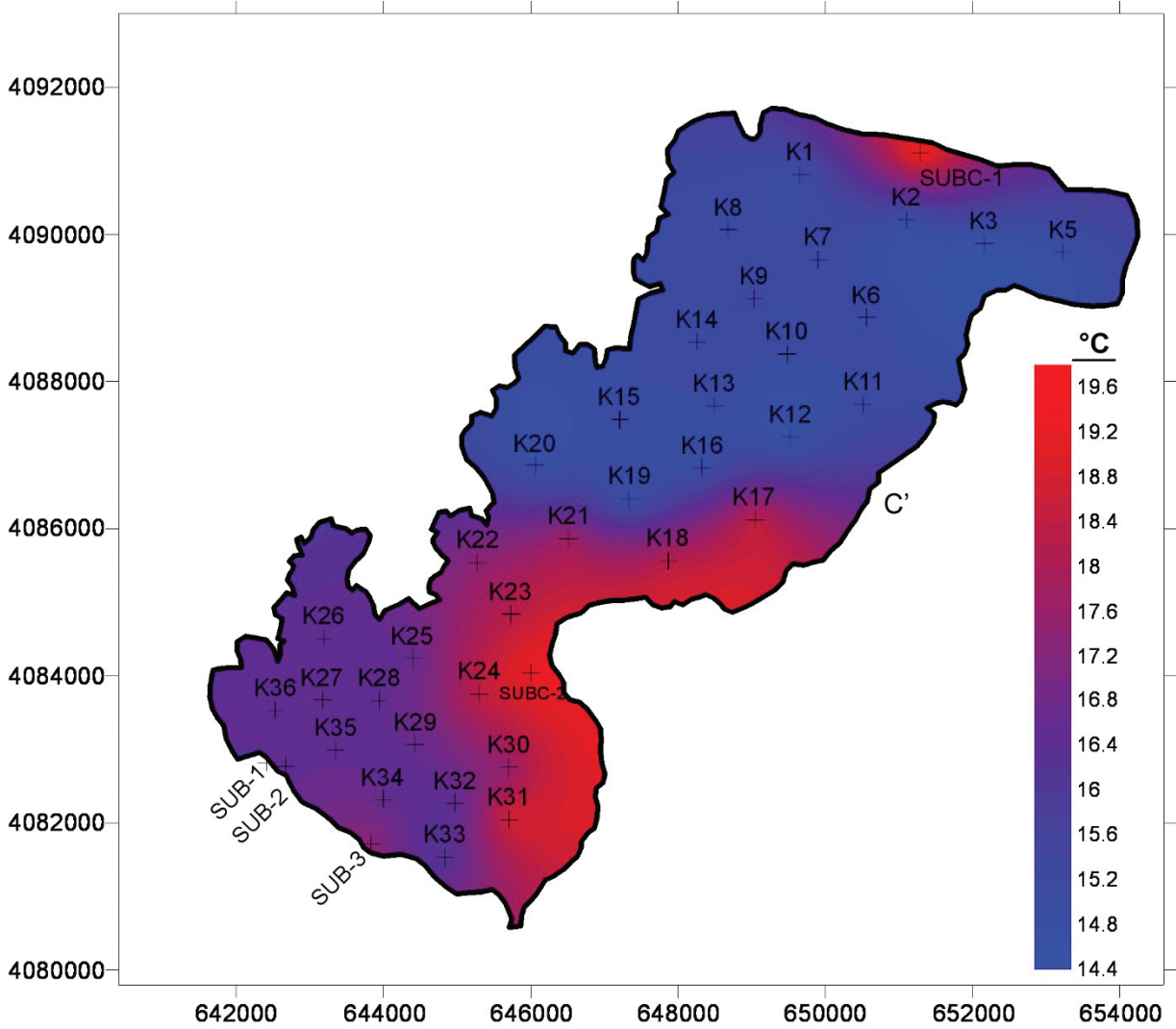
Şekil 5. Sıcaklık, elektriksel iletkenlik, ve pH kesitleri a) AA', b) BB', c) CC'.

Figure 5. Temperature, electrical conductivity and pH cross sections a) AA', b) BB', c) CC'.

## Sediman Ölçümleri

Ölçüm noktalarında Termoprob Cihazı ile ölçülen taban sediman sıcaklıkları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu veriler aracılığı ile, göl tabanındaki sedimanların sıcaklıklarının alansal dağılımını incelemek amacıyla alansal dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 6). Bu harita incelendiğinde, göl suyunun sıcaklığında olduğu gibi, taban sediman sıcaklığı da aynı çanak içinde genellikle benzer sıcaklık dağılımını sergilerken, çanaktan çanağa sıcaklık değişmektedir. Ortalaması 17.12 C° olan güney çanağı taban sedimanlarının sıcaklığı,

ortalaması 15.71 C° olan kuzey tabanı sedimanlarından daha sıcaktır. Göl tabanında bulunan soğuk su kaynaklarının etrafında bir sıcaklık anomalisi gözlemlenmektedir ve bu kaynaklar etrafındaki sediman sıcaklıklarının, gölün diğer kısmındakilerden daha yüksek olduğu söylenebilir. Yine gölün güney kısmında bulunan sualtı sıcak su kaynaklarından SUB-3, pozitif bir sıcaklık anomalisi sergilerken; SUB-1 ve SUB-2 kaynaklarında herhangi bir anomali gözlenmemektedir. Sualtı kaynaklarının, taban sedimanlarının ve göl suyunun sıcaklıklarına etkisi Tartışma bölümünde irdelenecektir.



Şekil 6. Taban sedimanları sıcaklık dağılım haritası.

Figure 6. The temperature distribution map of the bottom sediments.

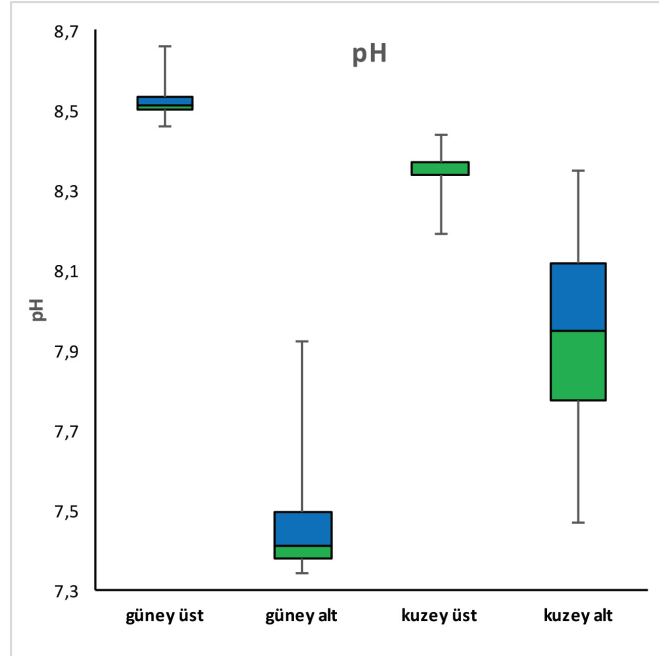
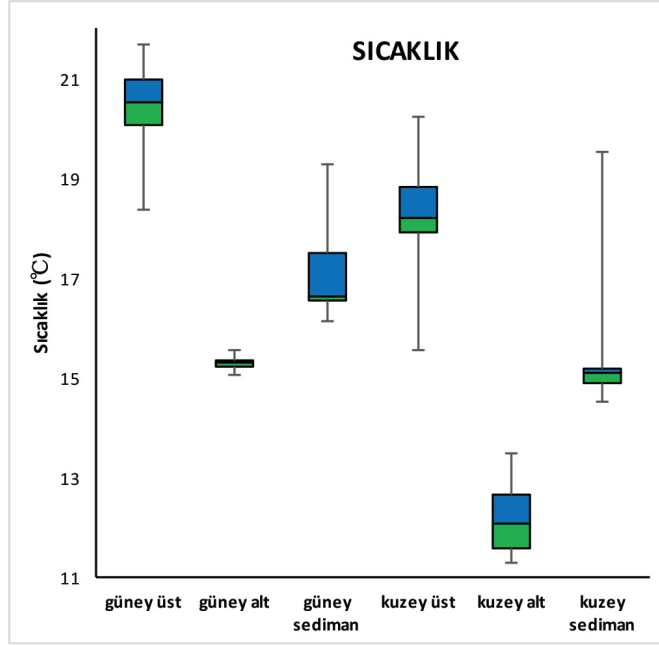
40 lokasyonda su ve sediman sıcaklığında yapılan ölçümler, gölde 4 adet su kütesinin bulunduğunu göstermiştir. Bunun yanı sıra, sediman sıcaklıkları da güney ve kuzey çanakta birbirinden farklı değerler vermektedir. Bu 4 adet su kütesini ve iki farklı çanakta farklı sıcaklıklar sunan sedimanları, sayısal olarak daha iyi anlayabilmek için sıcaklık (su ve sediman), EC ve pH ölçüm sonuçlarının her bir kütle/alan

için kutu diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 7). Şekil 7 incelendiğinde, her iki çanaktaki taban sediman sıcaklıklarının, yüzey suyundan daha soğuk, taban suyundan daha sıcak olduğu görülmektedir. Güney ve kuzey çanaktaki EC değerleri, üst tabakada daha düşük, alt tabakada ise daha yüksektir. Kuzey ve güney çanaklar karşılaştırıldığında, üst tabaka değerleri birbirine yakınken, alt tabakada güney çanak daha

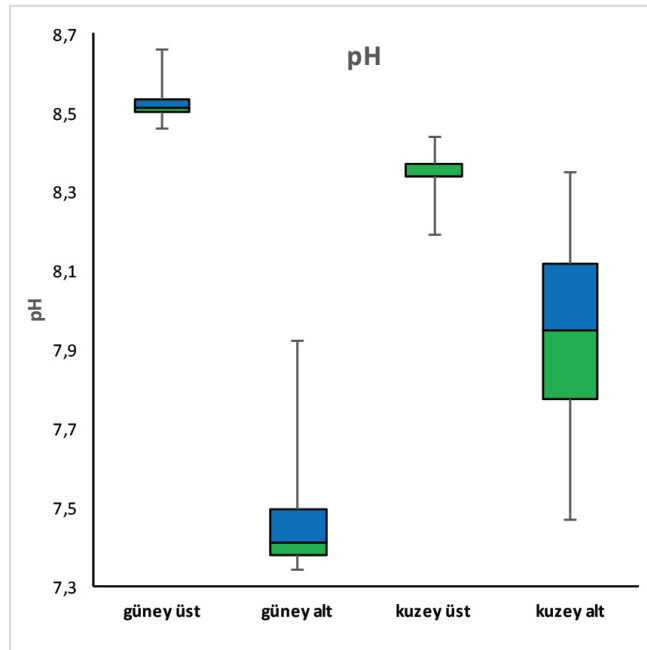
Avşar, Kurtuluş

yüksek değerler sergilemektedir. pH verilerine bakıldığında, her iki çanakta da üst tabaka, alt tabakaya göre daha yüksek değerler vermektedir. Üst tabakada, güney çanaktan kuzey çanağa

geçildiğinde pH değeri düşmektedir. Çanakların alt tabakaları pH açısından karşılaştırıldığında, kuzey çanağın daha yüksek pH değerine sahip olduğu görülmektedir.







Şekil 7. Köyceğiz Gölü ölçümlerinin kutu diyagramları (mavi: medyan ve 75 persantil arasındaki değerleri, yeşil: 25 persantil ve medyan arasındaki değerleri, kutunun altına ve üstüne doğru uzanan çizgiler: sırasıyla en düşük ve en yüksek değerleri göstermektedir).

Figure 7. The box plots of the Lake Köyceğiz measurements (blue: the values between the median and the 75 percentile, green: the values between the 25 percentile and the median, lines below and above the box: the minimum and maximum values respectively).

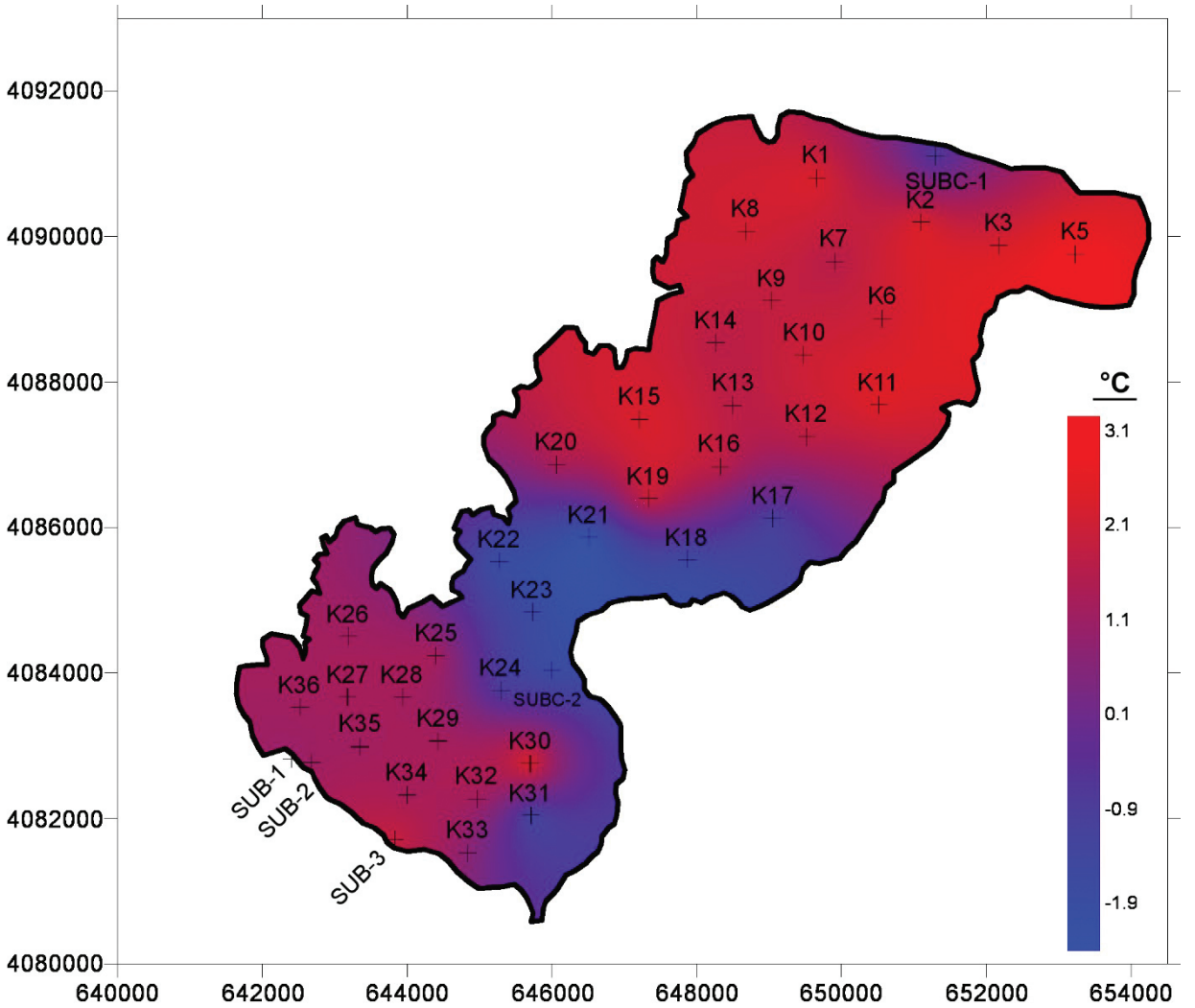
## TARTIŞMA

Bulgular kısmında belirtildiği gibi, Köyceğiz Gölü termal bir tabakalanma sergilemektedir. Bu tabakalanmanın yanı sıra bir diğer çarpıcı nokta ise, gerek göl suyunun gerekse taban sedimanlarının kuzey çanakta daha soğuk olduğudur. Taban sedimanları ile göl suyunun birbiriyle etkileşimini inceleyebilmek için, taban sedimanlarının sıcaklığından taban su sıcaklığı çıkarılmış, bulunan bu sonuçlar kullanılarak sıcaklık farkı alansal dağılım haritası hazırlanmıştır (Şekil 8). Bu haritada görülmektedir ki; her iki çanakta da sedimanlar gölün tabanındaki sudan yaklaşık 1.7 C° daha sıcaktır ve bu fark her iki çanak için genellikle sabittir. İki çanak arasındaki nispeten sığ bölgede ise su sıcaklığının taban

sedimanlarının sıcaklığından daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum göstermektedir ki; güney çanak sedimanları ve suları kuzey çanağa göre aynı oranda daha sıcaktır. Güney çanaktaki bu tutarlı sıcaklık, güneydeki Sultaniye Kaplıcaları, Delibey Girmesi, Kelgirme Kaynağı ve sualtı sıcak su kaynakları ile sahada kendini gösteren jeotermal aktivite ile açıklanabilir. Sediman ve sulardaki bu paralel sıcaklık yükselmesi ya göle deşarj olan sıcak suların göl suyunu ısıtmasından ya da halihazırda sıcak olan taban kayaların, üzerindeki sedimanın ve dolayısıyla suyun sıcaklığını bir miktar arttırmasından kaynaklanmaktadır. Her iki durumda da, güneyde jeotermal kaynakların komşusu olan güney çanağın sediman ve su sıcaklığının kuzey çanağa göre bir miktar fazla olması jeotermal aktiviteyle tutarlı görünmektedir. Su altındaki ve karadaki

jeotermal kaynaklar, buldukları bölgedeki su ve taban sedimanların sıcaklığını genellikle noktasal olarak yükseltecek ve pozitif anomali verecek yönde etkilememektedir. Ancak, güney çanaktaki termal kaynakların zamana bağlı bir sıcaklık birikimiyle daha geniş alanlarda küçük sıcaklık yükselmelerine yol açtığı söylenebilir.

