

# TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ

*Geological Bulletin of Turkey*

Nisan 2022 Cilt 65 Sayı 2  
*April 2022 Volume 65 Issue 2*

ISSN 1016-9164



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

TMMOB  
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
Chamber of Geological Engineers of Turkey

**YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD**

Hüseyin ALAN	Başkan / President
Faruk İLGÜN	İkinci Başkan / Vice President
Buket YARARBAŞ ECEMİŞ	Yazman / Secretary
D. Malik BAKIR	Sayman / Treasurer
M. Emre KIBRIS	Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Düzgün ESİNA	Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs
Seçkin GÜLBUDAK	Yayın Üyesi / Member of Publication

**TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ**  
**Geological Bulletin of Turkey**

**Yayın Kurulu / Publication Board**

**Editör / Editor**  
Erdoğan YİĞİTBAŞ  
eyigitbas@comu.edu.tr

**Yardımcı Editörler / Associate Editors**

Mustafa AVCIOĞLU  
m\_avcioglu@comu.edu.tr

İsmail Onur TUNÇ  
onurtunc@comu.edu.tr

**İngilizce Editörleri / English Editors**

Catherine YİĞİT

Graham Howard LEE

**Editör Kurulu / Editorial Board**

AKGÜN Funda (İzmir, Türkiye)	ÖZKUL Mehmet (Denizli, Türkiye)
AKSOY Ercan (Elazığ, Türkiye)	ÖZMEN Bülent (Ankara, Türkiye)
ALDANMAZ Ercan (Kocaeli, Türkiye)	PARLAK Osman (Adana, Türkiye)
ALTUNEL Erhan (Eskişehir, Türkiye)	PAVLIDES Spyros (Selanik, Yunanistan)
BABA Alper (İzmir, Türkiye)	PIPER John D.A. (Liverpool, İngiltere)
BATI Zühtü (Ankara, Türkiye)	PIPIK Radovan Kyska (B. Bystrica, Slovakya)
BOZKURT Erdin (Ankara, Türkiye)	POLAT Ali (Windsor, Ontario, Kanada)
CAPUTO Ricardo (Ferrara, İtalya)	ROBERTSON Alastair (Edinburgh, İngiltere)
DEMİREL İsmail Hakkı (Ankara, Türkiye)	ROJAY Bora (Ankara, Türkiye)
EKMEKÇİ Mehmet (Ankara, Türkiye)	SAN Bekir Taner (Antalya, Türkiye)
EYÜBOĞLU Yener (Trabzon, Türkiye)	SARI Erol (İstanbul, Türkiye)
GENÇ Yurdal (Ankara, Türkiye)	SEYİTOĞLU Gürol (Ankara, Türkiye)
GÜL Murat (Muğla, Türkiye)	SÖZBİLİR Hasan (İzmir, Türkiye)
GÜLEÇ Nilgün (Ankara, Türkiye)	ŞENGÜLER İker (Ankara, Türkiye)
GÜLER Cüneyt (Mersin, Türkiye)	TEKİN Uğur Kağan (Ankara, Türkiye)
GÜRŞOY Halil (Sivas, Türkiye)	TEMEL Abidin (Ankara, Türkiye)
HATİPOĞLU Murat (İzmir, Türkiye)	TOPUZ Gültekin (İstanbul, Türkiye)
HELVACI Cahit (İzmir, Türkiye)	TÜŞÜZ Okan (İstanbul, Türkiye)
JOLIVET Laurent (Orleans, Fransa)	ÜNLÜ Taner (Ankara, Türkiye)
KARAYİĞİT Ali İhsan (Ankara, Türkiye)	ÜNLÜGENÇ Ulvi Can (Adana, Türkiye)
KAZANCI Nizamettin (Ankara, Türkiye)	VAŞELLI Orlando (Floransa, İtalya)
KUSKY Timothy (Wuhan, Çin)	YAGBASAN Özlem (Ankara, Türkiye)
KUŞÇU İlkyay (Muğla, Türkiye)	YALÇIN Hüseyin (Sivas, Türkiye)
MESCİ B. Levent (Sivas, Türkiye)	YALÇIN Gürhan (Antalya, Türkiye)
NAZİK Atike (Adana, Türkiye)	YALTIRAK Cenk (İstanbul)
OBERHANSLLI Roland (Potsdam, Almanya)	YAVUZ Fuat (İstanbul, Türkiye)
OKAY Aral (İstanbul, Türkiye)	YILMAZ İsmail Ömer (Ankara, Türkiye)
ÖZCAN Ercan (İstanbul, Türkiye)	YUSUFOĞLU Halil (Ankara, Türkiye)
ÖZDEMİR Yavuz (Van, Türkiye)	ZAGORCHEV Ivan (Sofya, Bulgaristan)
ÖZDEN Süha (Çanakkale, Türkiye)	

**Yazışma Adresi**

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

**Corresponding Address**

UCTEA Chamber of Geological Engineers of Turkey  
PO Box 464 Yenişehir, TR-06410 Ankara  
Phone: +90 312 434 36 01  
Fax: +90 312 434 23 88  
E-Mail: tjb@jmo.org.tr  
URL: www.jmo.org.tr

Yayın Türü	: Yaygın Süreli Yayın
Yayının şekli / Frequency	: Yılda 3 sayı (Türkçe -İngilizce) / 3 issues per year (Turkish - English)
Yayın Sahibi	: TMMOB JMO Adına Hüseyin ALAN
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü	: Hüseyin ALAN
Yayının İdari Adresi	: Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara Tel: 0 312 432 30 85 Faks: 0 312 434 23 88
Baskı (Printed by)	: ERS Matbaacılık Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı No: 877 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88
Baskı Tarihi	: Nisan 2022
Baskı Adedi	: 500

# TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

*Geological Bulletin of Turkey*

Nisan 2022 Cilt 65 Sayı 2

April 2022 Volume 65 Issue 2

## İÇİNDEKİLER CONTENTS

Gürol Seyitoğlu, Esra Tunçel, Bülent Kaypak, Korhan Esat, Ergin Gökçaya

**The Anatolian Diagonal: A Broad Left-Lateral Shear Zone Between the North Anatolian Fault Zone and the Aegean / Cyprus Arcs**

*Anadolu Çaprazı: Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Ege / Kıbrıs Yayları Arasında Geniş Bir Sol Yanal Makaslama Zonu... 93*

Ferhat Bozan, Zafer Aslan

**Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir, KB Türkiye) Yöresindeki Oligosen-Miyosen Yaşlı Kalk-alkalen Volkanik Kayaçların Mineral Kimyası, Jeokimyası ve Petrolojisi**

*Mineral Chemistry, Geochemistry and Petrology of Oligocene-Miocene Calc-alkaline Volcanic Rocks in*

*Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir, NW Turkey) ..... 117*

Ahmet Evren Erginal, Nurettin Yakupoğlu, Çağlar Çakır, Abdullah Akbaş, Serkan Kükrer

**Termination of Little Ice Age in Northeastern Anatolia: A Multi-proxy Paleolimnology Study of Lake Aygır Sediments, (Kars, NE Anatolia)**

*Kuzeydoğu Anadolu'da Küçük Buzul Çağı'nın Sonu: Aygır Gölü Sedimanlarının Çoklu Proksi Paleo-Limnolojik*

*İncelemesi (Kars, KD Anadolu)..... 149*

Ali Akbar Aali, Aref Shirazi, Adel Shirazy, Shayan Khakmardan, Abbas Maghsoudi, Ardeshir Hezarkhani

**Geophysical Study to Identify Iron Mineralization Anomalies Using Terrestrial Magnetometry in the Chak-Chak Exploration Area, Iran** ..... 159

Güldem Kamar

**Göl Çökellerinde Polen Analizine Dayalı Paleoiklim Rökonstrüksiyonu İçin Yerbilimci Bir Yaklaşım; Sorunlar ve Çözümler**

*A Geoscientist Approach to Palaeoclimate Reconstruction Based on Pollen Analysis of Lake Deposits; Problems and*

*Solutions ..... 171*

Gül Şen, Türker Yakupoğlu

**Moralli Deresi Sisteminin Kuvaterner Yaşlı Tortullarının Tane Boyu Dağılımı ve Depolanma Ortamları (Tuşba, Van, Türkiye)**

*Grain Size Distribution and Depositional Environment of Quaternary Sediments in Moralli Stream System*

*(Tuşba, Van, Turkey) ..... 187*

### Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,

Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, SOBIAD ve

ULAKBİM TR Dizin Veri Tabanlarında yer almaktadır.