Su ve sediman sıcaklık ölçümleri ile ilgili dikkat çekici diğer bir bulgu, sualtı sıcak ve soğuk su kaynaklarının sediman ve su sıcaklıklarına etkisidir. Sualtı sıcak su kaynaklarından SUB-3 yakınında taban sediman sıcaklığı, yakın çevredeki diğer ölçümlere göre bir miktar



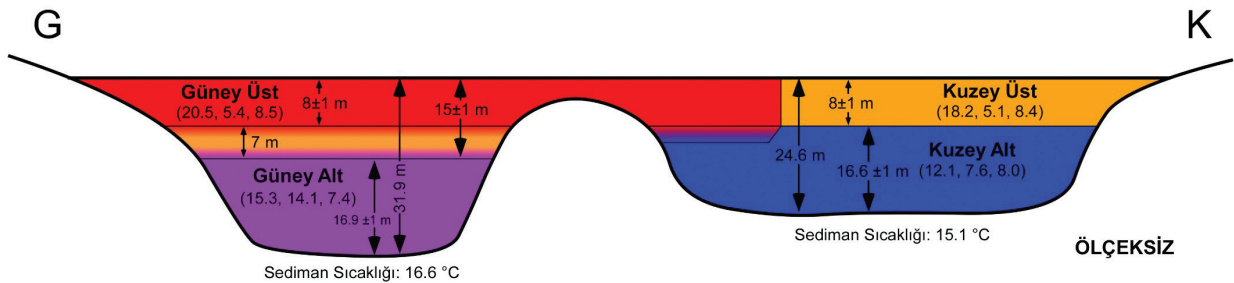
Şekil 8. Sediman sıcaklığı ile taban suyu arasındaki sıcaklık farkı dağılım haritası.

Figure 8. The distribution map of the temperature difference between sediments and bottom water.

yüksektir (Şekil 6). Bu durum, kaynaktan çıkan suyun sedimanları ısıtmasıyla açıklanabilir. SUB-3'deki çamur sıcaklığı ölçümü, kaynağın olduğu noktada tabanın kaya olması ve termoprobun saplanamamasından dolayı tam olarak bu noktada değil, kaynağın yaklaşık 90 m kuzeyinde yapılmıştır. Dikey su sıcaklığı profili de yine bu noktadan alınmıştır. Bu noktada, su sıcaklığında bir anomali gözlenmeyip sediman sıcaklığında bir anomali gözlenmiştir. Bu durum göstermektedir ki, 90 m uzaktaki sedimanlar sualtı kaynağı tarafından ısıtılmıştır. Ancak sualtı kaynağından çıkan sıcak su 90 m uzakta göl suyuyla karıştığından suda herhangi bir sıcaklık anomali vermemiştir (Şekil 4). Tabanın kaya olma durumu SUB-1 ve SUB-2'de de gözlemlenmiş, SUB-1'de 95 m kuzey doğudan, SUB-2'de 60 m kuzeyden ölçümler alınmıştır. Alınan bu ölçümlerde de, suda ve taban sedimanlarında herhangi bir sıcaklık anomali gözlenmemiştir (Şekil 5). Bunun nedeni, gerçek kaynak noktası ile ölçüm alınan nokta arasındaki

mesafenin, birbirinden etkilenmeyecek kadar çok olmasıdır.

Sualtı kaynak noktalarının çevresindeki sıcaklık anomalileri ile ilgili bir diğer ilginç konu, Avşar vd. (2017) tarafından soğuk sualtı kaynağı olarak tanımlanan SUBC-1 kaynağının etrafında, hem sedimanlarda hem de sularda pozitif bir anomali görünmesidir (Şekil 4 ve Şekil 6). Soğuk sualtı kaynaklarının, göl suyu ve taban sedimanlarını soğutması ve bu noktaların etrafında negatif bir sıcaklık anomali oluşturması gerekirdi. Sualtı soğuk su kaynakları, Avşar vd. (2017) tarafından göl suyunun sıcaklığının 20 C°'nin üstünde olduğu yaz aylarında keşfedilmiş ve sıcaklığı göl suyundan düşük olduğu için soğuk su kaynağı olarak kaydedilmiştir. Bu çalışmadaki ölçümler Nisan ayında yapıldığı için, göl suyu sıcaklığı yaz aylarına göre düşüktür ve çıkış sıcaklığı nispeten sabit olan sualtı kaynağı bu ölçümde pozitif bir sıcaklık anomalisine sebep olmuştur.



Şekil 9. Köyceğiz Gölü'nün taslak kesiti (Ölçeksiz. Parantez içindeki değerler sırasıyla sıcaklık (C°), EC (mS/cm) ve pH ölçümlerinin medyan değerleridir. Taban sediman sıcaklık değerleri medyan değerleridir).

Figure 9. Sketch cross section of the Lake Köyceğiz (Not to scale. The values in the parenthesis are the median values of temperature (°C), EC (mS/cm) and pH respectively. Bottom sediment temperature values are medians).

## SONUÇLAR

Çalışma sonucunda elde edilen bütün veriler birlikte değerlendirilerek Şekil 9'da sunulan taslak kesit oluşturulmuştur. Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Kuzey ve güneyde olmak üzere gölde iki farklı çanak bulunmaktadır. Kuzeydeki çanağın ölçülen en derin yeri 24.6 m iken güney çanağın en derin yeri 31.9 m'dir. Göldeki su ve sediman sıcaklıkları iki çanakta da farklılık göstermektedir.
- 40 noktada yapılan dikey sıcaklık, EC, ve pH ölçümleri gölde fiziksel özellikleri birbirinden farklı iki yatay su tabakası bulunduğunu göstermektedir. Bu yatay su tabakaları, güney ve kuzey çanakta birbirinden farklı fiziksel özellikler sunduğu için, gölde birbirinden farklı dört adet su kütlesi tanımlanmıştır.
- Kuzey çanakta üstteki tabakanın sıcaklığı 15.6 C° ile 20.2 C° arasında değişiyorken, alttaki tabakanın sıcaklığı 11.3 C° ile 13.5 C° arasında değişmektedir.
- Güney çanakta üstteki tabakanın sıcaklığı 18.4 C° ile 21.7 C° arasında değişiyorken (medyan: 20.5), alttaki tabakanın sıcaklığı genellikle 15.3 C° civarındadır.
- Üst tabakanın tabanı her iki çanakta da 8 ± 1 m derinliktedir. Güney çanakta iki tabaka arasında yaklaşık 7 m kalınlığında bir geçiş zonu vardır. Kuzey çanakta ise geçiş zonu yoktur ve değerler sert bir şekilde değişmektedir. Güney çanaktaki üst tabaka, ortada iki çanağı ayıran sırtı/yükseltiyi aşmış kuzey çanağına doğru hücum etmiştir. Alt tabakanın kalınlığı her iki çanakta da yaklaşık 17 m'dir.
- Kuzey çanaktaki taban sedimanlarının sıcaklığı (medyan: 15.1 C°), güney çanak sedimanlarının sıcaklığından (medyan: 16.6 C°) daha düşüktür.
- Sedimanların ve suların sıcaklıklarına bakıldığında güney çanakta hem sedimanların hem de suların sıcaklıkları (her iki tabaka için de) daha yüksektir. Bu durum, güneyde Sultaniye Kaplıcaları, Delibey Girmesi, Kelgirme ve sualtı termal kaynaklar ile açığa çıkan jeotermal aktiviteyle açıklanabilir.
- Göl tabanındaki suyun sıcaklığı taban sedimanlarının sıcaklığı ile karşılaştırıldığında, her iki çanakta da taban sedimanlarının, hemen üzerindeki sudan bir miktar daha sıcak olduğu gözlemlenmektedir. Ortadaki sırttan alınan ölçümlerde ise, su sıcaklığının sediman sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Sualtı kaynaklardan SUB-3 taban sedimanı sıcaklığını, SUBC-1 ise hem göl suyu sıcaklığını hem de taban sediman sıcaklığını arttırarak, çevrelerinde pozitif bir sıcaklık anomalisi oluşmasına neden olmaktadır.
- Bu çalışma, göl suyu ve taban sedimanları sıcaklığına odaklansa da, EC ve pH değerleri de ölçülmüştür. Ölçülen bu veriler analiz edildiğinde, EC değerlerinin her iki çanaktaki üst tabakada 5 mS/cm civarındayken, alt tabakada bir miktar yükselerek güneyde 14.1 kuzeyde ise 7.6 mS/cm medyan değerine ulaştığı görülmektedir. pH verileri ise, üst tabakada 8.5, alt tabakada güneyde 7.4 kuzeyde 8.0 değerine ulaşmaktadır.
- Sıcaklık, EC ve pH parametrelerine ilişkin değerler ve yorumlar Nisan ayı verileri sonuçlarıdır.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar, arazi çalışmalarına katılan Recep Karakaya'ya teşekkür eder. Bu çalışmadaki ölçümler, 112Y137 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında alınan CTD ve Termoprob Cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Avşar, Ö., Avşar, U., Arslan Ş., Kurtuluş, B., Niedermann, S., Güleç, N., 2017. Subaqueous hot springs in Köyceğiz Lake, Dalyan Channel and Fethiye-Göcek Bay (SW Turkey): Locations, chemistry and origins. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.07.016>
- Avşar, U., Jónsson, S., Avşar, Ö., Schmidt, S., 2016. Earthquake-induced soft-sediment deformations and seismically amplified erosion rates recorded in varved sediments of Köyceğiz Lake (SW Turkey). *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 121, 4767-4779, doi:10.1002/2016JB012820.
- Bayarı, C. S., Kazancı, N., Koyuncu, H., Çağlar, S. S., Gökçe, D., 1995. Determination of the origin of the waters of Köyceğiz Lake, Turkey. *Journal of Hydrology*, 166, 171-191.
- Bozkurt, E., Park, R. G., 1999. The structure of the Palaeozoic schists in the Southern Menderes Massif, western Turkey: a new approach to the origin of the main Menderes Metamorphism and its relation to the Lycian nappes. *Geodinamica Acta*, 12, 25-42.
- Ertürk, A., 2002. Köyceğiz-Dalyan Lagün Sistemi'nin hidrolik modellenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 178 s (yayımlanmamış).
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Cüceloğlu, G., Gönenç, E., 2017. Model-based assessment of groundwater vulnerability for the Dalyan Region of southwestern Mediterranean Turkey. *Regional Environmental Change*, 17 (4), 1193-1203.
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Güzel, C., Gönenç, E., 2014. Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed. *Science of the Total Environment*, 499, 437-447.
- Golden Software Inc., 2012. Surfer 10 versiyonu. Golden, Inc., CO 80401 USA.
- Gökgöz, A., Tarcan, G., 2006. Mineral equilibria and geothermometry of the Dalaman-Koycegiz thermal springs, southern Turkey. *Applied Geochemistry*, 21, 253-268.
- Hinsbergen, D. J. J., 2010. A key extensional metamorphic complex reviewed and restored: The Menderes Massif of western Turkey. *Earth-Science Reviews*, 102, 60-76.
- Hinsbergen, D. J. J., Dekkers, M. J., Bozkurt, E., Koopman, M., 2010. Exhumation with a twist: paleomagnetic constraints on the evolution of the Menderes metamorphic core complex (western Turkey). *Tectonics*, 29, 1-33.
- Kazancı, N., Girgin, S., 2001. Physico-chemical and biological characteristics of thermal springs in Köyceğiz and Dalaman basins in southwestern Turkey and recommendations for their protection. *Water Science and Technology*, 43 (5), 211-221.
- Kazancı, N., Plasa, R. H., Neubert, E., İzbirak, A., 1992. On the limnology of Lake Köyceğiz (SW Anatolia). *Zoology in the Middle East*, 6 (1), 109-126.
- Rimmelé, G., Jolivet, L., Oberhänsli, R., Goffé, B., 2003a. Deformation history of the high-pressure Lycian nappes and implications for tectonic evolution of SW Turkey. *Tectonics*, 22, 1007-1027.
- Rimmelé, G., Oberhänsli, R., Goffé, B., Jolivet, L., Candan, O., Çetinkaplan, M., 2003b. First evidence of high-pressure metamorphism in the "Cover Series" of the southern Menderes Massif. Tectonic and metamorphic implications for the evolution of SW Turkey. *Lithos*, 71, 19-46.
- Şenel, M., 1997. 1:100000 Ölçekli, Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi. No. 1, Jeoloji Haritası Fethiye L7 paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 30 s.



Avşar, Kurtuluş

Sözbilir, H., Sarı, B., Uzel, B., Sümer, Ö., Akkiraz, S., 2011. Tectonic implications of transtensional supradetachment basin development in an extension-parallel transfer zone: the Kocaçay Basin, western Anatolia, Turkey. *Basin Research*, 23, 423-448.

Ten Veen, J. H., Boulton, S. J., Alçiçek, M. C., 2009. From palaeotectonics to neotectonics in the Neotethys realm: the importance of kinematic decoupling and inherited structural grain in SW Anatolia (Turkey). *Tectonophysics*, 473, 261–281.



Araştırma Makalesi / Research Article

## Trabzon Civarındaki Fay Türü Jeolojik Yapıların Gravite Verileri Kullanılarak Belirlenmesi

*Identification of Fault Type Geological Structures around Trabzon by Using Gravity Data*

Ali ELMAS 

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (Received): 2 Mayıs (May) 2017, Düzeltme (Revised): 12 Eylül (September) 2017, Kabul (Accepted): 19 Eylül (September) 2017

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Trabzon civarındaki fay türü jeolojik yapıların gravite verileri kullanılarak belirlenmesidir. Bu amaçla toplam yatay türev, analitik sinyal, eğim açısı ve hiperbolik eğim açısı teknikleri kullanılmıştır. Kullanılan bu teknikler bölgeye ait gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerine uygulanmıştır. Bölgeye ait fay türü jeolojik yapılar belirlenirken, toplam yatay türev ve analitik sinyal haritalarının maksimum genlik değerleri ile eğim açısı ve hiperbolik eğim açısı haritalarının sıfır genlik değerlerinden yararlanılmıştır. Temel kaya topoğrafyası, Parker-Oldenburg algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Belirlenen fay türü jeolojik yapılar, bölgedeki mevcut faylarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile önceki çalışmalar arasında iyi bir uyum olmakla birlikte, yeni fay türü jeolojik yapılar bulunmuştur. Bu fay türü jeolojik yapıların bölgedeki dağılımı ile bölgedeki maden yataklarının dağılımı ve bölgede yaşanmış depremlerin dış merkez dağılımları arasında önemli bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, bölgenin jeolojik yapısının daha iyi anlaşılması için yapılacak çalışmalara ve büyük ölçekli jeolojik araştırmalara yol gösterecek şekilde sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca çalışmanın sonuçlarının, yeni maden yataklarının aranmasında ve deprem açısından riskli yerlerin belirlenmesinde yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Analitik Sinyal, Eğim Açısı, Hiperbolik Eğim Açısı, Trabzon ve Civarı, Toplam Yatay Türev.

### ABSTRACT

*The aim of this study is to define the fault related geological structures using gravity data around Trabzon. For this purpose, horizontal gradient magnitude, analytic signal, tilt angle, and hyperbolic of tilt angle techniques were operated. By applying these techniques to the first vertical derivative of the regional gravity data, faults-related geological structures were identified from maximum amplitude values with horizontal gradient magnitude and analytic signal maps, and zero amplitude values of the tilt angle and hyperbolic of tilt angle maps for this region. The basement topography was calculated using the Parker-Oldenburg algorithm. Identified fault-related geological structures were compared with the existing faults in the region. Although there is a good agreement between this study and the previous studies, some new fault-related structures were also identified. There is a significant relationship among the distribution of the fault-related geological structures, mineral deposits, and also earthquake epicenters in the region. This study was resulted to shed some light on the other following small to large scale geological studies*

*for better understanding of the geological structure of the region. It is also believed that the results of the study may be a guide to the search for new mineral deposits and the identification of risky locations for earthquakes.*

**Keywords:** *Analytic Signal, Tilt Angle, Hyperbolic of Tilt Angle, Trabzon and Vicinity, Horizontal Gradient Derivative.*

## GİRİŞ

Önem taşıyan ve yer altında bulunan jeolojik birimlerin araştırılmasında, sahada direk gözlemin her zaman mümkün olmadığı durumlarda başka tekniklerden yararlanılması gerekir. Örneğin altın aramacılığında jeofizik yöntemlerden yararlanılarak altın bulunmuştur (Ercan vd., 2014).

Anadolu'nun kuzeydoğusunda, Karadeniz sahiline paralel uzanan Doğu Pontidler, çeşitli mineral sistemlerini içerir (Akaryalı ve Tüysüz, 2013). Çalışma alanı, Doğu Pontidler'in kuzey zonu içerisinde kalmaktadır (Şekil 1). Uluslararası Sismoloji Merkezi (ISC) verilerine göre bölge eski çağlardan beri birçok deprem yaşamıştır. Bölgede deprem odak derinlikleri genellikle 15 km civarındadır, ancak az da olsa 50 km'lere kadar inmektedir (Şekil 2).

Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzey kesimlerinin genel jeolojisine ve stratigrafisine bakıldığında, Paleozoyik'ten Pliyosen'e kadar değişik yaşta ve türde kayaçların varlığı gözlenir. Metamorfitlet üzerine uyumsuzlukla gelen Mesozoyik yaşlı ilk volkano-tortul seri, birçok yerde Kuzey Zon'un en alt stratigrafik birimidir ve Schultze-Westrum (1961) tarafından "Alt Bazik Seri" olarak adlandırılmıştır. Yılmaz (1984)'e göre, split-bazalt, aglomera, tuf ve marnlardan oluşan Liyas yaşlı kayaçlar daha sonra granitler tarafından kesilmekte ve Senoniyen yaşlı dasit, tuf ve breşlerle uyumsuz olarak örtülmektedir. Bektaş vd. (1987) ise Liyas volkanizmasının bölgenin kuzeyinde bazaltik-dasitik volkanizmayla temsil edildiğini ve

kuzeydeki havzaların yay içi havzalar özelliğinde olduğunu belirtmiştir.

Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzey kesimindeki birimler değişik tip maden yataklarına ev sahipliği yapmaları açısından önem taşırlar. Aslaner ve Gedikoğlu (1984)'ün Harşit yöresindeki çalışmalarına göre, Üst Kretase kayaçları, tabanda piritli dasitik kayaçlarla başlamakta ve üste doğru sırasıyla, volkano-tortul seriyile, hiperstenli-ojitli bazaltlarla, mor ve afanitik dasit ve dasitik tüflerle devam etmektedir. Pontid tipi masif sülfid yataklarının ana kayacını Üst Kretase yaşlı dasit ve bunların piroklastitlerinin oluşturduğu ve bunları hematitli dasit, riyodasit, andezit, bazalt ve bunların piroklastitlerinden oluşan değişik kayaç gruplarının örttüğü ifade edilmiştir. Trabzon ve yakın çevresinde, birbirinden ayrı ve değişik fasiyeslerde gelişmiş kırıntılı çökeller Plio-Kuvaterner yaşlıdır ve bunlar Neojen volkanitlerinin üzerine uyumsuzlukla gelirler (Aydın vd., 2008).

Aydın vd. (2008), Neojen alkali volkaniklerin petrojenez özelliklerini çalışarak, çalışma alanını da içeren Doğu Pontidler'in çarpışma sonrası litosferik incelmelerini araştırmıştır. Ersoy vd., (2014), Saraftepe (Trabzon) civarında jeolojik ve jeomekanik özellik araştırması yaparak, bölgeye ait jeolojik yapıları ortaya koymaya çalışmıştır. Maden vd. (2009), ampirik ilişki, güç spektrumu ve gravite ters çözüm tekniklerini gravite verileriyle kullanarak, bölgenin jeolojik yapısını araştırmıştır. Maden (2013), yüzey ısı akısı yoğunluğu ve kabuk yapısı verilerini kullanarak,

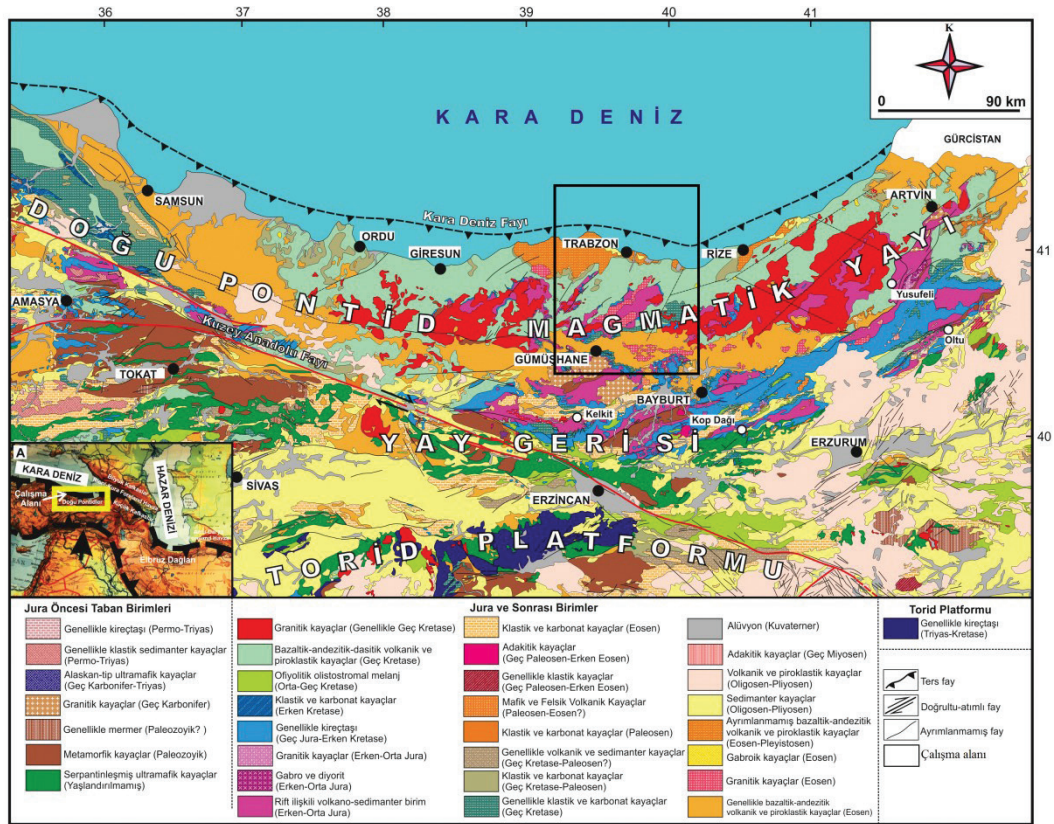
bölgenin jeodinamik evrimini anlamaya çalışmıştır. Çavşak ve Elmas (2013), bölgeye ait gravite verilerini kullanarak, ters çözüm tekniği ile bölgedeki tabaka yoğunluklarını ve kalınlıklarını belirlemeye çalışmıştır. Babacan vd. (2014), sismik tomografi ve yüzey dalgası analizi yöntemlerini kullanarak, Trabzon civarındaki volkanik kayaların evrimini araştırmıştır.

Bu çalışmada ise bölgeye ait bölgesel gravite verilerinin birinci düzey türev değerleri

çeşitli sınır analiz teknikleri ve ters çözüm tekniği ile değerlendirilerek, Trabzon civarındaki sığ ve derinde olan muhtemel fay türü yapılar ve çizgisellikler araştırılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanının içinde bulunduğu bölgenin jeolojisi ve bölgedeki önemli yapısal elemanlar Şekil 1'de, sismik aktivitesi ise Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresin ana tektonik yapıları ve jeolojik birimleri (Eyüboğlu vd., 2007'den düzenlenmiştir).

Figure 1. The main tectonic structures and geological units of the study area and its vicinity (after Eyüboğlu et al., 2007).

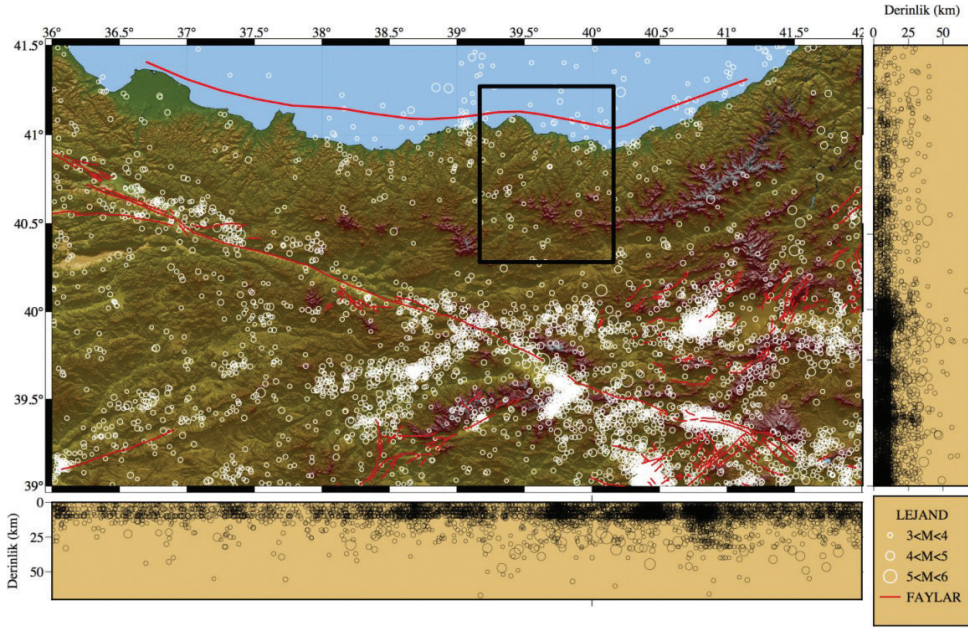


Elmas

Bektaş vd. (1999), Eyüboğlu (2010), Maden (2013), Eyüboğlu vd. (2014) farklı veri setleri kullanarak, çalışma alanını da kapsayan Doğu Pontidler Bölgesi'ndeki fayları araştırmışlardır. Bu çalışmada ise Trabzon ve civarına ait bölgesel gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri kullanılarak, bölgeye ait fay türü jeolojik yapılar ve çizgisellikler belirlenmeye çalışılmıştır.

türü yapıları ve çizgisellikleri belirlemek için de Arısoy ve Dikmen (2011) tarafından geliştirilen, TYT, AS, EA ve HEA sınır analiz tekniklerini de içeren POTENSOFT programı kullanılmıştır.

Uluslararası Sismoloji Merkezi (ISC) veritabanından derlenen, 1996-2016 yıllarına ait moment magnitüdüleri 3.0'dan büyük olan depremlerin dış merkez ve odak derinlik



Şekil 2. Çalışma alanı içerisinde 1983-2013 yılları arasında meydana gelen moment magnitüdü 3.0'dan büyük depremlerin dış merkez ve odak derinliği dağılımları. Kırmızı çizgiler MTA'nın güncel fay haritasından derlenen tektonik çizgisellikleri temsil eder. Deprem dağılımları ISC kataloğundan derlenmiştir.

Figure 2. Epicenter and hypocenter distribution of the earthquakes with moment magnitudes greater than 3.0 in the study area between 1983 and 2013. The red lines represent the tectonic lineaments compiled from the MTA's current fault map. Earthquake distributions are compiled from the ISC catalog.

Parker-Oldenburg algoritması, temel kaya ara yüzey geometrisini görüntülemek için son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Oruç vd., 2013; Oruç ve Sönmez, 2017). Bu çalışmada, bölgenin temel kaya topoğrafyasını görüntülemek için bu algoritma kullanılmıştır. Gomez-Ortiz ve Agarwal (2005) bu algoritmayı Matlab programlama diliyle yazarak geliştirmişlerdir. Çalışma alanındaki yeni fay

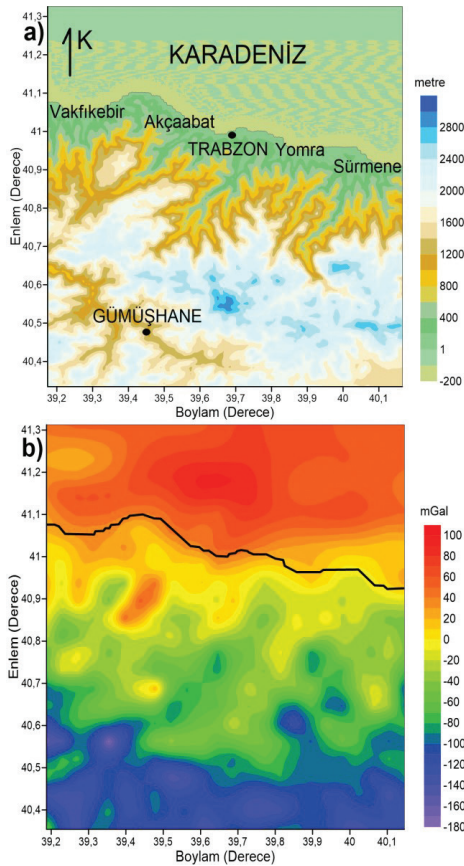
dağılımları Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2'de, deprem dış merkez dağılımlarının çoğunun fay zonlarında kümелendiği dikkat çekmektedir. Deprem odak derinliklerinin ise ilk 15 km derinlikte yoğunlaştığı, ancak az da olsa 50 km derinliğe kadar indiği görülmektedir.

Şekil 3a'da görülen çalışma alanına ait topoğrafya verileri 30'' (1 km) aralıklı



çözünürlüğü olan Küresel Sayısal Yükseklik Modeli'nden (GTOPO30) (USGS, 1998), Şekil 3b'de görülen çalışma alanına ait Bouguer gravite verileri ise Dünya Gravite Modeli'den (EGM08) elde edilmiştir (Pavlis vd., 2008).

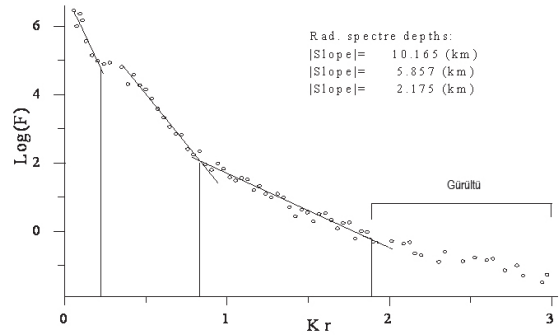
Tektonik yapılarla ilgili olarak minimum gravite değerleri bölgenin güney kısmında, maksimum gravite değerleri ise bölgenin kuzey kısmında görülmektedir (Şekil 3b). Tektonik yapılarla ilişkili olarak, gravite ve topoğrafya değerleri farklı doğrultularda yönelimler sergilemektedir (Şekil 3a ve 3b).



Şekil 3. a) Çalışma alanının topoğrafik haritası ve b) Bouguer gravite haritası.

Figure 3. a) Topographical map and b) Bouguer gravity map of the study area.

Çalışma alanına ait ara yüzeylerin derinlikleri, ilk olarak Spector ve Grant (1970) tarafından geliştirilen güç spektrumu tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Bu teknik, gravite verilerinin 2B Fourier dönüşümüne bağlıdır. Ara yüzey derinlikleri, dalga sayısı ile gravite verilerinin logaritmik güç spektrumu arasındaki doğrusal ilişkinin eğiminden elde edilir. Hesaplama sonucunda üç farklı ara yüzey derinliği bulunmuştur (Şekil 4). Güç spektrumundan yararlanılarak bulunan derinlikler sırasıyla 2.175 km, 5.857 km ve 10.165 km ile sediment, temel kaya ve Conrad ara yüzeylerine aittir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanına ait gravite verilerinin güç spektrumu.

Figure 4. Power spectrum of the gravity values of the study area.

Güç spektrumu tekniği kullanılarak 5.857 km derinlik değeri hesaplanan temel kaya ara yüzeyinin topoğrafyasını belirlemek için de Parker-Oldenburg algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, topoğrafya ara yüzeyinin Fourier dönüşümü ile gravite verilerinin Fourier dönüşümü arasındaki bağıntıya dayanır. Bu bağıntı, jeolojik yapının bir ara yüzeyinin yoğunluğundan ve belirlenen derinliğinden yinelenerek oluşturulur (Parker, 1973; Oldenburg, 1974). Düzensiz bir homojen tabakanın gravite

değerlerini hesaplamak için kullanılan Fourier dönüşümü aşağıdaki gibidir:

$$f[z_1(x)] = -\frac{f[\Delta g(x)]e^{k|z_0|}}{2\pi G\rho} - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{|k|^{n-1}}{n!} f[z_1^n(x)], \quad (1)$$

Burada  $f[\Delta g(x)]$ ,  $z_0$ ,  $z_1(x)$ ,  $k$ ,  $G$ , ve  $\rho$  parametreleri, jeolojik yapının ara yüzeyinin sırasıyla gravite değerlerinin Fourier dönüşümü, ortalama derinliği, her ölçü noktası altındaki derinlik, dalga sayısı, gravitasyonel sabiti ve yoğunluğudur. Ara yüzey topoğrafyasının yoğunluğunu hesaplamak için  $z_0$  ve  $\Delta g(x)$  değerleri yinelemeli olarak Formül 1'de kullanılır. Ara yüzey derinliğinin ilk tahmini değeri ters Fourier dönüşümü ile sağlanır. Ayrıca, bu derinlik değeri, Formül 1'in sağ tarafını bulmak için kullanılır. Böylece, ikinci derinlik değerinin belirlenmesi sağlanır. Yinelemeler yakınsama kriterine ulaşıncaya kadar devam ettirilir.

### Fay Türü Yapıları ve Çizgisellikleri Belirleme Teknikleri

Literatürde mevcut gravite çalışmalarında, fay türü yapıları ve çizgisellikleri belirlemek için Toplam Yatay Türev (TYT), Analitik Sinyal (AS), Eğim Açısı (EA) ve Hiperbolik Eğim Açısı (HEA) teknikleri genellikle Bouguer gravite verilerine göre düzenlenmiştir (Nabighian, 1972; Miller ve Singh, 1994; Cooper ve Cowan, 2006; Lyngsie vd., 2006). Gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerinin kullanımının faydalarını ilk kez Evjen (1936) belirtmiştir. Alçak geçişli süzgeç kullanılmasıyla elde edilen gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerinin yorumlanmasında, fay türü jeolojik yapıları görüntülemek için EA tekniğinin ilk kullanımı Oruç ve Keskinsezer (2008) ve

Oruç (2010) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise yukarıda bahsedilen teknikler, bölgesel gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerine uygulanmıştır. Bu sebeple, öncelikle bölgeye ait Bouguer gravite verilerinden bölgesel ve yerel gravite verilerini elde etmek için Butterworth alçak geçişli süzgeç kullanılmıştır. Daha sonra, bölgesel gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerini hesaplamak için Hızlı Fourier dönüşümü (FFT) Yöntemi (Gunn, 1975) kullanılmıştır.

Özellikle potansiyel alan verileri ile sığ veya derin faylar arasındaki ilişkiyi görüntüleyebilmek için kullanışlı olan TYT tekniği, Jeolojik yapıların yanal süreksizlik sınırlarını belirleyebilmek için kullanılmaktadır (Lyngsie vd., 2006). TYT'nin genliği, birinci düşey türev değerlerine göre Formül 2'de verildiği gibi ifade edilir:

$$T(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2} \quad (2)$$

Burada  $\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}$  ve  $\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}$  terimleri bölgesel gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerinin x ve y yönlerindeki değişimlerini ifade etmektedir.