### **Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:**

Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,

Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, SOBIAD and ULAKBİM TR Dizin Databases.

## TÜRKİYE JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI

*Chamber of Geological Engineers of Turkey*



**The Anatolian Diagonal: A Broad Left-Lateral Shear Zone Between the North Anatolian Fault Zone and the Aegean / Cyprus Arcs**  
*Anadolu Çaprazı: Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Ege / Kıbrıs Yayıları Arasında Geniş Bir Sol Yanal Makaslama Zonu*

**Gürol Seyitoğlu<sup>1\*</sup> , Esra Tunçel<sup>2</sup> , Bülent Kaypak<sup>3</sup> **  
**Korhan Esat<sup>1</sup> , Ergin Gökkaya<sup>2</sup> **

<sup>1</sup> Department of Geological Engineering, Tectonics Research Group, Ankara University, 06830 Ankara, Türkiye.

<sup>2</sup> Department of Geography, Ankara University, 06100 Ankara, Türkiye.

<sup>3</sup> Department of Geophysical Engineering, Ankara University, 06830 Ankara, Türkiye.

• Geliş/Received: 27.10.2021 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 10.01.2022 • Kabul/Accepted: 13.01.2022  
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 02.02.2022 • Baskı/Printed: 15.04.2022

*Araştırma Makalesi/Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Abstract:** Recent detailed examination of the internal deformation of the Turkish-Iranian Plateau in the hinterland of Bitlis-Zagros Suture Zone, which is related to the collision of the Arabian and Eurasian plates, indicates multiple intersection points between the right- and left-lateral strike-slip structures explained by an inevitably broad left-lateral strike-slip shear zone, the Anatolian Diagonal.

The faults bounding and internally deforming the Anatolian Diagonal were closely examined by using high-resolution satellite images, focal mechanism solutions of the earthquakes, and published seismic reflection data in the offshore areas. The Anatolian Diagonal is a NE-SW trending left-lateral shear zone having a 170 km width between the Central Anatolian and the East Anatolian fault zones and an 850 km length between Erzincan and the Cyprus Arc. It has at least four intersection points with the right-lateral North Anatolian Fault Zone and the Southeast Anatolian-Zagros Fault Zone. As the offshore continuation of the Ecemiş-Deliler Fault of the Anatolian Diagonal, the Biruni Fault reaches the Cyprus Arc and Piri Reis (Mediterranean) Ridge Front west of Cyprus. This structure creates a restraining stepover with the left-lateral Antalya-Kekova Fault Zone and causes NW-SE trending thrusts of the Florence Rise and Antalya Thrust in the Antalya Basin. There is another restraining stepover between the Antalya-Kekova Fault Zone and the Pliny-Strabo Fault Zone, where the thrust-controlled northern margin of Rhodes basin developed.

In this neotectonic framework, there is no need for the existence of the highly-debated left-lateral Fethiye-Burdur Fault Zone as an onshore continuation of the Pliny and Strabo faults. In fact, the westerly motion of the Anatolian plate is accommodated by the left-lateral Anatolian Diagonal Shear Zone, Antalya-Kekova Fault Zone and Pliny-Strabo Fault Zone together with the right-lateral North Anatolian Fault Zone.

**Keywords:** Anatolian Diagonal, Cyprus, East Anatolian Fault Zone, Eastern Mediterranean, Neotectonics.

**Öz:** *Türk-İran Platosu, Arap ve Avrasya levhalarının çarpışmaları ile ilişkili Bitlis-Zagros Kenet Zonu'nun ard ülkesinde yer alır. Platonun iç deformasyonunun yakın zamanda ayrıntılı biçimde incelenmesi, sağ ve sol yanall doğrultu atımlı yapıların çoklu kesişme noktalarının varlığını ortaya çıkarmış ve bu kaçınılmaz olarak Anadolu Çaprazı adı ile anılan geniş sol yanall makaslama zonu ile açıklanmıştır.*

*Anadolu Çaprazı'nı sınırlayan ve iç deformasyonuna neden olan faylar, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, depremlerin odak mekanizması çözümleri ve deniz alanlarındaki yayınlanmış sismik yansıma kesitleri yardımıyla incelenmiştir. Anadolu Çaprazı, Orta Anadolu Fay Zonu ile Doğu Anadolu Fay Zonu arasında 170 km genişliğe ve Erzincan ile Kıbrıs Yayı arasında 850 km uzunluğa sahip, KD-GB yönelimli bir sol yanal makaslama zonudur. Bu zon, Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Güneydoğu Anadolu-Zagros Fay Zonu ile en az dört kesişim noktasına sahiptir. Anadolu Çaprazı'na ait Ecemiş-Deliler Fayı'nın Akdeniz'deki uzanımı olan Biruni Fayı, Kıbrıs Yayı'na ve Piri Reis Sırtı'na (Mediterranean Ridge) Kıbrıs'ın batısında ulaşmaktadır. Bu yapı, Antalya – Kekova Fay Zonu ile daralmalı sıçrama oluşturmakta olup, bu nedenle Antalya havzasında KB-GD doğrultulu bindirmeler ile temsil edilen Florence Yükselimi ve Antalya Bindirmesi meydana gelmiştir. Diğer bir daralmalı sıçrama alanı ise Antalya-Kekova Fay Zonu ile Pliny-Strabo Fay Zonu arasında gelişmiş olup, burada Rodos havzasının bindirmeler ile kontrol edilen kuzey kenarı bulunmaktadır.*

*Bu neotektonik çerçeveye içinde, varlığı oldukça tartışmalı olan Pliny ve Strabo faylarının karadaki devamı olarak değerlendirilen sol yanal Fethiye – Burdur Fay Zonu'na ihtiyaç bulunmamaktadır. Aslında, Anadolu Levhasının batıya hareketi, sol yanal Anadolu Çaprazı Makaslama Zonu, Antalya-Kekova Fay Zonu ve Pliny-Strabo Fay Zonu ile sağ yanal Kuzey Anadolu Fay Zonu tarafından karşılanmaktadır.*

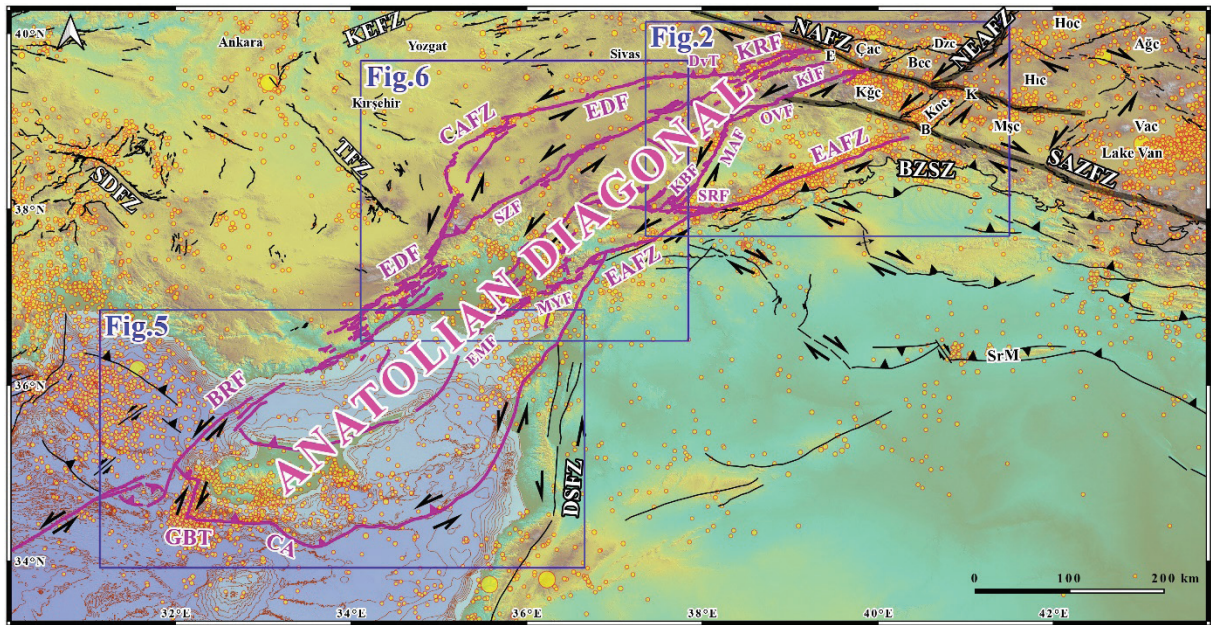
**Anahtar Kelimeler:** Anadolu Çaprazı, Doğu Akdeniz, Doğu Anadolu Fay Zonu, Kıbrıs, Neotektonik.