AS tekniği potansiyel alan verilerinin yorumlanması için Nabighian (1972) tarafından kullanılmıştır. Anomaliye sebep olan jeolojik yapılar üzerinde çan şeklinde anomaliler üreten ve yapı kenarlarında maksimum genlik veren AS tekniği yaygın olarak kullanılır (Nabighian, 1972) ve Formül 3'teki gibi tanımlanır:

$$A(x, y, z) = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right)^2} \quad (3)$$

Burada  $\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}$ ,  $\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}$  ve  $\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}$  terimleri bölgesel gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerinin

x, y, ve z yönlerindeki değişimlerini ifade etmektedir.

Literatürde TYT ve AS tekniklerinin en çok tartışılan zayıf yönü, derin veya düşük yoğunluk sunan yeraltı yapılarına ait kenarlarda düşük genlik sunmaları ve böylece bu yapılara ait kenar etkilerini yeterince yansıtamamalarıdır (Miller ve Singh, 1994; Cooper ve Cowan, 2006). Her iki yöntemin bu zayıf noktasından yola çıkan araştırmacılar son yıllarda normalize edilmiş türev yöntemleri başlığı altında teknikler geliştirmişlerdir (Miller ve Singh, 1994; Cooper ve Cowan, 2006). Bu tekniklerden birincisi EA tekniğidir ve hem sığ, hem de derin yapılar için iyi sonuçlar vermektedir (Miller ve Singh, 1994). EA tekniği, yoğunluk farkının güçlü veya zayıf olması durumunda iyi sonuç verir. Eğer yoğunluk farkı pozitifse, EA değerinin işareti anomaliye sebep olan kaynağın üzerinde pozitif, kenarlarında sıfır ve dışında negatif olur. Formül 4'e göre, düşey türevin toplam yatay türeve oranının ark tanjantı, eğim açısı haritasında sıfır değerler üretir. Bu sıfır değerli konturlar jeolojik birimlerin ve fay tipi yapıların, yoğunluk değişimlerine bağlı olarak yanal süreksizlik sınırlarını temsil etmektedir (Miller ve Singh, 1994).

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2}} \right) \quad (4)$$

Burada  $\varphi$  parametresi EA'nın genliğini temsil eder.

Bu çalışmada kullanılan son teknik, Cooper ve Cowan (2006) tarafından, jeolojik yapıların yanal süreksizlik sınırlarının etkin bir şekilde belirlenebilmesi için önerilen HEA tekniğidir. Formül 5'te gösterildiği gibi bu teknikte, EA

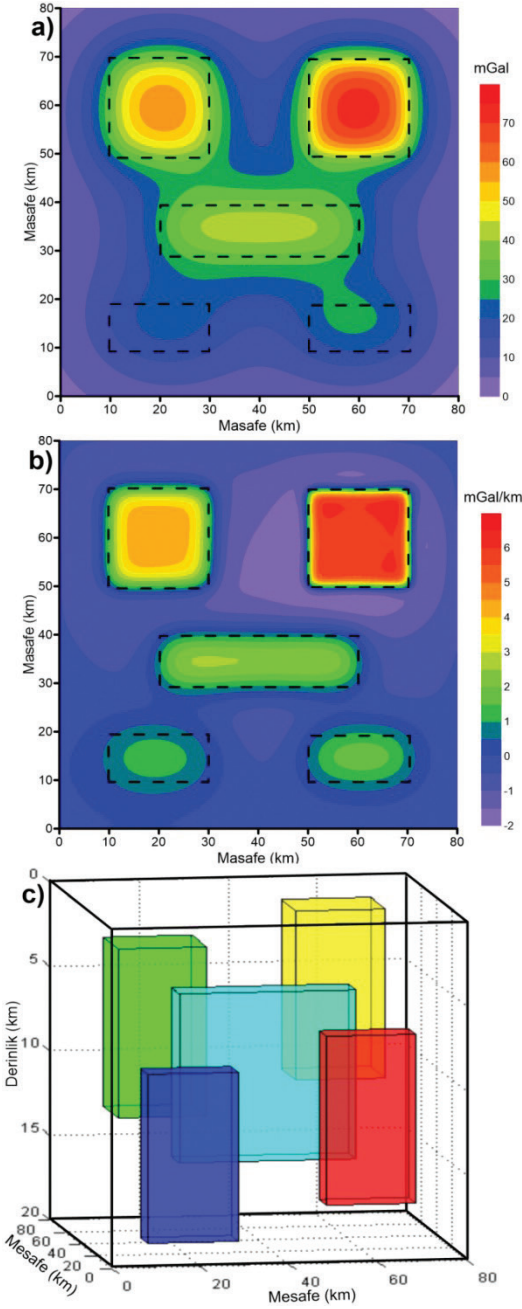
teknikinden farklı olarak düşey türev ve toplam yatay türev değerlerinin oranları hiperbolik olarak ifade edildiğinden, sonuç açısal değil, skaler bir büyüklüktür. HEA tekniği de EA tekniğine benzer biçimde hem sığ, hem de derin jeolojik yapıların yanal süreksizlik sınırlarını belirlemede iyi sonuçlar verir (Cooper ve Cowan, 2006). EA tekniğinde olduğu gibi bu teknikte de eğer yoğunluk farkı pozitifse, HEA değerinin işareti anomaliye sebep olan kaynağın üzerinde pozitif, kenarlarında sıfır ve dışında negatif olur (Cooper ve Cowan, 2006).

$$H\varphi = R \left[ \tanh^{-1} \left( \frac{\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2}} \right) \right] \quad (5)$$

Burada R reel bileşen ve  $H\varphi$  ise HEA'nın genliğidir.

Şekil 5c'de, yoğunluk farkları aynı ( $0.3 \text{ g/cm}^3$ ) olan farklı derinlik ve boyutlara sahip beş dikdörtgen cisimden oluşan sentetik model görülmektedir. Sentetik modelin etkilerini, çizgisel yapıları belirlemede kullanılan teknikler üzerinde görmek için, Arısoy ve Dikmen (2011) tarafından geliştirilen POTENSOFT yazılımı kullanılmıştır. Cisimler aynı yoğunluk farkına sahip olmalarına rağmen, yüzeyden olan derinlikleri sırasıyla 1, 3, 5, 7 ve 9 km olarak tasarlanmıştır (Şekil 5c). Bu modelden hesaplanan gravite haritası Şekil 5a'da görülmektedir. Hesaplanan gravite verilerinin birinci düşey türev haritası ise Şekil 5b'de görülmektedir. Şekil 5a ve 5b karşılaştırıldığında, farklı derinliklerdeki cisimlerin konumlarını görüntüleme işleminde, türev haritasının gravite haritasına göre daha başarılı sonuç verdiği görülmektedir. Daha sonra ise, TYT, AS, EA ve HEA teknikleri, sentetik modelden hesaplanan gravite verilerinin birinci düşey türev değerleri ile test edilmiştir.

Elmas

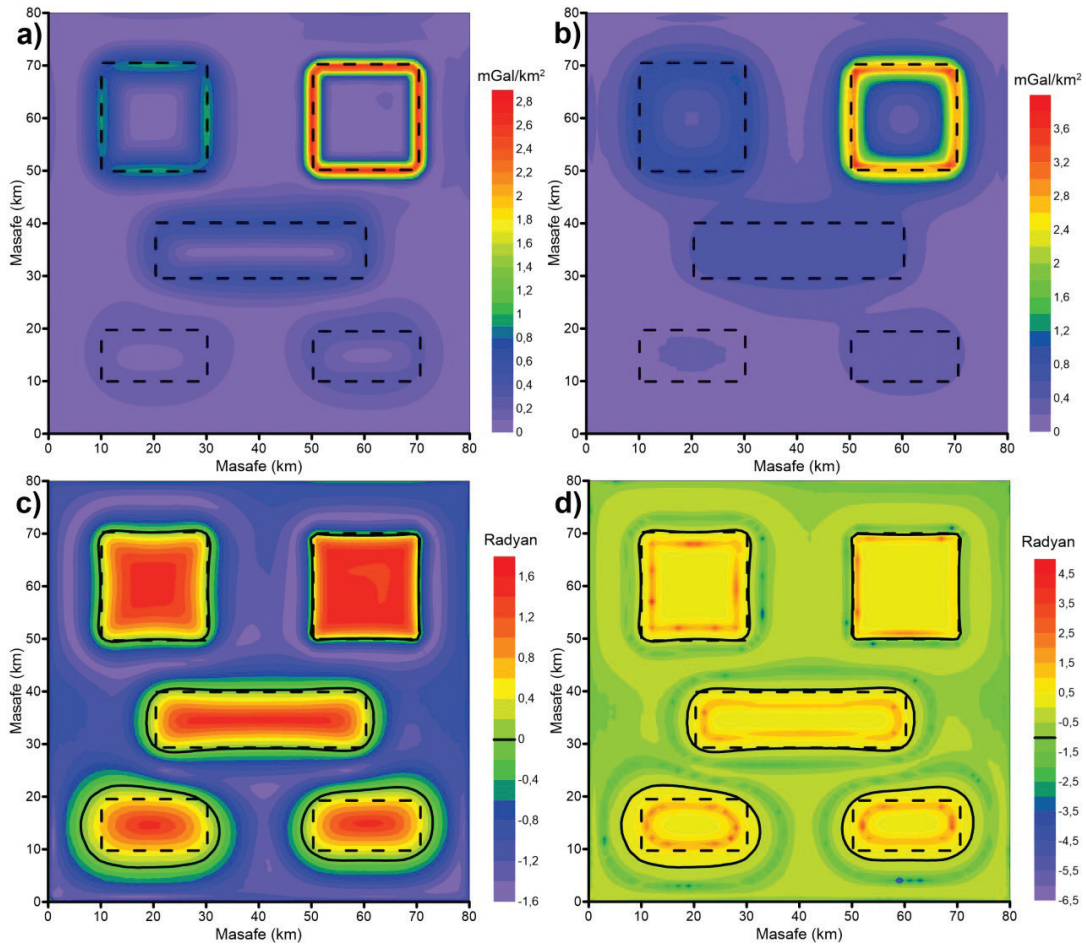


Şekil 5. a) Sentetik modelin gravite haritası, b) gravite verilerinin birinci düşey türev haritası, c) sentetik modelin şematik gösterimi.

Figure 5. a) The gravity map of the sythetic model, b) the first vertical derivative map of the gravity values, c) schematic presentation of the model.

Şekil 6a'daki TYT tekniğinin sonucuna göre, sığ cisimlerin yanal süreksizlik sınırları iyi bir biçimde görüntülenebiliyorken, cismin derinliği arttıkça bu netliğin azaldığı görülmektedir. TYT tekniğinin doğasından dolayı, cismin derinliği arttıkça, maksimum genlikte hızlı bir azalma olur (Şekil 6a). Böylece bu tekniğin sığ cisimlere daha duyarlı olduğu anlaşılmaktadır. Başka bir deyişle, sarı ve yeşil renkli cisimler diğer cisimlere göre daha kolay görüntülenmiştir (Şekil 5c ve 6a). Bu çalışmada kullanılan ikinci sınır analiz tekniği olan AS tekniği, TYT tekniğindeki benzer sonuçlar verirken, AS haritası sığ cisimlerin sınırları boyunca kümelenme formları sunmaktadır. Bu tekniğin kullanılmasıyla da, TYT tekniğine benzer olarak, sığ cisimlerin yanal süreksizlik sınırları görüntülenebiliyorken, derin cisimlerin sınırlarının iyi bir şekilde belirlenemediği görülmüştür (Şekil 6b). EA ve HEA tekniklerinin sonuçları Şekil 6c ve 6d'de görülmektedir. Bu iki tekniğin genlik haritalarına bakıldığında, cisimlerin sınırları üzerinde sıfır genlik değerleri görülür. EA ve HEA teknikleriyle, cisim derinlikleri değişmesine rağmen, hem sığ hem de derinde olan cisimlerin sınırları gerçeğe yakın olarak belirlenmiştir.





Şekil 6. Sentetik modelin; a) TYT haritası, b) AS haritası, c) EA haritası, d) HEA haritası.

Figure 6. a) Horizontal gradient, b) analytic signal, c) tilt angle, d) hyperbolic of tilt angle maps of the synthetic model.

### Çalışma Alanı Verileriyle Yapılan Çalışmalar

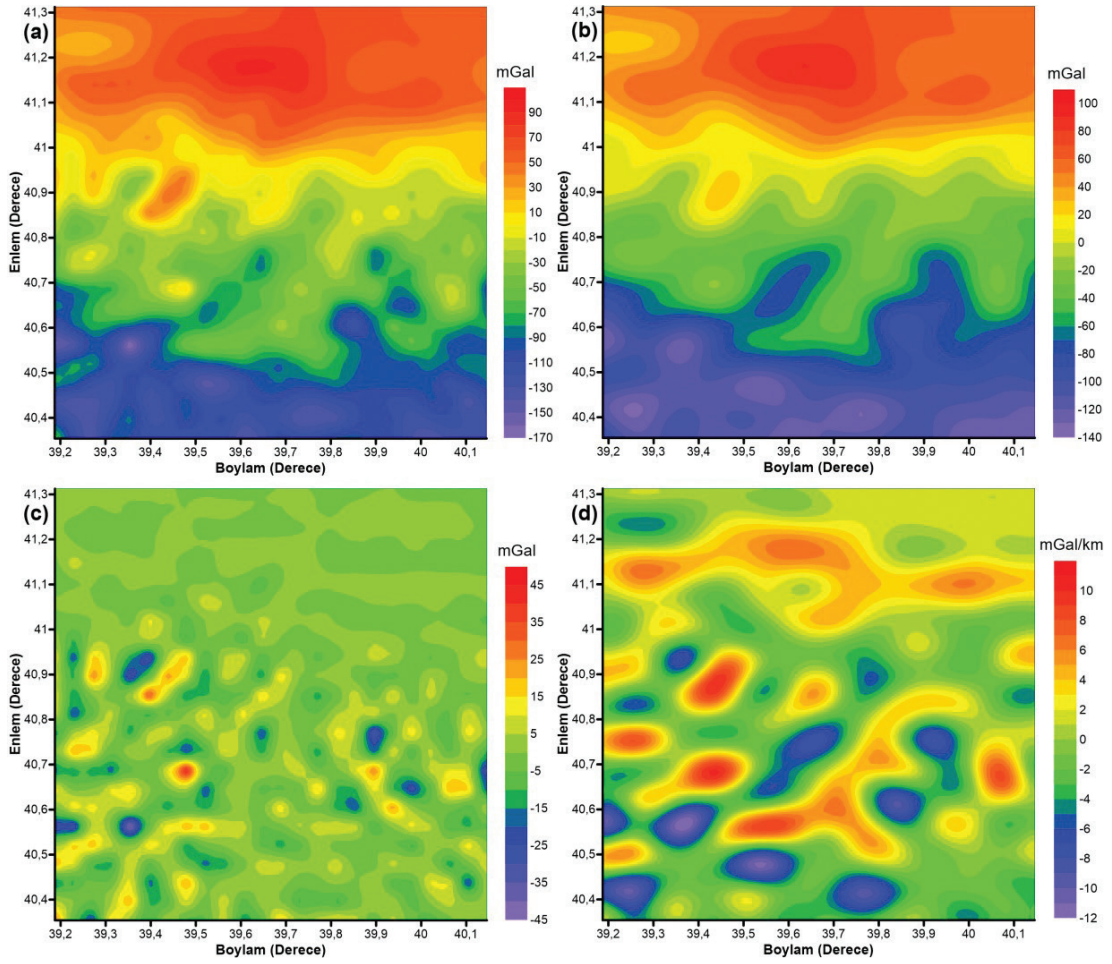
Bölgeye ait topoğrafya, Bouguer gravite ve bölgesel gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerinin, çizgisel belirti verebilecek yapılarla ve bölgenin temel kaya topoğrafyasıyla ilişkili olarak doğu-batı, kuzey-güney ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu uzanımlar sergiledikleri görülmektedir (Şekil 3a, 7a ve 7d). Tabaka kalınlıklarındaki azalmaya bağlı olarak gravite değerleri güneyden kuzeye doğru artmaktadır.

Bölgede çizgisellik gösteren yapıları belirleyebilmek için temel kaya topoğrafyasının

belirlenmesi oldukça önemlidir. Çalışma alanını da içine alan Doğu Pontidler Bölgesi'nde temel kaya topoğrafyasının derinliğinin, güç spektrumu kullanılarak 4.1 km ile 6.2 km arasında değiştiği belirlenmiştir (Maden, 2013). Bölgedeki depremler genellikle ilk 15 km derinde oluştuğu için bu sonuç bölgenin sismisitesiyle uyumludur (Şekil 2). Bölgenin bölgesel gravite anomalisinin elde edilmesi için alçak geçişli süzgeç kullanılmıştır. Bouguer gravite, bölgesel gravite, yerel gravite ve bölgesel gravitenin birinci düşey türev haritaları sırasıyla Şekil 7a, 7b, 7c ve 7d'de görülmektedir.