## INTRODUCTION

In the neotectonic framework of the Eastern Mediterranean, the definition of plate boundaries has not changed significantly from the beginning of plate tectonics theory to GPS-based studies (McKenzie, 1970; 1972; Reilinger et al., 1997). However, GPS-derived velocity field data has initiated discussion about whether the slab pull in the Aegean Arc or the westward push due to the collision of Arabian and Eurasian plates is the driving mechanism of westward movement of the Anatolian plate (Reilinger et al., 1997; 2006; Chorowicz et al., 1999; McClusky et al., 2000; Şengör et al., 2004; Le Pichon and Kreemer, 2010).

In the neotectonic period, the Anatolian plate moved westward along the left-lateral East Anatolian Fault Zone (EAFZ) and right-lateral North Anatolian Fault Zone (NAFZ) (McKenzie, 1972; Şengör, 1980; Şengör et al., 1985) after the collision of the Arabian and Eurasian plates. This classical view offers a triple junction at Karlıova (Figure 1). Recently, Şengör et al. (2019) proposed an “asymmetric Karlıova triple junction model”, keeping the earlier single intersection vision to explain higher slip rates on the NAFZ relative to the EAFZ.

On the other hand, a recent paper concerning the internal deformation of the Turkish-Iranian Plateau in the hinterland of Bitlis-Zagros Suture Zone (BZSZ) introduces a rhomboidal cell model to explain the relationship between left- and right-lateral faults in the region (Seyitoğlu et al., 2018). Some margins of these cells align in a certain direction and constitute region-wide shear zones. For example, the southwest strike-slip margins of the Çayırılı, Beşgöze and Hınıs rhomboidal cells indicate that the NAFZ continues beyond Karlıova towards the east until Lake Van and creates a releasing stepover with the Southeast Anatolian-Zagros Fault Zone (SAZfZ), including the Main Recent Fault of Zagros Mountains in Iran. In this concept, the SAZfZ is terminated by the left-lateral Ovacık Fault (OVF) in the northwest and offsets the EAFZ in Bingöl (Seyitoğlu et al., 2018) (Figure 1). This approach offers multiple intersection points between the right- and left-lateral strike-slip structures contrary to the classical tectonic escape model (Şengör et al., 1985) and inevitably requires a broad left-lateral shear zone, which is named here as the Anatolian Diagonal Shear Zone.



**Figure 1.** Neotectonic Anatolian Diagonal. It is a left-lateral shear zone limited by the CAFZ and EAFZ and extending from the NAFZ to the Cyprus Arc. Fault lines are from Emre et al. (2013), Seyitoğlu et al. (2017, 2018) and this paper. The epicenter locations are from the ISC Catalogue ( $M \geq 3.5$ ). For the focal mechanism solutions, see Appendix B. E: Erzincan; K: Karlıova; B: Bingöl; NAFZ: North Anatolian Fault Zone; NEAFZ: Northeast Anatolian Fault Zone; SAZFZ: Southeast Anatolian-Zagros Fault Zone; BZSZ: Bitlis-Zagros Suture Zone; SrM: Sincar Mountains; EAFZ: East Anatolian Fault Zone; DSFZ: Dead Sea Fault Zone; CAFZ: Central Anatolian Fault Zone; KEFZ: Kırkkale-Erbaa Fault Zone; TGFZ: Tuz Gölü Fault Zone; SDFZ: Sultandağları Fault Zone; KRF: Karaca Fault; KİF: Kemah-İliç Fault; OVF: Ovacık Fault; MAF: Malatya Fault; SZF: Sarız Fault; EDF: Ecemiş-Deliler Fault; BRF: Biruni Fault; GBT: Gazibaf Transform; CA: Cyprus Arc; EMF: Elbistan-Misis Fault; MYF: Maraş-Yumurtalık Fault; KBF: Kantarma-Barış Fault; SRF: Sürgü Fault; DvT: Divriği Thrust. The rhomboidal cells are of Seyitoğlu et al. (2018): Çac: Çayırlı cell; Dzc: Düzyurt cell; Bec: Beşgöze cell; Hoc: Horasan cell; Hic: Hıms cell; Ağc: Ağrı cell; Vac: Van cell; Mşc: Muş cell; Koc: Karlıova cell; Kğc: Kiğı cell.

**Şekil 1.** Anadolu Çaprazı'nın neotektonik anlamı. Orta Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu tarafından sınırlanan, Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Kıbrıs Yayı arasında uzanan sol yanal makaslama zonu. Fay hatları Emre vd. (2013), Seyitoğlu vd. (2017; 2018) ve bu makaleden alınmıştır. Deprem dış merkez dağılımı ISC kataloğundan ( $M \geq 3.5$ ) alınmıştır. Odak mekanizması çözümleri için Appendix B'ye bakınız.

The term “Anatolian Diagonal” was defined by Davis (1971) to explain the biological diversity between east and central Anatolia. Its geomorphological meaning has recently been discussed by Kuzucuoğlu et al. (2019). The neotectonic mean of the Anatolian Diagonal simply corresponds to a left-lateral shear zone limited by the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) and Central Anatolian Fault Zone (CAFZ) between Erzincan and the Cyprus Arc (Figure 1).

In this paper, we aim to demonstrate the details of the multiple intersection points between the left- and right-lateral structures creating the broad left-lateral strike-slip shear zone, the Anatolian Diagonal. Another issue that needs to be clarified is the genetic relationship of the Anatolian Diagonal with the Aegean and Cyprus arcs, which forms an important part of the new neotectonic framework of Türkiye.

## METHODS

The study area (Figure 1) covers more than 180,000 km<sup>2</sup> and contains several fault zones. Therefore, it is unavoidable to use high-resolution satellite imagery of Google Earth software to examine the morphotectonic features (Huang et al., 1993; Keller and Pinter, 2001; Zhang et al., 2004; Şengör, 2017; Reitman et al., 2019) and determine the active fault lines with the help of active fault maps (Emre et al., 2013) and geological maps / reports of the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) and other published papers (i.e., Kaymakçı et al., 2010; Yazıcı et al., 2018; Sançar et al., 2020). The detailed fault segments were mapped in the GIS environment and in limited parts of the study area, structural data were obtained from the faults. The offshore continuation of active faults was traced by using published seismic reflection sections. The elevation data for the land topography and bathymetry were obtained from the 1:25000 scale topographical maps and World Ocean Base by Esri (2021). To demonstrate the activity of fault segments apart from the morphological indicators, we provide epicenter locations and focal mechanism solutions of the seismic events where possible (Electronic Appendix A).

Focal mechanism solutions were either collected from various sources presented in Table 1 or directly computed using waveform data for significant earthquakes (Electronic Appendix B). The Regional Moment Tensor (RMT) inversion method (Herrmann, 2013) was performed for the focal mechanism solutions of earthquakes of magnitude 3.0 and greater. Three-component broadband waveform data for the RMT solutions were retrieved from Incorporated Research Institutions for Seismology Data Services (IRIS database, <https://www.iris.edu>, last accessed in January 2020) and the European Integrated Data Archive Service (<http://www.orfeus-eu.org/data/eida>). The furthest epicentral distance was determined to be 700 km because of the inadequate number of nearby stations. Whole waveform data

was recorded by the stations belonging to both national networks such as the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) as well as the Directorate of Disaster Affairs (AFAD) and the earthquake observation centers of neighboring countries. Almost all stations are equipped with velocity broadband seismometers. Because the same event locations were used as in the data provider agency, we did not perform any relocation procedure. Both the observed and synthetic Green's function ground velocities were cut from a range of 5–10 s before the P-wave's first-arrival to a range of 110–180 s after it. In the inversion process, a three-pole causal Butterworth bandpass filter with a 0.02–0.10 Hz band range was used for the events. However, 0.06–0.08 Hz bandpass filter range was preferred for most of the events. Additionally, an optional microseism rejection filter was applied to enhance the signal-to-noise ratio when needed. During the moment tensor inversion process, we eliminated noisy and problematic signals.

In order to follow the fault lines in detail, readers should consult the e-supplement data visible on Google Earth software (Electronic Appendix C).

## NEOTECTONIC MEANING OF THE ANATOLIAN DIAGONAL

The Anatolian Diagonal is a 170 km wide NE-SW trending left-lateral strike-slip shear zone limited by the EAFZ and CAFZ. It has a length of 850 km between Erzincan and the Cyprus Arc (Figure 1).

The southeast margin of the Anatolian Diagonal is composed of the EAFZ (Herece, 2008; Duman and Emre, 2013; Emre et al., 2013, 2018). The northwest margin of the Anatolian Diagonal is represented by the CAFZ, which was defined by Koçyiğit and Beyhan (1998). On the other hand, its relationship with the Cyprus Arc at the southwest end and the NAFZ at the northeast end are poorly defined (Koçyiğit and Beyhan, 1998; Emre et al., 2013).

**Table 1.** Sources for the focal mechanism solutions used in this study.

**Çizelge 1.** Bu çalışmada odak mekanizma çözümleri için kullanılan kaynaklar.

<b>Seismological Data Centers</b>		
<b>National</b>	<b>Other Nations</b>	<b>International</b>
<p><b>1) DDA:</b> Republic of Turkey Prime Ministry Disaster and Emergency Management Authority, Earthquake Department (<a href="https://deprem.afad.gov.tr">https://deprem.afad.gov.tr</a>)</p> <p><b>2) KOERI:</b> Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center (<a href="http://www.koeri.boun.edu.tr">http://www.koeri.boun.edu.tr</a>)</p> <p><b>3) ATA:</b> Atatürk University Earthquake Research Center</p>	<p><b>1) ATH:</b> National Observatory of Athens (<a href="http://www.noa.gr">http://www.noa.gr</a>)</p> <p><b>2) USGS:</b> U.S. Geological Survey (<a href="https://www.usgs.gov">https://www.usgs.gov</a>)</p> <p><b>3) ZUR_RMT:</b> The Swiss Seismological Service (<a href="http://seismo.ethz.ch">http://seismo.ethz.ch</a>)</p> <p><b>4) GFZ:</b> GFZ German Research Centre for Geosciences (<a href="https://geofon.gfz-potsdam.de/">https://geofon.gfz-potsdam.de/</a>)</p>	<p><b>1) GCMT:</b> The Global Centroid Moment Tensor Catalog (Dziewonski et al., 1981; Ekström et al., 2012) (<a href="https://www.globalcmt.org">https://www.globalcmt.org</a>)</p> <p><b>2) ISC:</b> International Seismological Centre (Lentas, 2018; Lentas et al., 2019) (<a href="http://www.isc.ac.uk">http://www.isc.ac.uk</a>)</p> <p><b>3) MED-RCMT:</b> European-Mediterranean Regional Centroid-Moment Tensors (Pondrelli, 2002) (<a href="http://rcmt2.bo.ingv.it">http://rcmt2.bo.ingv.it</a>)</p>
<b>Publications (papers, reports, thesis, etc.)</b>		
Acarel et al. (2019); Ergin (1999); Ergin et al. (2004); Kılıç and Utkucu (2012); Kılıç et al. (2017); Ökeler (2003); Seyitoğlu et al. (2018)		

The internal deformation of the Anatolian Diagonal is taken by mainly left-lateral faults and minor right-lateral faults (Figure 1). The Anatolian Diagonal can be evaluated as a highly seismic zone, but some sections show low seismicity in the instrumental period (Figure 1).

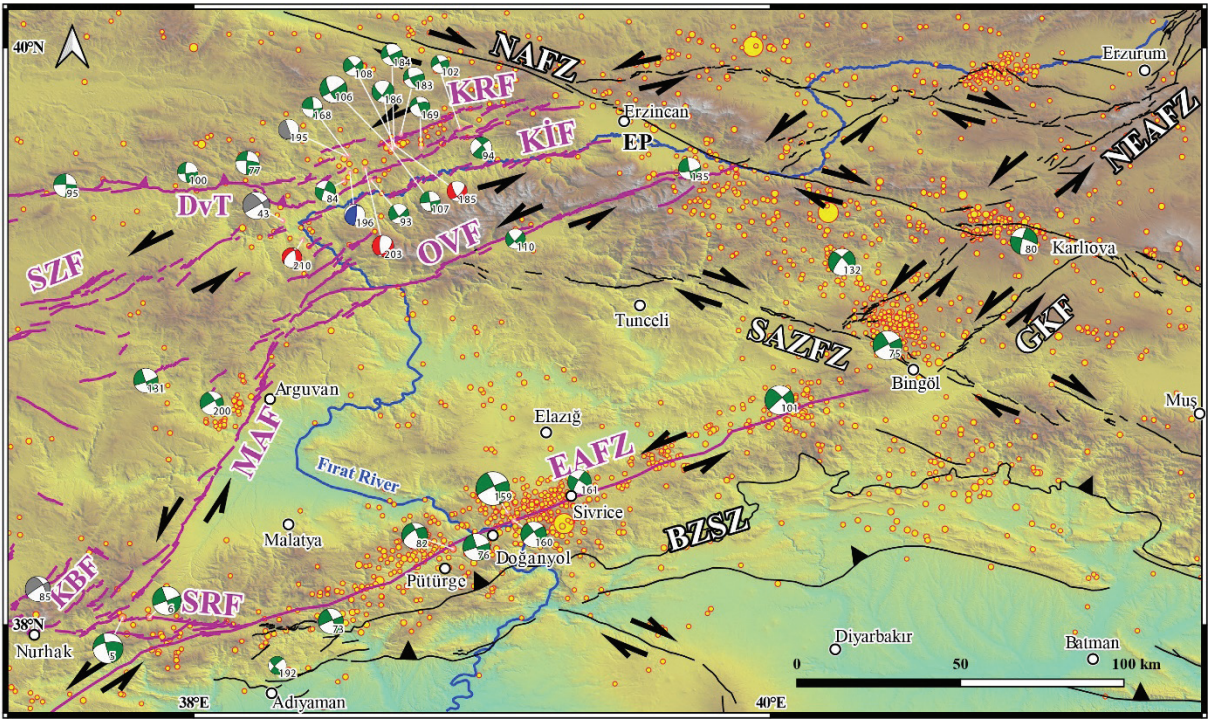
### **Southeast Margin of the Anatolian Diagonal: The EAFZ**

The East Anatolian Fault Zone (EAFZ) was defined by Arpat and Şaroğlu (1972) and Seymen and Aydın (1972) during examination of the surface ruptures of the 1971.04.22 Bingöl earthquake (Mb=5.9) between Karlıova and Bingöl (Figure 2). NW-SE trending surface ruptures were reported along with NE-SW trending left-lateral fault traces in Bingöl. Moreover, the unexpected seismic event of #75\_2003.05.01 Bingöl earthquake (Mw=6.4) according to earthquake triggering models (Nalbant et al., 2002, 2005) and its source of NW-

SE trending right-lateral strike-slip faults (Dirik et al., 2003) are allowed to interpret that the right-lateral SAZFFZ cuts Göynük-Karlıova Fault (GKF) and emphasized that the EAFZ starts at Bingöl at the intersection point with the SAZFFZ (Seyitoğlu et al., 2018, 2020) (Figure 2).