Elmas

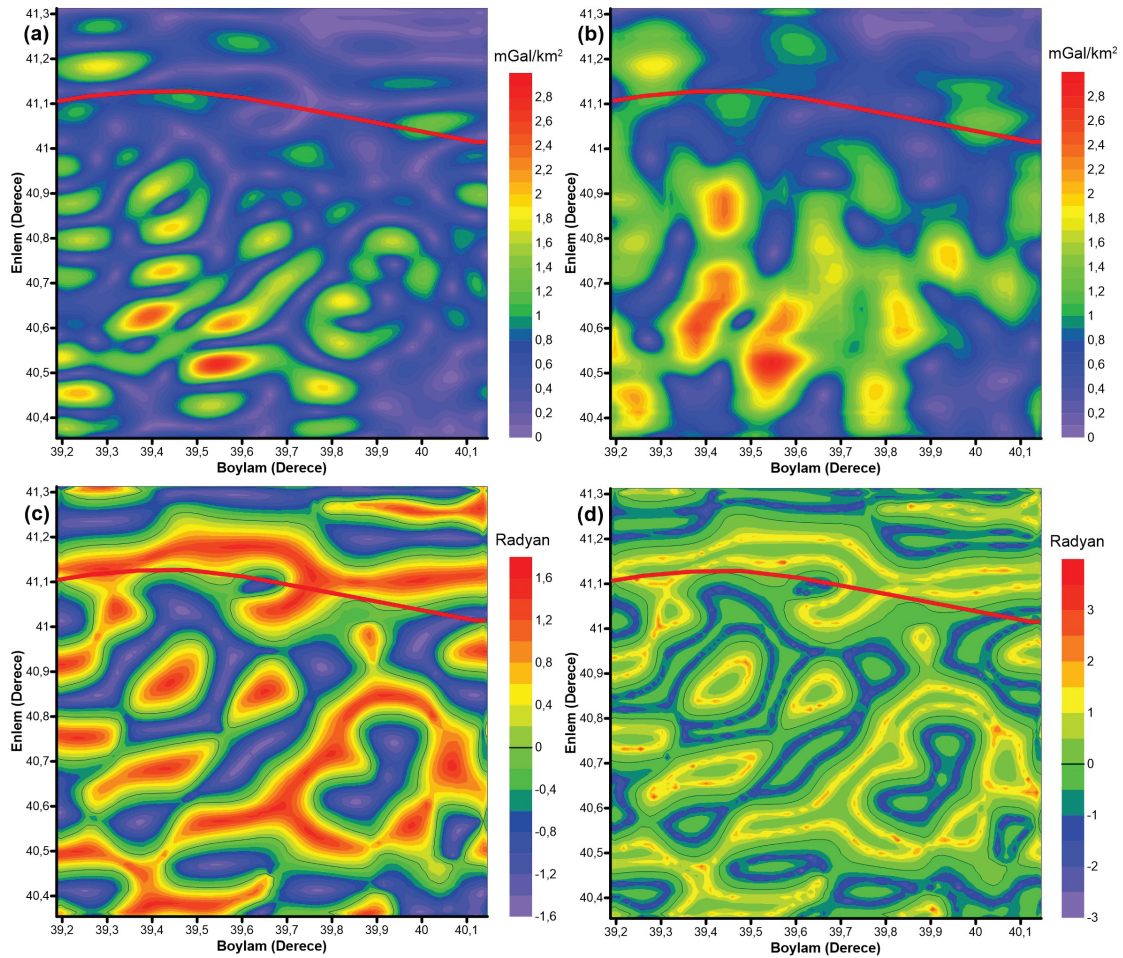


Şekil 7. a) Bouguer gravite haritası, b) bölgesel gravite haritası, c) yerel gravite haritası, d) bölgesel gravite verilerinin birinci düşey türev haritası.

Figure 7. a) The gravity map, b) the regional gravity map, c) local gravity map, d) the first vertical derivative map of the regional gravity values.

Bölgesel gravite verilerinin birinci düşey türev değerlerinden hesaplanan TYT ve AS genliklerinin maksimum değerleri ile EA ve HEA

genliklerinin sıfır değerleri, çalışma alanındaki tektonik süreksizlikleri ve çizgisellikleri gösteren yapıları temsil etmektedir.



Şekil 8. Çalışma alanının; a) TYT haritası, b) AS haritası, c) EA haritası, d) HEA haritası. (Kırmızı çizgi Karadeniz'de sahile yakın olan bilinen faydır (ISC)).

Figure 8. a) The horizontal gradient map, b) the analytic signal map, c) the tilt angle map, d) the hyperbolic of tilt angle map of the region. (Red line represents the known fault of the region (ISC) close to the coast).

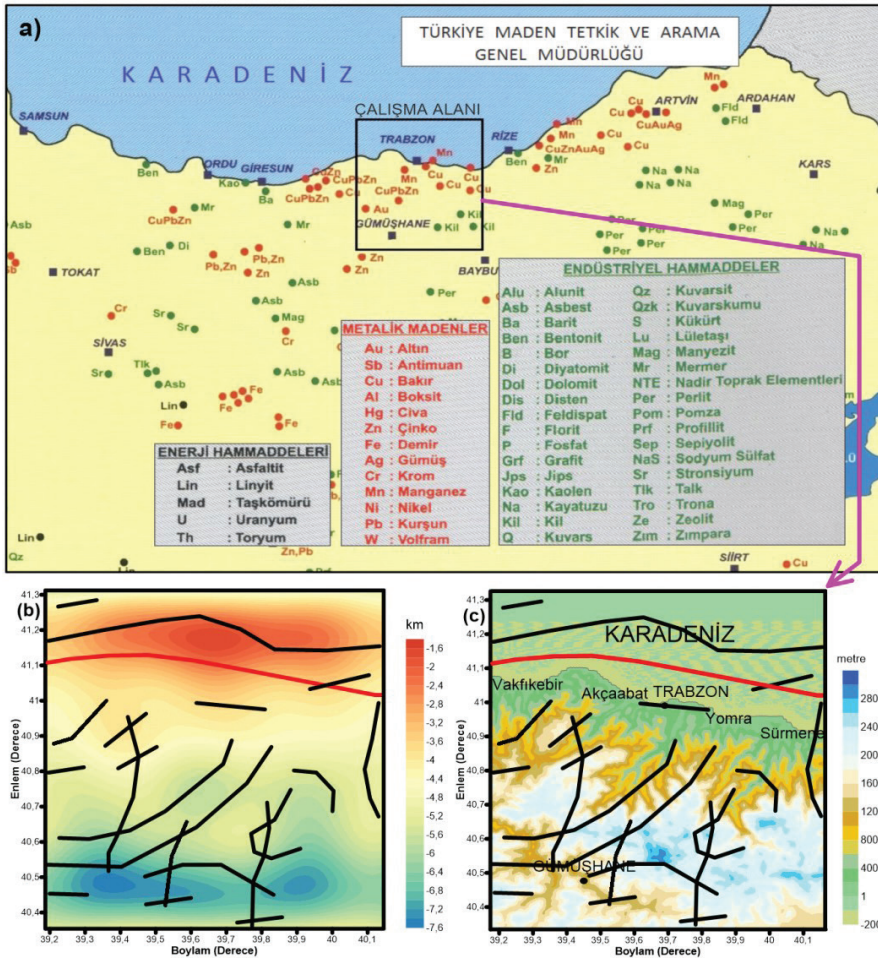
TYT ve AS'nin maksimum genlik değerleri tektonik süreksizliklerin doğu-batı, kuzey-güney ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu uzanımlar sergilediklerini göstermektedir (Şekil 8a ve 8b). TYT ve AS sonuçları, çalışma alanında çizgisellik gösteren sığ yapıları gösterir. Böylece, çalışma alanının bazı kısımlarındaki yeni fay türü yapılar ve yoğunluk farkı sunan kütle sınırları, TYT ve AS haritalarında görülebilir. EA ve HEA haritalarına bakıldığında, çizgisellik

gösteren hem derin hem de sığ yapılar üstünde sıfır genlik değerleri görülmektedir (Şekil 8c ve 8d). Bu yapılar da doğu-batı, kuzey-güney ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu uzanımlar sergilemektedir.

Altın ve gümüş mineralleri gibi ekonomik değeri olan birçok maden yatağı ağırlıklı olarak tektonik süreksizlikler ile yakın ilişkili oldukları için (Ercan vd., 2014), çalışma

alanındaki maden yataklarının yerleri ve yeni bulunmuş çizgiselliklerin uzanımları gözlemsel olarak karşılaştırılmıştır. Uzun zaman boyunca oluşmuş olan maden yataklarının varlığı yeni belirlenen fay türü yapıların varlığını gözlemsel olarak kısmen destekler niteliktedir. Bu sonuç MTA'dan temin edilen Türkiye mineral yatakları haritasından derlenen haritada (Şekil 9a) ve bu çalışma kapsamında elde edilen çizgisellik haritasında (Şekil 9c) görülmektedir. Ayrıca yeni

belirlenen fay türü yapıların varlığını, alanda önceden yaşanmış depremlerin dış merkez dağılımları da gözlemsel olarak kısmen destekler niteliktedir (Şekil 2). Yani çizgisel yapıların bazıları aktif fayları, bazıları eski (paleotektonik) fayları ve bazıları da yoğunluk farkı sunan kütle sınırlarını temsil etmektedir. Önceden varlığı bilinen ve bu çalışma kapsamında belirlenen çizgisel yapılar Şekil 9b ve 9c'de görülmektedir.



Şekil 9. a) Çalışma alanı ve civarının maden yatakları haritası (MTA'dan derlenmiştir). b) çalışma alanının temel kaya topoğrafya haritası, c) çalışma alanının topoğrafik haritası (kırmızı çizgi mevcut fayı ve siyah çizgiler de çizgisel yapıları temsil etmektedir).

Figure 9. a) Mineral deposits map of the area (compiled from MTA) b) basement map of study area c) topographical map of the study area (red line represents existing fault and black line represents linear structures).



Çalışma alanına ait bölgesel gravite verileri ve Parker-Oldenburg algoritması kullanılarak, temel kaya topoğrafyası yinelemeli olarak hesaplanmıştır (Şekil 9b). Temel kaya topoğrafyasını hesaplamak için başlangıç derinliği değeri 5.857 km olarak kullanılmıştır. Metamorfik birim ( $\sim 2.7 \text{ g/cm}^3$ ) ile temel kaya derinliğine kadar olan Neojen sedimentleri ( $\sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ ) arasındaki yoğunluk farkı  $0.3 \text{ g/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. Yakınsama kriteri olarak 0.01 km seçilmiştir. Kesme dalgası sayıları, güç spektrumundan sırasıyla  $0.06 \text{ km}^{-1}$  ve  $0.28 \text{ km}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. RMS hatası ve yineleme sayısı sırasıyla 0.0024 km ve 5'tir. Bölgesel gravite verileri ile hesaplanan temel kaya topoğrafyası arasında kuvvetli bir ilişki görülmektedir (Şekil 7b ve 9b). Antiklinalleri ve senklinalleri takip eden çizgisellikler, temel kaya topoğrafyasını kontrol etmektedir. Temel kaya topoğrafyasındaki alçalma ve yükselimlerdeki antiklinaller ve senklinaller arasındaki sınırların fay zonlarıyla ilişkili olmalarından dolayı (Oruç vd., 2013), bu gözlem beklentilerle uyumludur. Temel kaya topoğrafyasının en sığ yeri 1.6 km ile bölgenin kuzey kısmında iken, en derin yeri ise 7.6 km ile güney kısmındadır. Temel kaya topoğrafyasındaki alçalma ve yükselimlerin faylarla kısmen uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 9b).

## TARTIŞMALAR

TYT, AS, EA ve HEA sınır analiz teknikleri kullanılarak, çalışma alanında yeni fay türü yapılar ve çizgisellikler belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan teknikler literatürde mevcuttur, fakat çalışma alanının bölgesel gravite verilerinin birinci düzey türev değerlerine bu teknikler ilk kez uygulanmıştır. Çalışma alanının bazı kısımlarında TYT ve AS haritalarında maksimum genlik görülmezken,

EA ve HEA haritalarında aynı kısımlarda sıfır genlik değerleri görülmüştür (Şekil 8a, 8b, 8c ve 8d). Çalışma alanındaki fay türü yapıların ve çizgiselliklerin temel kaya topoğrafyasıyla, maden yataklarının dağılımıyla ve alanda daha önce yaşanmış depremlerin dış merkez dağılımlarıyla ilişkisi gözlemsel olarak kısmen görülebilmektedir. Bektaş vd. (1995), Eyüboğlu vd. (2006), Maden vd. (2009) çalışma alanını da içine alan Doğu Pontidler Bölgesi'ndeki üç alt zonun sınırlarını belirlemişler, ancak bu çalışmada bulunan daha alt birimlerin neden olduğu çizgiselliklere değinmemişlerdir. Yeni bulunan faylar ve çizgisellikler Şekil 9b ve 9c'de açıkça görülmektedir. Maden vd. (2009) güç spektrumu tekniğini kullanarak, çalışma alanını da içine alan Doğu Pontidler Bölgesi'nin temel kaya topoğrafyasının derinliğinin 4.1 km ile 6.2 km arasında değiştiğini bulmuştur. Bu çalışmada ise, Parker-Oldenburg algoritması kullanılarak Doğu Pontidler Bölgesi'nin kuzey kısmında yer alan çalışma alanının temel kaya topoğrafyası derinliğinin kuzeyden güneye doğru 1.6 km ile 7.6 km arasında değiştiği ortaya konmuştur. Maden (2013) yüzey ısı akısı yoğunluğu ve kabuk yapısı verilerini kullanarak, Çavşak ve Elmas (2013) ise bölgeye ait gravite verilerini kullanarak çalışma alanını da içine alan Doğu Pontidler Bölgesi'ndeki jeolojik yapıları belirlemeye çalışmışlar, fakat bu çalışmada bulunan yeni fay türü yapılardan ve çizgiselliklerden bahsetmemişlerdir. Yine birçok araştırmacı (Barazangi vd., 2006; Pamukçu vd., 2007; Maden ve Öztürk, 2015) çalışma alanını da içine alan Doğu Pontidler Bölgesi'nde çeşitli veri setleri kullanarak bazı çalışmalar yapmış, ancak bu araştırmacılar da, bu çalışmada bahsedilen çizgiselliklere değinmemişlerdir.

Literatürde mevcut olan, fay türü yapıları belirlemek için yapılmış gravite alanındaki çalışmalarda TYT, AS, EA ve HEA sınır analiz teknikleri genellikle Bouguer gravite verileriyle

kullanılmıştır (Nabighian, 1972; Miller ve Singh, 1994; Cooper ve Cowan, 2006; Lyngsie vd., 2006). Bu çalışmada ise bu teknikler bölgesel gravite verilerinin birinci düşey türev değerleriyle kullanılmıştır. Çalışmada, temel kaya topoğrafyasındaki antiklinal ve senklinallerle ilgili olarak yükselim ve alçalma bölgeleri de belirlenmiştir (Şekil 9b).

Bölge, çarpışma kuşağı içinde olmasının dışında hem yüzeyde hem de derinde yoğun magmatik faaliyet olmasından dolayı, her bir magmatik kütle veya sokulum doğal olarak farklı gravite anomalisi üretir. Bu kütlelerin yan kayaçlar ile dokanaklarını faylardan ayırt etmek için, bu çalışmanın sonuçlarından yararlanılarak daha farklı çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca sınır analiz teknikleriyle belirlenen fay zonlarının paleotektonik yapı mı, yoksa neotektonik veya aktif yapı mı olduğu ayrı bir araştırma konusudur. Yine bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kullanılarak yapılacak farklı çalışmalarla bu konu aydınlatılmalıdır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tektonik yapısı, maden yatakları ve büyük faylara yakınlığı ile Trabzon ve çevresi önemli bir bölgedir. Öte yandan, çalışma alanı ve yakın çevresi eski çağlardan beri birçok deprem yaşamıştır. Bu çalışmada, Trabzon çevresinin yeni fay ve çizgisellik haritası verilmiştir. Kullanılan teknikleri birbiriyle karşılaştırmak için farklı boyutlara ve derinliklere sahip olan beş farklı dikkörtgen prizma kullanılarak oluşturulan sentetik model kullanılmıştır. Çalışma alanının temel kaya topoğrafyası da modellenmiştir. Dört farklı teknik kullanılarak yeni fayların ve çizgiselliklerin yerleri, TYT ve AS haritalarının maksimum genlik değerleri ve EA ve HEA haritalarının da sıfır konturları kullanarak belirlenmiştir. Bölgede var olan ancak geleneksel

yöntemlerle şu ana kadar tespit edilemeyen bazı yeni faylar ve çizgisellikler başarıyla tespit edilmiştir. Belirlenen yeni faylar ve çizgisellikler ile maden yataklarının dağılımları ve deprem dış merkez dağılımları arasında gözlemsel olarak belirli oranda uyum görülmüştür.

Belirlenen çizgiselliklerin, yoğunluk farkına sahip sokulum yapmış kütlelerin dokanaklarını mı, yoksa yeni fayları mı temsil ettiği, eğer ediyor ise bu fayların paleotektonik yapı mı, neotektonik veya aktif yapı mı olup olmadığı, bu çalışmanın sonuçlarından faydalanılarak yapılacak olan yeni çalışmalarla aydınlatılmalıdır. Bu çalışmanın sonuçları, gelecekte yapılacak olan detaylı jeofizik çalışmalarla desteklenmelidir. Böylece, çalışma alanında var olup ancak henüz keşfedilmemiş maden yataklarını ve deprem riski yüksek olan yerleri belirlemek daha kolay olacaktır.