The EAFZ has been examined in detail by several researchers (Şaroğlu et al., 1992; Herece, 2008), but the segmentation of Duman and Emre (2013) has been followed in this paper. They defined several segments and declared that the Pütürge segment was a seismic gap, with an 11 km left-lateral displacement of the Fırat River. Recently, the 2020.01.24 Doğanyol-Sivrice earthquake (Mw=6.7) occurred in this segment (Melgar et al., 2020) (Figure 2). However, there is no agreement about the meeting point and the style of merging between the EAFZ and the Dead Sea Fault Zone (DSFZ) (see Rojay et al., 2001; Akyüz et al., 2006a; Duman and Emre, 2013) (Figure 1).





**Figure 2.** Northeast end of left-lateral Anatolian Diagonal and its relationship with the right-lateral structures. The fault lines are from Emre et al. (2013), Seyitoğlu et al. (2017, 2018) and this paper. Epicenter locations are from the ISC Catalogue ( $M \geq 3.5$ ). See Appendix A and C for details of faults and Appendix B for the focal mechanism solutions. NAFZ: North Anatolian Fault Zone; EP: Erzincan Plain; NEAFZ: Northeast Anatolian Fault Zone; GKF: Göynük-Karlıova Fault; SAZFZ: Southeast Anatolian-Zagros Fault Zone; BZSZ: Bitlis-Zagros Suture Zone; EAFZ: East Anatolian Fault Zone; SRF: Sürgü Fault; KBF: Kantarma-Bariş Fault; MAF: Malatya Fault; OVF: Ovacık Fault; KİF: Kemah-İliç Fault; KRF: Karaca Fault; DvT: Divriği Thrust; SZF: Sarız Fault.

**Şekil 2.** Sol yanal Anadolu Çaprazı'nın kuzeydoğu ucu ve sağ yanal yapılarla ilişkisi. Fay hatları Emre vd. (2013); Seyitoğlu vd. (2017; 2018) ve bu makaleden alınmıştır. Dış merkez konumları ISC kataloğundan ( $M \geq 3.5$ ) alınmıştır. Fayların detayları için Appendix A ve C'ye, odak mekanizmaları için Appendix B'ye bakınız.

### Northwest Margin of the Anatolian Diagonal: Its Relationship with the NAFZ

The details of the segment distribution between CAFZ and NAFZ were not presented by Koçyiğit and Beyhan (1998) but recently, Şengör et al. (2019) tried to explain this relationship with fish-bone faults. Although the fish-bone model was originally designed to explain the right-lateral faults veering from the NAFZ (i.e., Kırıkkale-Erbaa and Almus faults, see Şengör and Barka, 1992), the left-lateral Ovacık and Deliler faults were considered as fish-bone faults defining the Cappadocian Slice. There is an inconsistency

between the fish-bone model and reality in the field, in fact, because the veering Ovacık and Deliler faults have the opposite sense of being shear zones (Şengör et al., 2019).

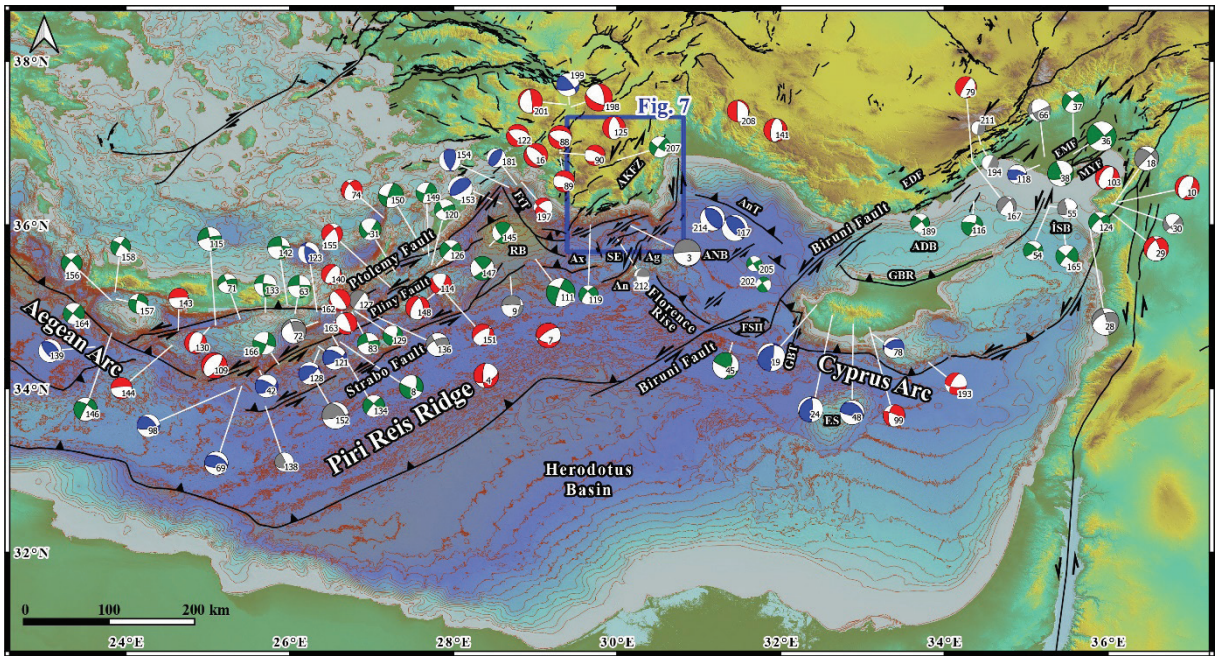
We propose that the structural connection between the CAFZ and NAFZ is provided by the newly determined Karaca Fault (KRF) and Kemah-İliç Fault (KİF) (Figure 2). The KRF and KİF are semi-parallel left-lateral faults, as indicated by the morphological data and focal mechanism of seismic events (Appendix A, B and C), and they create a restraining stepover, the Divriği Thrust (DvT), with the Ecemiş-Deliler Fault (EDF) (see

below), providing a structural link between the CAFZ and NAFZ where the Erzincan Plain is located (Figures 1 and 2).

### Northwest Margin of the Anatolian Diagonal: Its Relationship with the Cyprus Arc

There are several hypotheses about the link between the Aegean and Cyprus arcs. The suggestions of Biju-Duval et al. (1976) are among the oldest, connecting the arcs with a single line. Similarly, we propose here that the offshore continuation

of Ecemiş-Deliler Fault (EDF) (Appendix A) is a possible candidate for separating structure between Aegean and Cyprus arcs together with the Antalya-Kekova Fault Zone (see below) (Figure 3). The Piri Reis (Mediterranean) Ridge Front turns from northeast to northwest 270 km south of eastern Crete (Morelli and Barrier, 2004; Yolsal-Çevikbilen and Taymaz, 2012). Although an intense deformation in the seismic reflection data of Huguen et al. (2001) is seen in the Seismic Lines-18 and -22, they can be regarded as deformation in the accretionary prism.

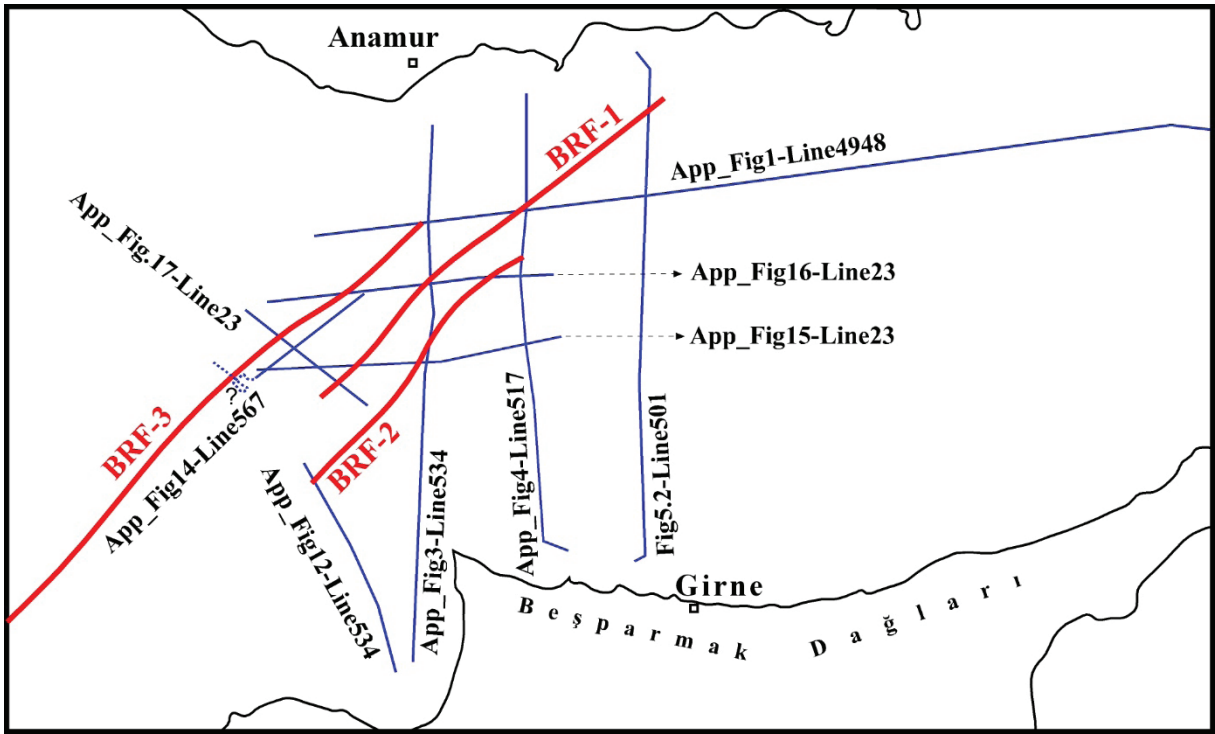


**Figure 3.** The role of Pliny-Strabo faults, Antalya-Kekova Fault Zone (AKFZ) and Biruni Fault of Anatolian Diagonal between the Aegean and Cyprus arcs. In the restraining stepovers, the Florence Rise and Antalya Thrust in the Antalya basin (ANB) and the Fethiye Thrust (FtT) in the NE margin of Rhodes basin (RB) developed. See Appendix B for details of focal mechanism solutions and Appendix A and C for details of faults. Fault lines are from Emre et al. (2013), Barrier et al. (2004), Seyitoğlu et al. (2022) and this paper. ES: Eratosthenes Mountain; GBT: Gazibaf Transform; FSH: Fuat Sezgin High; GBR: Girne-Beşparmak Range; ADB: Adana basin; EDF: Ecemiş-Deliler Fault; EMF: Elbistan-Misis Fault; MYF: Maraş-Yumurタルık Fault; İSB: İskenderun basin; AnT: Antalya Thrust; SE: Sırrı Erinç Plateau; Ax: Anaximander Mountain; Ag: Anaxagoras Mountain; An: Anaximenes Mountain.

**Şekil 3.** Ege ve Kıbrıs yayları arasında Anadolu Çaprazı'na ait Biruni Fayı, Antalya-Kekova Fay Zonu (AKFZ) ve Pliny-Strabo faylarının rolü. Daralmalı sıçrama alanlarında Antalya havzasında (ANB) Florence Yükselimi, Rodos havzası (RB) KD kenarında Fethiye bindirmesi (FtT) gelişmiştir. Odak mekanizması çözümleri için Appendix B'ye, Fayların detayları için Appendix A ve C'ye bakınız. Fay hatları Emre vd. (2013), Barrier vd. (2004), Seyitoğlu vd. (2022) ve bu makaleden alınmıştır.

We suggest the name “Biruni Fault (BRF)” for the offshore continuation of the Ecemiş-Deliler Fault (EDF) which is concordant with the ancient geographers’ names of the Pliny-Strabo faults in the region (Figure 3). South of Anamur, the segment locations of Biruni Fault (BRF-1, BRF-2, BRF-3) are determined using the seismic reflection profiles (Mansfield, 2005; Aksu et al., 2005) (Figure 4; e-suppl.-BRF in Appendix C). There is a pressure ridge named Fuat Sezgin High (FSH) west-southwest of Cyprus on the southeast tip of the Florence Rise (Figure 3). This pressure ridge possibly developed between the

left-lateral segments of Biruni Fault (BRF). The north and south dipping thrusts were drawn by Woodside (1977, fig. 8), Woodside et al. (2002, fig. 7) and Güneş et al. (2018, Line-D, fig. 11). The segments of Biruni Fault (BRF) cut the Cyprus Arc, which is also displaced right-laterally by the Gazibaf (Paphos) Transform Fault west of Cyprus (Figure 3). The right-lateral nature of the Gazibaf Transform Fault (GBT) is determined by the focal mechanism solutions of recent earthquakes (Papazachos and Papaioannou, 1999; Yolsal-Çevikbilen and Taymaz, 2012).



**Figure 4.** Locations of seismic reflection sections of Mansfield (2005) and segments of the Biruni Fault (BRF). The original names of the seismic lines are given on the map and this caption between quotation marks. The re-interpretation of seismic reflection data helps to locate the position of Biruni Fault. The southwest end of “App\_Fig14-Line 567” is not clear, therefore the position of yellow coloured BRF-3 has a question mark in e-suppl.-BRF in Appendix C. The NW-SE trending “App\_Fig17-Line-23 contains segments BRF-3 and BRF-1 which were also marked by Mansfield (2005) as faults. The NW-SE trending “App\_Fig12-Line-534 clearly shows segment BRF-2, recognized easily by the bathymetrical difference. The nearly E-W trending “App\_Fig15-Line-23” indicates the positions of segments BRF-1 and BRF-2, with their typical negative flower structures. The N-S trending “Fig5.2-Line-501” has a strong positive flower structure near the coast of Anatolia marking the position of segment BRF-1. The flower structures are visible in the nearly E-W trending “App\_Fig1-Line-4948” which are marked for the

location of segments BRF-3 and BRF-1. The nearly E-W trending “App\_Fig16-Line-23 having negative flower structures, shows the positions of BRF-3 and BRF-2. BRF-1 marks the SW end of the bathymetrical trough visible on the Google Earth Image (see e-suppl.-BRF in Appendix C). A well-developed NE-SW trending trough visible on Google Earth Image corresponds to a negative flower structure in the N-S trending “App\_Fig3-Line-534” marked with BRF-1. This NE-SW trending trough also provides a base to correlate fault traces diagonally. This seismic section is also used by Aksu et al. (2005) as Line-D. At least two possible fault locations exist on the N-S trending “App\_Fig4-Line-517”, marked as BRF-1 and BRF-2. See e-suppl.-BRF in Appendix C for the location information in the map view of the segments which are re-defined on each seismic section.