## KATKI BELİRTME

Yazar, bu çalışmadaki katkılarından dolayı, Karadeniz Teknik Üniversitesi'nden Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU'na, Prof. Dr. Faruk AYDIN'a ve Kocaeli Üniversitesi'nden Prof. Dr. Bülent ORUÇ'a; çalışma alanına ait deprem iç ve dış merkez dağılım haritasının hazırlanmasında yardımcı olan Kocaeli Üniversitesi'nden Dr. Deniz CAKA'ya, maden yatakları haritasını sağlayan MTA'dan Yük. Müh. Kürşat BEKAR'a çok teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Akaryalı, E., Tüysüz, N., 2013. The genesis of the slab window-related Arzular low sulfidation epithermal gold mineralization (eastern Pontides, NE Turkey). *Geoscience Frontiers*, 4, 409–421.
- Arısoy, M. Ö., Dikmen, Ü., 2011. Potensoft: MATLAB-based Software for potential field data



- processing, modelling and mapping. *Computer & Geosciences*, 37, 935–942.
- Aslaner, M., Gedikoğlu, A., 1984. Harşit Vadisi (Tirebolu-Giresun) metalik cevherleşme tipleri. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Dergisi*, 3 (1-2), 1-15.
- Aydın, F., Karsli, O., Chen, B., 2008. Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post-collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 104, 249–266.
- Babacan, A. E., Gelisli, K., Ersoy, H., 2014. Seismic Tomography and Surface Wave Analysis Based Methodologies on Evaluation of Geotechnical Properties of Volcanic Rocks: A Case Study. *Journal of Earth Science*, 25 (2), 348–356.
- Barazangi, M., Sandvol, E., Seber, D., 2006. Structure and tectonic evolution of the Anatolian plateau in eastern Turkey. In: Dilek, Y., Pavlides, S. (Eds.), *Post-collisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia*. Geological Society of America Bulletin, 409, 463-474.
- Bektaş, O., Van, A., Boynukalın, S., 1987. Doğu Pontidler’de (Kuzeydoğu Türkiye) Jura volkanizması ve jeotektoniği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 30, 9-19.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taslı, K., Akdağ, K., Özgür, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): the formation of carbonates breccias and turbidites as evidences of a drowned platform. *Geologia*, 57 (1–2), 233–244.
- Bektaş, O., Şen, C., Atıcı, Y., Köprübaşı, N., 1999. Migration of the Upper Cretaceous subduction-related volcanism toward the back-arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey). *Geological Journal*, 34, 95–106.
- Cooper, G. R. J., Cowan, D. R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers and geosciences*, 32 (10), 1585-1591.
- Çavşak, H., Elmas, A., 2013. Determining crustal structure and density in the Eastern Black Sea and Pontide Mountains using 3D gravity model calculations. *Carbonates and Evaporites*, DOI: 10.1007/s13146-013-0161-6.
- Ercan, Ö. A., Şeren, A., Elmas, A., 2014. Gold and silver prospecting using Magnetic, Radiometry and Microgravity Methods in the Kışladağ province of Western Turkey. *Resource Geology*, DOI: 10.1111/rge.12024.
- Evjen, H. M., 1936. The place of the vertical gradient in gravitational interpretations. *Geophysics*, 1, 127–136.
- Ersoy, H., Yaçınalp, B., Babacan, A. E., 2014. Investigation of geological and geomechanical properties of the Saraftepe (Trabzon) tephritic sill. *Journal of Geological Engineering*, 38 (1), 39–50.
- Eyüboğlu, Y., 2010. Late Cretaceous high-K volcanism in the eastern Pontides orogenic belt, and its implications for the geodynamic evolution of NE Turkey. *International Geology Review*, 52 (2–3), 142–186.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Pul, D., 2007. Mid-Cretaceous olistostromal ophiolitic melange developed in the back-arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey). *International Geology Review*, 49 (12), 1103–1126.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Maden, N., Jacoby, W. R., Özer, R., 2006. Three axial extensional deformation and formation of the Liassic rift basins in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Geologica Carpathica*, 57 (5), 337–346.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Yi, K., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Akaryalı, E., Dudas, F., Bektaş, O., 2014. The Eastern Black Sea-type volcanogenic massive sulfide deposits: geochemistry, zircon U–Pb geochronology and an overview of the geodynamics of ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 59, 29–54.

- Gomez-Ortiz, D., Agarwal, B. N. P., 2005. 3DINVER.M: A MATLAB program to invert the gravity anomaly over a 3-D horizontal density interface by Parker–Oldenburg’s algorithm. *Computer Geosciences*, 31, 513–520.
- Gunn, P. J., 1975. Linear transformations of gravity and magnetic fields. *Geophysical Prospecting*, 23 (2), 300-312.
- Lyngsie, S. B., Thybo, H., Rasmussen, T. M., 2006. Regional geological and tectonic structures of the North Sea area from potential field modelling. *Tectonophysics*, 413 (3–4), 147–170.
- Maden, N., Gelişli, K., Bektaş, O., Eyüboğlu, Y., 2009. Two-and-three-dimensional crust topography of the Eastern Pontides (NE Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18, 225–238.
- Maden, N., 2013. Geothermal structure of the eastern Black Sea basin and the eastern Pontides orogenic belt: Implications for subduction polarity of Tethys oceanic lithosphere. *Geoscience Frontiers*, 4, 389–398.
- Maden, N., Öztürk, S., 2015. Seismic b-Values, Bouguer Gravity and Heat Flow Data Beneath Eastern Anatolia, Turkey: Tectonic Implications. *Survey in Geophysics*, 36, 549-570.
- Miller, H. G., Singh, V., 1994. Potential field tilt -a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213–217.
- Nabighian, M. N., 1972. The Analytic Signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507–517.
- Oldenburg, D. W., 1974. The inversion and interpretation of gravity anomalies. *Geophysics*, 39, 526–536.
- Oruç, B., Keskinsezer, A., 2008. Structural setting of the northeastern Biga Peninsula (Turkey) from tilt derivatives of gravity gradient tensors and magnitude of horizontal gravity components. *Pure Applied Geophysics*, 165, 1913-1927.
- Oruç, B., Sertçelik, İ., Kafadar, Ö., Selim, H. H., 2013. Structural interpretation of the Erzurum Basin, Eastern Turkey, using curvature gravity gradient tensor and gravity inversion of basement relief. *Journal of Applied Geophysics*, 88, 105–113.
- Oruç, B., Sönmez, T., 2017. The rheological structure of the lithosphere in the Eastern Marmara region, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 139, 183-191.
- Oruç, B., 2010. Edge detection and depth estimation using a tilt angle map from gravity gradient data of the Kozaklı-Central Anatolia Region, Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, DOI: 10.1007/s00024-010-0211-0.
- Pamukçu, O. A., Akçığ, Z., Demirbaş, Ş., Zor, E., 2007. Investigation of crustal thickness in eastern Anatolia using gravity, magnetic and topographic data. *Pure and Applied Geophysics*, 164, 2345-2358.
- Parker, R. L., 1973. The rapid calculation of potential anomalies. *Geophysical Journal International*, 31, 447–455.
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., Factor, J. K., 2008. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria, April 13–18, 2008. <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008>. (Ziyaret tarihi: 11 Şubat 2017).
- Schultze-Westrum, H. H., 1961. Das Geologische Profil des Aksudere Tales bei Giresun-Ein Beitrag zur Geologie und Lagerstättenkunde der Ost-Pontischen Erz- und Mineralprovinz, NE-Anatolien, M.TA. *Bulletin*, 57, 65-74.
- Spector, A., Grant, F. S., 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35, 293–302.
- Türkiye Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bolgeler/trabzon>, (ziyaret tarihi: 10 Şubat 2017).

U.S. Geological Survey, Digital Elevation Models GTOPO30, Virginia, 1998, [http://webmap.ornl.gov/wcsdown/wcsdown.jsp?dg\\_id=10003\\_1](http://webmap.ornl.gov/wcsdown/wcsdown.jsp?dg_id=10003_1), (Ziyaret tarihi: 11 şubat 2017).

Yılmaz, Y., 1984. Türkiye'nin jeolojik tarihinde magmatik etkinlik ve tektonik evrimle ilişkisi. Türkiye Jeoloji Bülteni, Ketin Sempozyumu, 63-81.





Derleme / Review Paper

## Underground Structures, Rock Structures and Rock Mechanics from Ancient Era to the Modern Age

*İlk Çağlardan Günümüze Yer Altı Yapıları, Kaya Yapıları ve Kaya Mekaniği*

Ebru AKIŞ , Özgür SATICI 

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Atılım University, Kızılcaşar Mahallesi İncek- Ankara, TURKEY

<sup>2</sup>General Directorate of Turkish Highways, İnönü Boulevard, No:14 Yücetepe- Ankara, TURKEY

Geliş (Received): 06 Haziran (June) 2017 / Düzeltme (Revised): 05 Ekim (October) 2017 / Kabul (Accepted): 09 Ekim (October) 2017

### ABSTRACT

Usage of underground space is an old habit for human beings since ancient era. Our ancestors have used caves as a shelter for protection from the wild life and nature, and they excavated caves to extract valuable minerals. They also used them as sanctuaries, tombs or for storage of goods. In addition, they built tunnels to be used as assault systems or to underpass fortifications during ancient warfare. Later on, tunnels were driven to supply water to the towns or to protect the towns from floods. They also built them for communication purposes. Though not knowing the exact time when they were first used, natural underground structures which have several interconnections were also built for underground dwelling purposes through the human history. In the following centuries, due to the need of transportation facilities, transportation tunnels were constructed where new excavation techniques were also used. Navigation canal tunnels, railway tunnels and road tunnels were constructed during that period. All these structures were mostly excavated in rocks. The first excavations were performed manually. Later on, fire technique had been used to excavate more easily. This was followed by the methods in which gunpowder, explosives and tunneling machinery were used. By some means or other, ancient civilizations had used fundamental principles of rock mechanics and applied these principles in the construction of the underground structures. Principles of rock mechanics are the sine qua non for all of these structures and facilities. In this review paper, the history and evaluation of rock mechanics will be given briefly and some examples of historical and monumental underground and rock structures will be presented.

**Keywords:** Ancient Underground Rock Structures, History of Rock Mechanics, Rock Engineering, Rock Mechanics Applications.

### ÖZ

*Yer altındaki alanların kullanımı insanlar için antik dönemlere uzanan eski bir alışkanlıktır. Atalarımız, mağaraları vahşi hayattan korunmak için barınak olarak kullandılar; ayrıca değerli mineralleri çıkarmak için kazarak yer altı boşlukları oluşturdular. Bu boşlukları kutsal alan, mezar veya depo olarak kullandılar. Bu kullanım amaçlarına ek olarak, savaşlar sırasında saldırı veya surları geçmek amacıyla tüneller inşa ettiler. Daha sonraları, tüneller yerleşim yerlerine su getirmek veya söz konusu alanları selden korumak amacıyla yapıldı. İlk kez ne zaman kullanıldıkları bilinmemekle birlikte, birbirleriyle bağlantılı olarak inşa edilen yer altı yapıları insanlık tarihi boyunca barınma amacıyla da kullanıldı. Sonraki yüzyıllarda, ulaşım sistemlerine duyulan ihtiyaç nedeniyle yeni kazı tekniklerinin*



*kullanıldığı ulaşım ve iletim tünelleri inşa edildi. Bu dönemde, çoğunluğu kaya ortamda yer alan su geçişi tünelleri, demiryolu tünelleri ve karayolu tünelleri yapıldı. İlk kazılar elle yapılmış olup, daha sonra kolay kazmak için ateşin kullanıldığı bilinmektedir. Bu tekniği, barut, patlayıcılar ve tünel açma makinaları takip etmiştir. Şu veya bu şekilde, eski uygarlıklar kaya mekaniğinin temel prensiplerini kullanmış ve bu prensipleri yer altı yapılarının inşasında uygulamışlardır. Kaya mekaniğinin prensipleri, tüm bu yapıların olmazsa olmaz unsurudur. Bu derlemede, kaya mekaniğinin tarihçesi kısaca anlatılacak, tarihi ve anıtsal yer altı ve kaya yapılarından örnekler sunulacaktır.*

**Anahtar Kelimeler:** Antik Yer Altı Kaya Yapıları, Kaya Mekaniği Tarihçesi, Kaya Mühendisliği, Kaya Mekaniği Uygulamaları.

## INTRODUCTION

Rock defined as aggregate consisting of mineral components is formed from natural processes and characterized by the type and amount of minerals (Bonapace et al., 2010). Our prehistoric ancestors used primitive tools that were made up of rock. They also lived in natural or manmade shelters carved in rock. Rock was excavated for mining to extract valuable materials. Astonishing sculptures and constructions such as Ephesus Temple (Figure

1), Stonehenge and Pyramids were built of rock. The underground structures were constructed and used for sanctuaries, tombs or for storage of goods. Besides, depending on the mankind needs, rock tunnels were driven to transfer water to the towns or to protect the towns from floods as well as to communicate with other societies. In this review paper, some breathtaking examples of rock structures of ancient and modern times will be given and a brief explanation about the development of rock mechanics will be presented.



Figure 1. A view from Ephesus (photo courtesy of Dr. H. C. Mertol).

Şekil 1. Efes Antik Kenti'nden görünüm (Fotoğraf Dr. H.C. Mertol'un arşivinden alınmıştır).

## ANCIENT UNDERGROUND ROCK STRUCTURES AND ROCK MECHANICS APPLICATIONS

### ANCIENT TUNNELLING

Underground structures have been served for a variety of purposes. One of the oldest underwater tunnels of the world, Terelek Tunnel, was constructed beneath the Kızılırmak River, in the northern part of Turkey, probably more than 2000 years ago (possibly 5000) because of defensive reasons (Akyol, 2012; Garry, 2012).

Another significant reason for underground structures can be stated as transportation by means of passenger and traffic. In the ancient Babylon around 2000 BC, a 1000 m long tunnel located between the temple of Jove and the royal palace was built under the Euphrates River (Szechy, 1973). During the construction of the oldest transportation tunnel built by the Babylonians, the River Euphrates was diverted.

The tunnel was 3.6 m high and 4.5 m wide. The walls and the roof were built by brickworks and vaulted arch (Szechy, 1973).

About 2700 years ago, qanats, which were special water management systems in Iran were constructed. The aim of the construction of the qanats was to supply water to settlements and arid areas for irrigation purposes. This water supply system consists of shafts and a tunnel that connects these shafts. Water, collected from water table via shafts and transferred to the tunnel, is transmitted through the tunnel by gravity. Gonabad Ghasbeh Qanat is the oldest qanat with 45 km length (Alemohammad and Gharari, 2010; Garry, 2012). Tunnels were also constructed for water supply purposes. Greek engineer Eupalinos of Megara constructed the Eupalinos tunnel (Figure 2) that was excavated from both sides, in Samos Island in 520 BC (Garry, 2012).



Figure 2. A general view of Eupalinos tunnel constructed in Samos Island (Wikimedia Commons-a, 2017).

Şekil 2. Sisam adasında açılan Eupalinos tüneline genel bir görünüm (Wikimedia Commons-a, 2017).



There was also need for underground structures in order to be protected from surface runoff water. During the first century of Roman times, in order to protect the harbor from floods and overflows, the Titus Tunnel was excavated.

The length of the Titus Tunnel is about 1380 m and it is located in Samandağ, Antakya in the south eastern part of Turkey (Gençtürk et al., 2007; Türkiye Kültür Portalı, 2014). A photograph of the Titus Tunnel is presented in Figure 3.

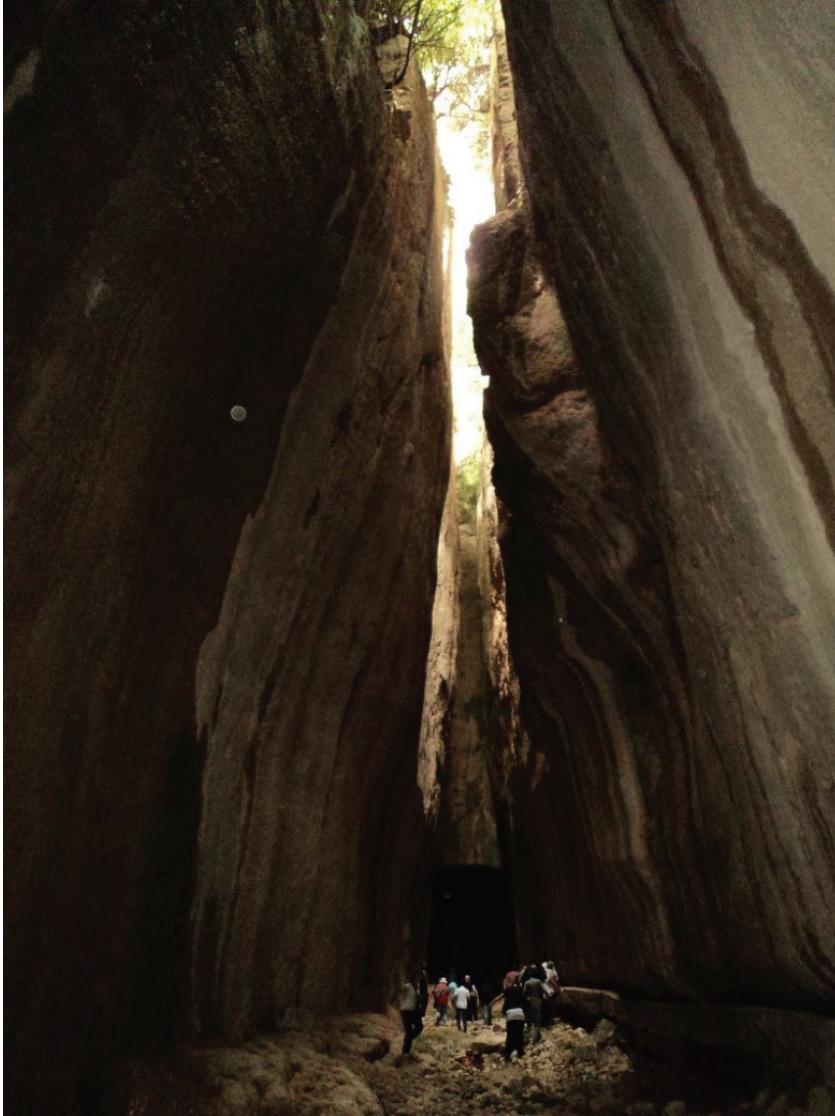


Figure 3. A photograph of the Titus Tunnel (photo courtesy of Dr. H. C. Mertol).