**Şekil 4.** *Mansfield (2005)’e ait sismik yansıma hatlarının konumu ve Biruni Fayı (BRF)’nin segmentleri. Sismik hatların orijinal isimleri haritada gösterilmiş olup, şekil alt yazısında tırnak içinde verilmiştir. Sismik yansıma kesitlerinin yeniden yorumlanması ile Biruni Fayı’nın konumu belirlenmiştir.*

### **Northwest Margin of the Anatolian Diagonal: The Re-Defined CAFZ**

The segments of Biruni Fault (BRF) described above and its continuation onshore, the Ecemiş-Deliler Fault (EDF), expresses itself by developing linear valleys between Yanışlı and Taşucu. The segments of EDF create left-lateral shifting on Akdere and the course of Göksu River northwest and southeast of Silifke (Figure 5; Appendix A). Another important clue for the left-lateral strike-slip fault comes from the migration of the submarine delta of Göksu River (Aksu et al., 2014a, fig. 23). Moreover, in the offshore of Silifke, the seismic reflection lines of Okyar et al. (2005), Walsh-Kennedy et al. (2014), and Aksu et al. (2014a) indicate semi-parallel segments of the EDF. The epicenters of the seismic events # 116\_2013.10.23 (M=4.5) and #189\_2012.05.03 (M=4.0) are close to these segments and provide left-lateral focal mechanism solutions (Figure 5) (Appendix A, B, and C).

West - northwest of Mersin and Tarsus, the southeast slopes of the Taurus Mountains have several morphological indicators to locate segments of the EDF (Appendix A). This broad shear zone between Aydıncık and Gülek demonstrates that the Ecemiş-Deliler Fault (EDF) can safely be located on the Mediterranean coast (Figures 5 and 6; Appendix A).

Northeast of Gülek is where the Ecemiş Fault was originally defined, and called the Ecemiş

corridor (Arpat and Şaroğlu, 1975; Yetiş, 1978) (Figure 6). Umhoefer et al. (2020) suggest that the Ecemiş corridor has a Late Eocene-Oligocene transpressional and post-Miocene transtensional character. Its spectacular morphological features were closely examined and dated recently by Sarıkaya et al. (2015) and Yıldırım et al. (2016), demonstrating late Quaternary activity in the Ecemiş Fault (Appendix A).

Further to the northeast, segments of the Ecemiş-Deliler Fault (EDF) create the Erciyes pull-apart basin (Dirik and Göncüoğlu, 1996; Koçyiğit and Beyhan, 1998) and a segment passing from the summit of Erciyes volcano (Emre et al., 2011b; Higgins et al., 2015) seems to behave as a cross basin fault (Figure 6; Appendix A, B, and C). The Ecemiş-Deliler Fault (EDF) has an ENE-WSW direction between Gemerek and Ulaş where Tuzla Gölü and Altınyayla Plain are two pull-apart structures (Figure 6). Finally, the Ecemiş - Deliler Fault (EDF) and Karaca Fault (KRF) create a restraining stepover where Divriği Thrust (DvT) is located (Figure 2; Appendix A, B, and C).

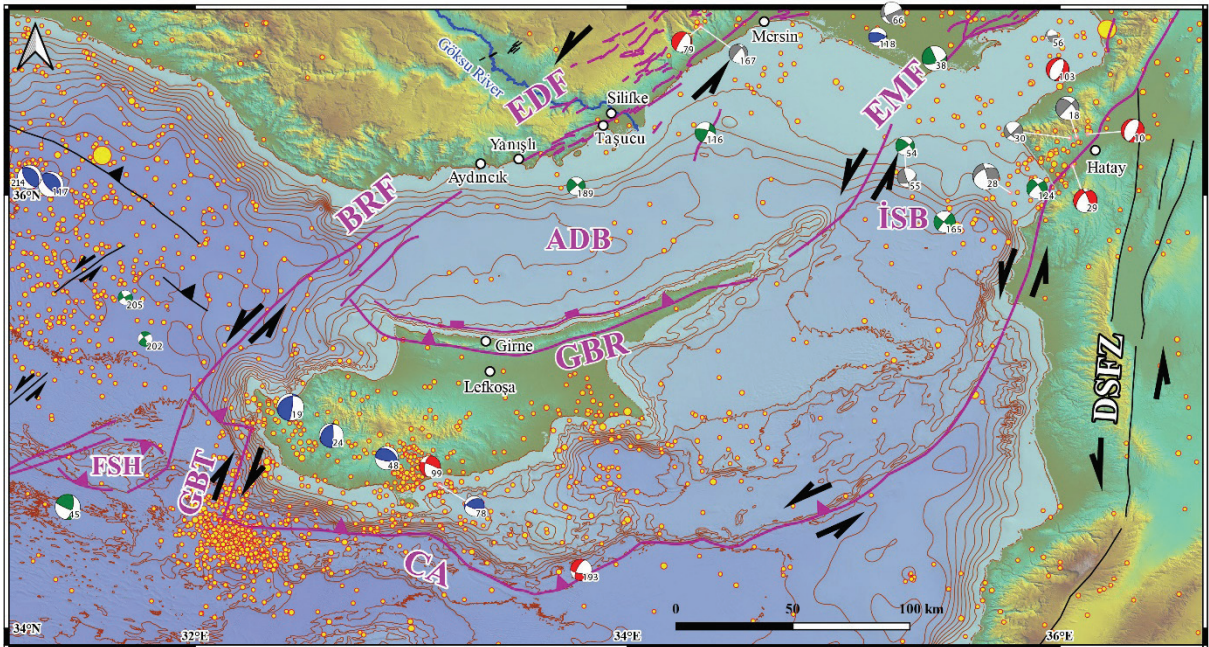
### **Internal Deformation of the Anatolian Diagonal**

The internal deformation of Anatolian diagonal is accommodated by the Sarız (SZF), Ovacık (OVF), Malatya (MAF), Sürgü (SRF), Kantarma-Barış (KBF), Elbistan-Misis (EMF), Maraş-Yumurtalık (MYF) and Ayvalı (AYF) faults (Figures 2, 5 and 6).

The southwest end of left-lateral strike-slip Sarız Fault (SZF) creates a restraining stepover with the Ecemiş - Deliler Fault in Aladağlar where one of the highest summits in the region, Demirkazık (3756 m) is located. Its northeast end is closer to the Kemah-İliç Fault (KİF) east of Divriği Thrust (Figures 2 and 6) (Appendix A, B, and C).

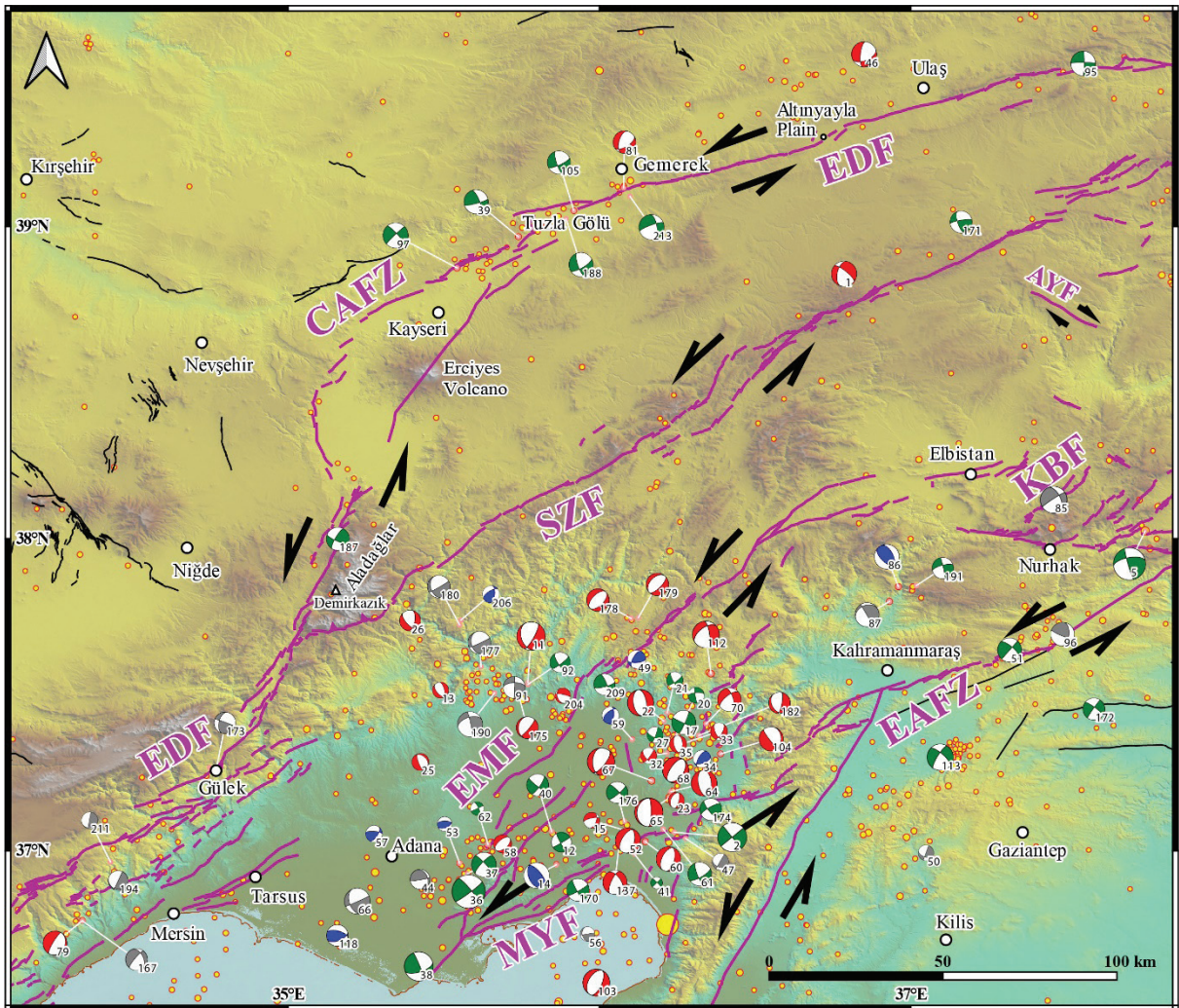
The Ovacık Fault (OVF) is separated from the NAFZ south of Erzincan Plain. Its segments cut Quaternary alluvial fans west of Ovacık and created a distinguished left-lateral displacement on the course of Fırat River (Figure 2). The left