*Şekil 3. Titüs Tüneli'nin fotoğrafı (Dr. H.C. Mertol'un arşivinden alınmıştır).*

The Mina Tunnel in Spain was built to protect the citizens of Daroca from flooding in 1560. Quinto Pierres Bedel, the engineer of the tunnel, started the excavation from both sides of the mountain and it was finished within 5 years. The tunnel is 600 m in length, 6 m in width, and 7 to 8 m in height. The Mina Tunnel still serves for public works as a remarkable construction for Daroca city (Ubierna, 1998).

In 1843, another underwater tunnel was built beneath the River Thames in London. In 1825, Isambard Kingdom Brunel began to construct a tunnel in soft ground under the river. In order to overcome the difficulties encountered during the construction of the tunnel, a new technique was developed by Brunel and his son. They are

assumed as the first engineers who applied first shield tunneling technique (Szechy, 1973; Garry, 2012). Thames Tunnel (Figure 4) which is 396 m long, served firstly for pedestrians and horse carriages, then after 1865, it is used as a railway tunnel (The Brunel Museum, 2017).

The use of rock structures as a part of public transportation can be mentioned as another significant progress. In 1863, the Baker Street Station, the oldest underground station, was built as a part of subway system. The Tunnel in Istanbul is known as the 2<sup>nd</sup> subway system and is followed by big cities such as Paris, Berlin, Chicago, Stockholm, Moscow, Budapest etc. (Szechy, 1973; Garry, 2012). A photograph of the Tunnel is presented in Figure 5.



Figure 4. The Thames Tunnel. Lithograph by Taulman after Bonisch is distributed under public domain (Wikimedia Commons-b, 2017)

Şekil 4. Thames Tüneli. Bonisch'den sonra Taulman'ın litografisi (Wikimedia Commons-b, 2017).



Figure 5. The Tunnel in İstanbul. (Photograph by Florian Lehmuth is distributed under a CC BY-SA 2.0 license (Wikimedia Commons-c, 2017).

Şekil 5. İstanbul'da Karaköy - Beyoğlu arasındaki Tünel. Fotoğraf Florian Lehmuth tarafından çekilmiş olup CC-BY-SA-2.0 ile lisanslanmıştır. (Wikimedia Commons-c, 2017).

## UNDERGROUND CITIES, CARVED STRUCTURES AND ANCIENT MINING ACTIVITIES

Usage of underground space is an old habit for human beings from ancient era. Many stunning underground structures were built since Neanderthal man who had lived in 40,000 BC (Hood and Brown, 1999).

The ancient Egyptians who strongly believed after-life, constructed underground tombs in about 2778 BC (Salam, 2002). The ancient Egyptians used drilling and sawing techniques with copper tools to construct the underground structures (Hood and Brown, 1999; Salam, 2002). Most of the underground structures located in Kings Valley that is bounded

by hills with relatively flat slopes. This region is underlain by two formations, namely Thebes Limestone formation and Esna Shale formation. Most of the tombs were constructed in limestone. During the construction, some unfavorable conditions such as slope deformations, failures due to rock discontinuities might be encountered (Salam, 2002).

Ancient city Petra of Jordan was carved in sandstones between 200 and 300 BC by Nabatean and Roman. It is one of the most attractive historical cities with manmade rock monuments and several hundred tombs (Paradise, 2013; Rihosek et al., 2015). The monumental monastery, El Deir, carved out of rock in Petra is shown in Figure 6.





Figure 6. El Deir monastery in the ancient Jordanian city of Petra. Photograph by Berthold Werner, is distributed under a CC BY-SA 3.0 license (Wikimedia Commons-d, 2017).

*Şekil 6. Antik Ürdün şehri Petra'daki El Deir Manastırı. Fotoğraf Berthold Werner tarafından çekilmiş olup CC-BY-SA-3.0 ile lisanslanmıştır (Wikimedia Commons-d, 2017).*

Another reason for the construction of underground structures is religion and remarkable examples exist in India and China. India's Ellora cave temples dating back to 6<sup>th</sup>-11<sup>th</sup> century are notable monumental structures (Figure 7) which were carved from basalt (Singh et al., 2015).

Besides, Ihlara Valley in Turkey is another historical sanctuary and dwelling example of rock structures, which housed more than four thousand dwellings and a hundred cave churches decorated with frescoes.



Figure 7. A view of the monuments located in Ellora that is accepted as a world heritage. Pphotograph by Danial Chitnisis distributed under a CC BY-SA 2.0 license (Wikimedia Commons-e, 2017).

*Şekil 7. Dünya mirası olarak kabul edilen Ellora kasabasında yer alan anıtsal kaya yapısından bir görüntü. Fotoğraf Danial Chitnis tarafından çekilmiş olup CC-BY-SA-2.0 ile lisanslanmıştır (Wikimedia Commons-e, 2017).*

The demand for the construction of subsurface settlements arose due to several reasons including hiding against enemy attacks, protection from climatic changes and natural hazards. About 1500 years ago, underground settlements have been carved in the Cappadocia Region and there are a total of twenty two identified underground cities that are composed of kitchens, storage chambers, bedrooms, dining halls, wine cellars, dwellings, connected underground settlements and religious buildings such as churches, monasteries, hermits' cells. Also, they are connected to the houses in the region by hidden tunnels. Soft tuffs of the region that enables easy carving might prompt people to use the subterranean space around the Cappadocia (Topal and Doyuran, 1997; 1998; Aydan and Ulusay, 2003; Erdem, 2008; Aydan and Ulusay, 2013).

Underground works have also well remembered with mining activities. The mining works which took place in the first half of the first century, in Las Medulas in Spain can be classified as one of the greatest works. These mining works depended on the extraction of 960.000 kg pure gold over 200 years. Galleries and vaulted tunnels (about 325 km) were excavated by fire setting technique in the first centuries AD (Ubierna, 1998). The mining industry has also developed notably. In 1855, the mine in Bendigo (Australia) was known as the deepest mine in the world with a depth of 975 m (Hood and Brown, 1999).

### **SOME EXAMPLES OF HISTORICAL AND MONUMENTAL ROCK ENGINEERING APPLICATIONS IN ANATOLIA**

As one of the ancient rock structures, caves have been used for different purposes. Yarımburgaz, Karain, Üçağızlı and Öküzini Caves are good examples from Anatolia from the sub-Paleolithic age (Cai et al., 2004; Kirman and Ulusoy, 2005). Due to the needs of living such as the storage of food and goods, caves were enlarged. Taşkale and Karaman caves can be given as impressive examples of storage caves in Anatolia. Ancestors needed to improve the caves that can be called as underground structures in order to protect themselves from enemies. Underground cities; Kaymaklı (Figure 8), Derinkuyu, Mazı, Özlüce, Özkonak, Tatların and Acıpınar were constructed such that, they were able to maintain their daily life (Evelpidou et al., 2010). Underground cities located in Cappadocia Region have been carved in white, grey and pink colored, soft volcanic tuffs that are several hundred meters thick (Aydan and Ulusay, 2013).





Figure 8. Kaymaklı underground city in Cappadocia. Photograph by Nevit Dilmen is distributed under a CC BY-SA 3.0 license (Wikimedia Commons-f, 2017).

Şekil 8. Kapadokya'daki Kaymaklı yer altı şehriden bir görünüm. Fotoğraf Nevit Dilmen tarafından çekilmiş olup CC-BY-SA-3.0 ile lisanslanmıştır (Wikimedia Commons-f, 2017).

The conical tumulus and surrounding sculptures (Figure 9) are one of the attractive rock engineering applications in Nemrut Mountain, in Adıyaman, eastern Turkey. The tumulus was made up of crushed limestone pieces and encircled by three terraces on which god sculptures and guardian animals were built by Commagenian in 69-31 BC (Evelpidou et al., 2010; Akoğlu and Saltık, 2015; Topal et al., 2015).

The rock structures were also used for religious purposes. The religious monument,

Sumela Monastery (Figure 10) or The Virgin Mary that was carved into Karadağ Mountain in Maçka, Trabzon (northeast Turkey) was built in the first century and restored several times throughout the centuries. Monastery is located on a steep slope that is 300 m above the bottom of the valley involving a rock church, chapels, student rooms, library, kitchen, sacred spring and a guest house (Gelişli et al., 2010; Ministry of Culture and Tourism, 2017). The Lycian tombs are astonishing examples that were carved into mountain in Dalyan (southwest Turkey) (Evelpidou et al., 2010).



Figure 9. Head statues at Nemrut Mountain. Photograph by Urszula Ka is distributed under a CC BY-SA 3.0 license (Wikimedia Commons-g, 2017).

*Şekil 9. Nemrut Dağındaki heykeller. Fotoğraf Urszula Ka tarafından çekilmiş olup CC-BY-SA-3.0 ile lisanslanmıştır (Wikimedia Commons-g, 2017).*



Figure 10. Sumela Monastery. Photo courtesy of Dr. H. C. Mertol.

*Şekil 10. Sümela Manastırı. Fotoğraf Dr. H.C. Mertol'un arşivinden alınmıştır.*



## DEVELOPMENT OF ROCK MECHANICS AND ROCK MASS CLASSIFICATION SYSTEMS

It is obvious that, rock mechanics principles have been used to construct various kinds of structures for centuries. By the late nineteenth century, squeezing and rock bursting problems were experienced in tunnels and galleries. Researchers, Rziha (tunnel expert) and Heim (Professor at Zurich University), studied on the horizontal forces acting in tunnels and galleries, and these studies may be considered as the first attempts in rock mechanics (Jaeger, 2009). After the mining industry had entered a boom particularly in Europe and North America, researches on theoretical and practical problems were conducted and also the techniques for measuring strains, rock deformations and rock elasticity were developed (Hood and Brown, 1999; Jaeger, 2009). So, in the early twentieth century, studies on the rock bursts, mechanical properties and material models of rock and the theories related to structural mechanics and strength of materials were carried out (Hood and Brown, 1999). Furthermore, Schmidt (1925) introduces stereonet and Stini (1922) has developed methods for studying of joint systems in rock masses in 1920s. By the twentieth century, journals on rock mechanics and rock engineering were begun to be published, and "Geologie und Bauwesen" that was edited by Josef Stini was the first one. In the forthcoming years the name of the journal was changed to Rock Mechanics first and then Rock Mechanics and Rock Engineering. The dissemination of experience and knowledge had become a requirement after the disastrous failures. In 1959, a total of 450 people died in France as a result of failure of Malpasset concrete arch dam; in 1960, a coal mine in South Africa collapsed in which 432 people were killed and in 1963, 2500 people passed away because of

the landslide occurred due to the overtopping of Vaiont dam in Italy (Hoek, 2007). Many more catastrophic events which occurred in manmade structures have revealed the necessity of rock mechanics to prevent tragic future events. Meeting, seminars, congress were held on rock mechanics and in 1962, International Society for Rock Mechanics (ISRM) was established in Austria under the leadership of Leopold Müller (Hood and Brown, 1999). The definition of rock mechanics in the Statutes of ISRM was stated as: "*The field of Rock Mechanics is taken to include all studies relative to the physical and mechanical behavior of rocks and rock masses and the applications of this knowledge for the better understanding of geological processes and in the fields of Engineering*". In 1960s, soil mechanics principles and elastic stress analysis were applied to rock slope design. Although elastic theory was used in many mine and civil engineering projects, the effect of structural discontinuities could not be taken into account (Hood and Brown, 1999). In the first Congress of ISRM in 1966, Prof. Müller made the following important statement: "*Many experts agree with me that discontinuity and anisotropy are the most characteristic properties of the material rock and that the properties of jointed media depend much more upon the joints of the unit rock block system than upon the rock material. Therefore, any theoretical investigation of that material has to go its own ways, in the same way as the construction material of soil years ago suggested to soil mechanics its own methods, which differ greatly from the way of thinking technical (or continuum) mechanics*" (Brown, 2011). During 1960s and 1970s, as well as the strength and deformation behavior of rock joints, the sliding behavior of the joints was started to be investigated. Then, Patton (1966) and Barton (1976) introduced the effect of joint roughness



on the shear strength of joints (Hood and Brown, 1999). Between 1968 and 1972, a research project on analyzing the stability of slopes depending on the measured rock properties that was founded by a number of mining companies at Royal School of Mines- Imperial College of Science and Technology were carried out by Prof. Evert Hoek and his colleagues. As a result of that project, a very well-known handbook namely “Rock Slope Engineering” was published by Hoek and Bray (1974).

Many researchers have pointed out the importance of discontinuities in the rock behavior and this has brought out the importance of geological data collection and interpretation. Laboratory testing of rock specimens is an important issue, but should be evaluated very thoughtfully due to structural features. The tests performed on a limited size rock specimen may result in misestimation of the rock mass properties (Hoek, 2007). In other words, if the in-situ rock mass has heavily jointed, it is not very easy to get a representative sample in order to use it for laboratory tests. In order to overcome that problem, the Hoek Brown failure criterion is proposed with rock classification systems (Hoek and Brown, 1980, 1997; Hoek, 1983, 1994; Hoek et al., 1992; Ulusay and Sonmez, 2000).

The first classification system for rocks has its origin in the sixteenth century. In the fifth chapter of the *De Re Metallica*, Agricola mentioned and explained the principles of underground mining (Hoover and Hoover, 1912). Different rock mass classification schemes relied on the different engineering geological characteristics of the rock masses that were obtained as an outcome of the experience from variety of civil engineering case histories. Rock mass classification systems of Terzaghi (1946) and Stini (1950) can be referred as the earliest

but base of the modern rock mass classifications (Aydan et al., 2014). Terzaghi (1946) explained the rock mass descriptions depending on the engineering geology information for the design of tunnel support. He classified rock as intact, stratified, moderately jointed, blocky and seamy, crushed, squeezing and swelling rock. Then, Lauffer (1958) related rock mass quality with the stand-up time for unsupported span of the rock mass. After qualitative descriptions of the rock mass, researchers focused on quantitative descriptions (Hoek et al., 1995). Deere et al. (1967) worked on estimating the quality of the rock mass quantitatively and the Rock Quality Designation Index (RQD) which is the one of the basics of RMR and Q systems. RQD was followed by another quantitative method called Rock Structure Rating (RSR) suggested by Wicham et al. (1972). Bieniawski (1973) used the uniaxial compressive strength, RQD, spacing conditions and orientation of discontinuities, ground water conditions to classify rock quantitatively, and finally called the system as Rock Mass Rating System in 1976. Several revisions have been done depending on the case studies in years 1974, 1976, 1979 and 1989. Researchers studied on the adaptation of RMR system to the mining and modified rock mass rating system (MRMR) and modified basic rock mass rating system (MBR) were described (Hoek et al., 1995). The RMR systems were widely used and depending on the results of extensive geotechnical investigations of case studies in Turkey, Modified Rock Mass Rating System was developed by Ünal and Özkan (1990). By this method, the weak, stratified, anisotropic and clay bearing rock masses could be modelled and MRMR of rock masses can be calculated manually or by using a computer program. (Ünal and Özkan, 1990; Ünal et al., 1992; Ulusay et al., 1992; Ünal, 1996). MRMR system was also improved by Gökçeoğlu and Aksoy (2000).

Barton et al. (1974) proposed a Tunnelling Quality Index (Q) to classify the rock mass and to determine the tunnel supports by using the measures of block size, inter block shear strength and active stress of the rock mass (Hoek et al., 1995). This study has been extended and published in 2002 (Barton, 2002a; Barton, 2002b).

There were limitations in the application of two widely used classification systems RMR and Q to the poor rock masses such as having zero RQD values. In order to cope with these issues, a new classification system, Geological Strength Index (GSI) relied on assessment of the lithology, structure and condition of joint surfaces in the rock mass, was developed (Hoek, 1994; Hoek et al., 1995, 1998; Osgoui et al., 2010). GSI can be used to assess rock mass parameters such as Mohr Coulomb or Hoek Brown strength parameters or deformation modulus. Due to the difficulties encountered in poor and very poor rock masses, studies were carried on and the GSI charts were modified by several researchers (Hoek et al.,

1998; Sönmez and Ulusay., 1999; Marinos and Hoek, 2000; Marinos and Hoek, 2001; Cai et al., 2004; Marinos et al., 2005; Marinos et al., 2007; Osgoui et al., 2010).

### SOME EXAMPLES OF MODERN UNDERGROUND STRUCTURES AND ROCK ENGINEERING APPLICATIONS

Underground structures serve for extraordinary objectives. Mount Rushmore sculptures (Figure 11), one of the amazing structures of the rock engineering, were completed in 1941 after being carved for 14 years. 18 m high sculptures of George Washington, Thomas Jefferson, Theodore Roosevelt and Abraham Lincoln were carved from granite made in the Black Hills of South Dakota (Romana et al., 2007; America's Library, 2016.). This structure may be one of the best example in which art meets rock mechanics. Before carving the sculptures, a detailed investigation was performed at site and weathered rock was removed by blasting (Goodman, 1989).



Figure 11. Mount Rushmore sculptures. Photograph by Kelly Martin is distributed under a CC BY-SA 3.0 license (Wikimedia Commons-h, 2017).

Şekil 11. Rushmore dağı heykelleri. Fotoğraf Kelly Martin tarafından çekilmiş olup CC-BY-SA-3.0 ile lisanslanmıştır (Wikimedia Commons-h, 2017).

Moreover, in our century, underground structures such as Swedish Royal Library and Le Grand Louvre Museum exhibit aesthetic scenes, too. Additionally, underground provides isolation from all climates as temperature within the soil or rock offers a moderate and uniform thermal environment compared with the extremes of surface temperatures. Itakeskus underground swimming pool in Finland, underground storage facility in Kansas City and The Volcano Room, Cumberland Caverns McMinnville, Tennessee may be given as attractive examples. These structures also protect people from severe weather conditions and earthquakes.

Underground structures provide more open space in three dimensions. One of the most complex and challenging projects for urban transportation can be called as The Big Dig Project in Boston. Through this project, the extraordinary traffic congestion has been avoided and the mobility in Boston has been improved, several parks and public space have been created. Distinctive tunnels are widely used for communication purposes. Together with the amazing railway projects like Channel Tunnel (50 km) that connects England and France, Sheikan Tunnel (53.9 km)- a link between Hokkaido and Honshu islands of Japan; the developments in the automotive technology cause a rapid increase in the highway tunnels. Mont Blanc Tunnel (12.65 km) between France and Italy, Laerdal Tunnel (24.5 km) in Norway, Zhongnanshan Tunnel (18 km) in China can be named as some of the remarkable tunnels (Akyol, 2012).

## CONCLUSIONS

Utilization of rocks and rock structures requires knowledge and experience of rock engineering principles. Throughout the history of mankind, rock is used for different purposes

such as tools for carving, wheels or construction material. Even at that time, the principles of rock mechanics were applied unconsciously or in other words without naming it. Rock engineering has solved challenges of rock structures from ancient times. Principles of rock mechanics have been used to design various distinctive structures. Nature keeps its own prosperity and secrets but for a seeing eye it has quite knowledge to offer. Civilizations that understood the nature thoroughly have succeeded. Therefore, whatever the purpose of usage is, rock mechanics and engineering principles should be understood clearly. The structures presented in this paper, is a mixture of human intelligence, the necessities and implementation of rock mechanics. A number of amazing examples are given to show how the rock mechanic principles have been used for spectacular manmade structures. Additionally, the development of widely used methods in rock mechanics is briefly presented.

## REFERENCES

- Akoğlu, K. G., Saltık, E. N. C., 2015. Hydric dilation of Mount Nemrut sandstones and its control by surfactants. *Journal of Cultural Heritage*, 16, 276-283.
- Akyol V., 2012. Sinop Turizm Potansiyeli (Tourism Potential of Sinop). [http://turizm.sinop.edu.tr/turizm\\_isletmeciligi\\_ve\\_otelcilik\\_yuksekokulu/faaliyetler/turizm\\_durumu.pdf](http://turizm.sinop.edu.tr/turizm_isletmeciligi_ve_otelcilik_yuksekokulu/faaliyetler/turizm_durumu.pdf). Accessed 31.12.2015.
- Alemohammad, S. H., Gharari, S., 2010. Qanat: An ancient invention for water management in Iran. [http://hamed.mit.edu/sites/default/files/Qanat\\_WHC\\_2010.pdf](http://hamed.mit.edu/sites/default/files/Qanat_WHC_2010.pdf). Accessed 09.08.2017.
- America's Library, 2016. Mount Rushmore National Memorial a Local Legacy. [http://www.americaslibrary.gov/es/sd/es\\_sd\\_mount\\_1.html](http://www.americaslibrary.gov/es/sd/es_sd_mount_1.html). Accessed 09.01.2016.

- Aydan, Ö., Ulusay R., 2003. Geotechnical and geoenvironmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey. *Engineering Geology*, 69, 245-272.
- Aydan, Ö., Ulusay R., 2013. Geomechanical evaluation of Derinkuyu antique underground city and its implications in geoenvironment. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46, 731-754.
- Aydan, Ö., Ulusay R., Tokashiki, N., 2014. A new rock mass quality rating system: Rock mass quality rating (RMRQ) and its application to the estimation of geomechanical characteristics of rock masses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 1255-1276.
- Barton, N. Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of cases for the design of tunnel support. *Rock Mechanics* 6(4), 189-236.
- Barton, N., 1976. The shear strength of rock and rock joints. *Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.*, 13 (9): 255-279.
- Barton, N., 2002a. Some New Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39, 185-216.
- Barton, N., 2002b. Deformation moduli and rock mass characterization. *Tunneling and Underground Space Technology*, 17, 221-222.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification on jointed rock masses. *Trans. South African Inst. Civil Engineering*, 15: 335-344.
- Bonapace, P., Eder, M., Galler, R., Moritz, B., Schneider, E., Schubert, W., 2010. NATM The Austrian Practice of Conventional Tunneling. American Society for Geomechanics, Salzburg, 73 p.
- Brown, E. T., 2011. Fifty Years of the ISRM and associated progress in rock mechanics. 12<sup>th</sup> ISRM International Congress on Rock Mechanics.
- Cai, M., Kaiser, P. K., Uno, H., Tasaka, Y., Minami, M., 2004. Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using GSI system. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41 (1), 3-19.
- Deere, D. U., Hendron, A. J., Patton, F. D., Cording, E. J., 1967. Design of surface and near surface construction in rock. In *Failure and breakage of Rock*, Proc. 8th U.S. Symposium Rock Mechanics, New York. Soc. Min. Engr. Am. Inst. Metall. Petrolm. Engrs., 237-302.
- Erdem, A., 2008. Subterranean space use in Cappadocia: The Uçhisar example. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23, 492-499.
- Evelpidou, N., Figueiredo, T., Mauro, F., Tecim, V., Vassilopoulos, A., 2010. *Natural Heritage from East to West. Case studies from 6 EU countries*, Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Garry, D., 2012. *Handbook of Tunnel Engineering Design, Construction and Risk Assessment*. Auris Reference, London, 357 p.
- Gelişli, K., Seren, A., Babacan, A.E., Çatakli, A., Ersoy, A., Kandemir, R., 2010. The Sumela Monastery slope in Maçka, Trabzon, Northeast Turkey: rock mass properties and stability assessment. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 70, 577-583.
- Gençtürk, B., Kılıç, S., Erdik, M., Pinho, R., 2007. Assessment of stone arch bridges under static loading using analytical techniques. *New Horizons and Better Practices*, 43, 1-10.
- Gökçeoğlu, C., Aksoy, H., 2000. New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses. *Engineering Geology*, 58, 1-23.
- Goodman, R. E., 1989. *Introduction to Rock Mechanics* (2<sup>nd</sup> Edition). John Wiley & Sons, New York, 562 p.
- Hoek, E. 1983. Strength of jointed rock masses, 23rd. Rankine Lecture. *Géotechnique* 33(3), 187-223.



- Hoek, E. 1994. Strength of rock and rock masses, *ISRM News Journal*, 2(2), 4-16.
- Hoek, E., 2007. Practical Rock Engineering. <https://www.rocscience.com/learning/hoek-s-corner>.
- Hoek, E. and Bray, J.W., 1974. *Rock Slope Engineering*. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1980. Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE* 106(GT9), 1013-1035
- Hoek E. and Brown E.T. 1980. *Underground Excavations in Rock*. London: Institution of Mining and Metallurgy 527 p.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts*. 34(8), 1165-1186.
- Hoek E., Kaiser, P. K., Bawden, W. F., 1995. *Support of underground excavations in hard rock*. Brookfield: Balkema. Rotterdam, 215 p.
- Hoek, E., Marinos, P., Benissi, M., 1998. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses: the case of the Athens Schist Formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57 (2), 151-160.
- Hoek, E., Wood, D. and Shah, S. 1992. A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses. *Proceedings of the International ISRM Symposium on Rock Characterization*, International Society of Rock Mechanics: Eurock '92, (J.Hudson ed.). 209-213.
- Hood, M., Brown, E.T., 1999. Mining rock mechanics: yesterday, today and tomorrow. *Proceedings, 9th Congress, International Society for Rock Mechanics*, Paris, Balkema: Rotterdam, 3, 1551-1576.
- Hoover, H. C., Hoover L. H., 1912. *De Re Metallica* Translated from the first Latin edition of 1556. *The Mining Magazine*, London, 641 p..
- Jaeger, J. C., 2009. *Rock Mechanics and Engineering*. Cambridge. Cambridge Press. 523 p.
- Kirman, E., Ulusoy, E., 2005. Paleolitik dönemde doğal yerleşim yeri olarak kullanılan Anadolu mağaraları". In *Proceedings of Türkiye Kuvaterner Sempozyumu TURQUA-V*. Istanbul, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.
- Lauffer, H., 1958. Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau. *Geol. Bauwesen*, 24: 46-51.
- Marinos, P., Hoek, E., 2000. GSI: a geological friendly tool for rock mass strength estimation. *Proceedings of International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*, Melbourne, 1422-1440.
- Marinos, P., Hoek, E., 2001: Estimating the geotechnical properties of heterogenous rock masses such as flysch. *Bull. Eng. Geol. Env.* 60(2), 85-92.
- Marinos, V., Marinos, P., Hoek, E., 2005. The geological strength index: applications and limitations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64 (1), 55-65 .
- Marinos, P., Marinos, V., Hoek, E., 2007. Geological Strength Index (GSI) a characterization tool for assessing engineering properties of rock masses. *Underground works under special conditions*, 13-21.
- Ministry of Culture and Tourism, 2017. Sumela Monastery. <http://www.kultur.gov.tr/EN,32834/sumela-monastry.html> Accessed 08.01.2016.
- Osgoui, R. R., Ulusay, R., Ünal, E., 2010. An assistant tool for the geological strength index to better characterize poor and very poor rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 690-697.
- Paradise, T. R., 2013. Assessment of tafoni distribution and environmental factors on a sandstone djinn block above Petra, Jordan. *Applied Geography*, 42, 176-185.



- Patton, F. D., 1966. Multiple modes of shear failure in rock. Proceedings of 1st International Congress of Rock Mechanics, Lisbon, 1, 509-513.
- Rihosek, J., Bruthans, J., Masin, D., Filippi, M., Carling, G. T., Schweigstillova, J., 2015. Gravity-induced stress as a factor reducing decay of sandstone monuments in Petra, Jordan. *Journal of Cultural Heritage*, 19, 415-425.
- Romana, M., Perucho, A., Olalla, C., 2007. *Underground works under special conditions*. Taylor & Francis, London, Leiden, New York, Philadelphia, Singapore, 180 p.
- Salam, M. E. A. E., 2002. Construction of underground works and tunnels in ancient Egypt. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 17, 295-304.
- Schmidt, W. 1925. Gefügestatistik. *Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 38: 392-423.
- Singh, M., Kumar, S. V. Waghmare S. A., 2015. Characterization of 6-11th century A.D. decorative lime plasters of rock cut caves of Ellora. *Construction and Building Materials*, 98, 156-170.
- Stini, J. 1922. *Technische Geologie*, 789 p. Stuttgart: Ferdinand Enke.
- Sönmez, H., Ulusay, R., 1999. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modification to the criterion verified by slope stability case studies. *Yer Bilimleri*, 26, 77-99.
- Sitini, J., 1950. *Tunnelbaugeologie*. Vienna, Springer.
- Szechy, K., 1973. *The art of tunneling*. Akademiai kiado, Budapest.
- Terzaghi K., 1946. *Rock tunneling with steel supports*. Youngstown, Ohio. Commercial Sheving Co.
- The Brunel Museum, 2017. *The Thames Tunnel*. <http://www.brunel-museum.org.uk/history/the-thames-tunnel>. Accessed 31.05.2017.
- Topal, T., Doyuran, V., 1997, Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff. *Engineering Geology*, 47, 175-187.
- Topal, T., Doyuran, V., 1998, Analyses of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey. *Environmental Geology*, 34, 5-20.
- Topal, T., Deniz B. E., Güçhan, N. Ş., 2015. Decay of limestone statues at Mount Nemrut (Adıyaman, Turkey). *International Journal of Architectural Heritage*, 9, 44-264.
- Türkiye Kültür Portalı, 2014. Titus Tüneli ve Beşikli mağara. <http://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/hatay/gezilecekyer/titus-tuneli-ve-besikli-magara>. Accessed 07.09.2014.
- Ubierna, J. A. J., 1998. Tunnel heritage in Spain: Roots of the underground. *Tunneling and Underground Space Technology*, 13 (2), 131-141.
- Ulusay, R., Özkan, İ., Ünal, E., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses for engineering applications. *Proceedings of Fractured and Jointed Rock Masses Conference*, California, 229-235.
- Ulusay, R. Sönmez H., 2000. Hoek Brown görgül yenilme ölçütüne ilişkin değişiklik önerileri ve uygulanabilirliği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 53, 1-14.
- Ünal, E., Özkan, İ., 1990. Determination of Classification Parameters for Clay-bearing and Stratified Rock Mass. 9th Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, USA, 250-259.
- Ünal, E., Özkan İ., Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. *ISRM Symposium: EUROCK'92 Rock Characterization*, London, British Geotechnical Society, 330-335.
- Ünal, E., 1996. Modified Rock Mass Classification: M-RMR System – Milestones in Rock Engineering. *A Jubilee Collection*; Z.T. Bieniawski, Balkema, 203-223.
- Wickham, G.E., Tiedemann, H.R., Skinner, E.H., 1972. Support determination based on geological

Akiş, Satici

predictions. International Proceedings on North American Rapid Excavation Tunneling Conference, Chicago, 43-64.

Wikimedia Commons-a, 2017. The Eupalinos Tunnel. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eupalinian\\_aqueduct.JPG?uselang=tr](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eupalinian_aqueduct.JPG?uselang=tr). Accessed 31.05.2017.

Wikimedia Commons-b, 2017. The Thames Tunnel <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thamestunnel1840.jpg?uselang=tr>. Accessed 31.05.2017.

Wikimedia Commons-c, 2017. The Tunnel in İstanbul [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Istanbul\\_Tunel\\_Karak%C3%B6y\\_Beyo%C4%9Flu.jpg?uselang=tr](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Istanbul_Tunel_Karak%C3%B6y_Beyo%C4%9Flu.jpg?uselang=tr). Accessed 31.05.2017.

Wikimedia Commons-d, 2017. El Deir monastery in the ancient Jordanian city of Petra. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Petra\\_Jordan\\_BW\\_43.JPG?uselang=tr](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Petra_Jordan_BW_43.JPG?uselang=tr). Accessed 31.05.2017.

Wikimedia Commons-e, 2017. Ellora Temple. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ellora\\_The\\_Temple\\_2.jpg?uselang=tr](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ellora_The_Temple_2.jpg?uselang=tr). Accessed 31.05.2017.

Wikimedia Commons-f, 2017. Kaymaklı underground city in Capadocia. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kaymakli\\_underground\\_city\\_8923\\_Nevit\\_Enhancer.jpg?uselang=tr](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kaymakli_underground_city_8923_Nevit_Enhancer.jpg?uselang=tr). Accessed 31.05.2017

Wikimedia Commons-g, 2017. Nemrut Mountain, head statues. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heads\\_on\\_Mount\\_Nemrut.JPG?uselang=tr](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heads_on_Mount_Nemrut.JPG?uselang=tr). Accessed 31.05.2017.

Wikimedia Commons-h, 2017. Mount Rushmore sculptures. [https://commons.wikimedia.org/wiki/Mount\\_Rushmore\\_National\\_Memorial?uselang=tr#/media/File:Rushmore\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Mount_Rushmore_National_Memorial?uselang=tr#/media/File:Rushmore_2.jpg). Accessed 31.05.2017.

# YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

## AMAÇ

### JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

• İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözetererek daha güvenli ve rahat bir yaşam ortamı sağlamak amacıyla 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 özendirme 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 miktarda 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 yayımlara 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 Dizininde 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 değinilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar, "Kaynaklar Dizini"nde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır:

### Sürelili yayınlar ve bildiriler

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 Yayın 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., Canitez, 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. Eskişehir (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 ( $I_4$ ,  $x^2$  gibi).
- d) Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir.
- e) Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır ( $\sigma_{\text{maks}} = \sigma_c^{0.5}$  gibi).



- f) Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "\*" işareti tercih edilmelidir ( $y=5 * 10^{-3}$  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 kullanılabilecek oranda 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 dipnotlara 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 İtali 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 İtali 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 güçlüklerle neden olduğundan, çok gerekli durumlarda 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

*JEOLJİ 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](mailto:topal@metu.edu.tr)

#### JEOLJİ 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](mailto:topal@metu.edu.tr)

#### AYRI BASKILAR

Dergide yayımlanması kabul edilen yazıların ayrı baskısından on adet yazarına veya birden fazla yazarlı yazılarda yayım için başvuru 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**

**91- Araştırma Makalesi / Research Article**

**Koray ULAMIŞ, Recep KILIÇ**

**Atık Barajlarındaki Su Kaçaklarının İncelenmesi: Çanakkale Örneği**  
*Investigation of Water Seepage from Tailing Dams, Case of Çanakkale*

**101- Araştırma Makalesi / Research Article**

**Şehnaz ŞENER, Hülya KİBAR**

**Karagöl (Borçka-Artvin) Gölü ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi**  
*Hydrogeochemical Investigation of Karagöl (Borçka-Artvin) Lake and Its Vicinity*

**117- Araştırma Makalesi / Research Article**

**Özgür AVŞAR, Bedri KURTULUŞ**

**Köyceğiz Gölü Su ve Taban Sedimanlarının Sıcaklık Dağılımı**  
*Distribution of Water and Bottom Sediment Temperature of Lake Köyceğiz*

**137- Araştırma Makalesi / Research Article**

**Ali ELMAS**

**Trabzon Civarındaki Fay Türü Jeolojik Yapıların Gravite Verileri Kullanılarak Belirlenmesi**  
*Identification of Fault Type Geological Structures around Trabzon by Using Gravity Data*

**155- Derleme / Review Paper**

**Ebru AKIŞ, Özgür SATICI**

**Underground Structures, Rock Structures and Rock Mechanics from Ancient Era to the Modern Age**  
*İlk Çağlardan Günümüze Yer Altı Yapıları, Kaya Yapıları ve Kaya Mekaniği*