lateral nature of Ovacık Fault (OVF) (Westaway and Arger, 2001; Yazıcı et al., 2018) is also confirmed by the focal mechanism solutions of the seismic events #110\_2011.12.03 (M=4.0) and #135\_2016.12.16 (M=4.4). The OVF constitutes the northwest margin of Kiğı rhomboidal cell and limits the Southeast Anatolian-Zagros Fault Zone (SAZFFZ) (Seyitoğlu et al., 2018); while it ends with en echelon segments around Hekimhan which are responsible for the seismic events #131\_2015.11.29 (M=4.9) and #200\*\_2019.03.25 (M=4.7) (Figure 2; Appendix A, B, and C).



**Figure 5.** Southwest end of Anatolian Diagonal and its relationship with the Cyprus Arc. Fault lines are from Barrier et al. (2004), Emre et al. (2013), Symeou et al. (2018), Aksu et al. (2022) and this paper. See Appendix A and C for details of faults and Appendix B for focal mechanism solutions. The epicenter locations are from the ISC Catalogue ( $M \geq 3.5$ ). BRF: Biruni Fault; EDF: Ecemiş-Deliler Fault; FSH: Fuat Sezgin High; EMF: Elbistan-Misis Fault; ADB: Adana Basin; İSB: İskenderun Basin; DSFZ: Dead Sea Fault Zone; GBR: Girne-Besparmak Range; GBT: Gazibaf Transform; CA: Cyprus Arc.

**Şekil 5.** Anadolu Çaprazı'nın güneybatı ucu ve Kıbrıs Yayı ile ilişkisi. Fay hatları Barrier vd. (2004), Emre vd. (2013), Symeou vd. (2018), Aksu vd. (2022) ve bu makale'den alınmıştır. Fayların detayları için Appendix A ve C'ye, odak mekanizmaları için Appendix B'ye bakınız. Dış merkez konumları ISC kataloğundan ( $M \geq 3,5$ ) alınmıştır.



**Figure 6.** Anatolian Diagonal between Central Anatolian Fault Zone (CAFZ) and East Anatolian Fault Zone (EAFZ). Fault lines are from Emre et al. (2013), Seyitoğlu et al. (2017), and this paper. See Appendix A and C for details of faults and Appendix B for focal mechanism solutions. The epicenter locations are from the ISC Catalogue ( $M \geq 3.5$ ). EDF: Ecemiş-Deliler Fault; SZF: Sarız Fault; EMF: Elbistan-Misis Fault; KBF: Kantarma-Barış Fault; MYF: Maraş-Yumurtalık Fault; AYF: Ayvalı Fault.

**Şekil 6.** Orta Anadolu Fay Zonu (CAFZ) ile Doğu Anadolu Fay Zonu (EAFZ) arasında Anadolu Çaprazı'nın konumu. Fay hatları Emre vd. (2013), Seyitoğlu vd. (2017) ve bu makaleden alınmıştır. Fayların detayları için Appendix A ve C'ye, odak mekanizma çözümleri için Appendix B'ye bakınız. Dış merkez konumları ISC kataloğundan ( $M \geq 3,5$ ) alınmıştır.

The NNE-SSW trending segments of the left-lateral Malatya Fault (MAF) are located between the north of Arguvan and Nurhak (Figure 2). They nearly correspond to the R-shear in the Anatolian Diagonal, similar to the Kantarma-Barış Fault (KBF) (Figure 6) (Appendix A, B, and C). There

is no agreement on the character of Sürgü Fault (SRF) among researchers (i.e., Koç and Kaymakçı, 2013; Emre et al., 2013), but the focal mechanism solutions of the seismic events #5\_1986.05.05 ( $M=6.0$ ) and #6\_1986.06.06 ( $M=5.7$ ) confirm its left-lateral strike-slip nature. The Sürgü Fault

(SRF) can be evaluated as P-shear in the Anatolian Diagonal (Figure 2; Appendix A, B and C).

The overall position of the Elbistan - Misis Fault (EMF) nearly corresponds to the R-shear in the Anatolian Diagonal and its segments create releasing stepovers where N-S normal faults developed, as seen in the east of Andırın, Yeşilova and Düziçi (Appendix A). Moreover, the Maraş-Yumurtalık Fault (MYF) is separated as a nearly parallel branch of the EAFZ and its segments create a releasing stepover where the N-S normal faults developed east of Osmaniye (Figure 6; Appendix A, B, and C).

The Ayvalı Fault (AYF) has been mapped as a NW-SE trending right-lateral strike-slip fault (Emre et al., 2012c). Its new semi-parallel segments demonstrate that the Anatolian Diagonal is a broad shear zone and the segments of Ayvalı Fault (AYF) are the right-lateral X-shears (Figures 2 and 6; Appendix A, B, and C).

#### **ANTALYA-KEKOVA FAULT ZONE (AKFZ): A STRUCTURE BETWEEN THE ANATOLIAN DIAGONAL AND THE PLINY / STRABO / PTOLEMY FAULTS**

The Biruni Fault (BRF) separates the Aegean and Cyprus arcs together with the Antalya-Kekova Fault Zone (AKFZ) (Figures 3 and 7). The position of BRF is defined by using the seismic lines of Mansfield (2005), Woodside et al. (2002), and Güneş et al. (2018). There is an important restraining stepover between the Biruni Fault (BRF) and the Antalya-Kekova Fault Zone (AKFZ) locating the western coast of Antalya Gulf (Figure 3).

The Antalya Fault has previously been proposed, but its character is controversial (Savaşçın et al., 1995; Barka and Reilinger, 1997; Aksu et al., 2014b; Hall et al. 2014a). While Aksu et al. (2014b) and Savaşçın et al. (1995) accepted that it is a right-lateral strike-slip fault, Barka and Reilinger (1997) draw the Antalya Fault as a

left-lateral lineament (see also Hall et al. 2014a), with which we agree, because the Antalya Basin contains features of a restraining stepover which is represented by the NW-SE trending Antalya Thrusts having NNE-SSW trending left-lateral tear faults, as mapped by Güneş et al. (2018) (Figure 3; Appendix C).

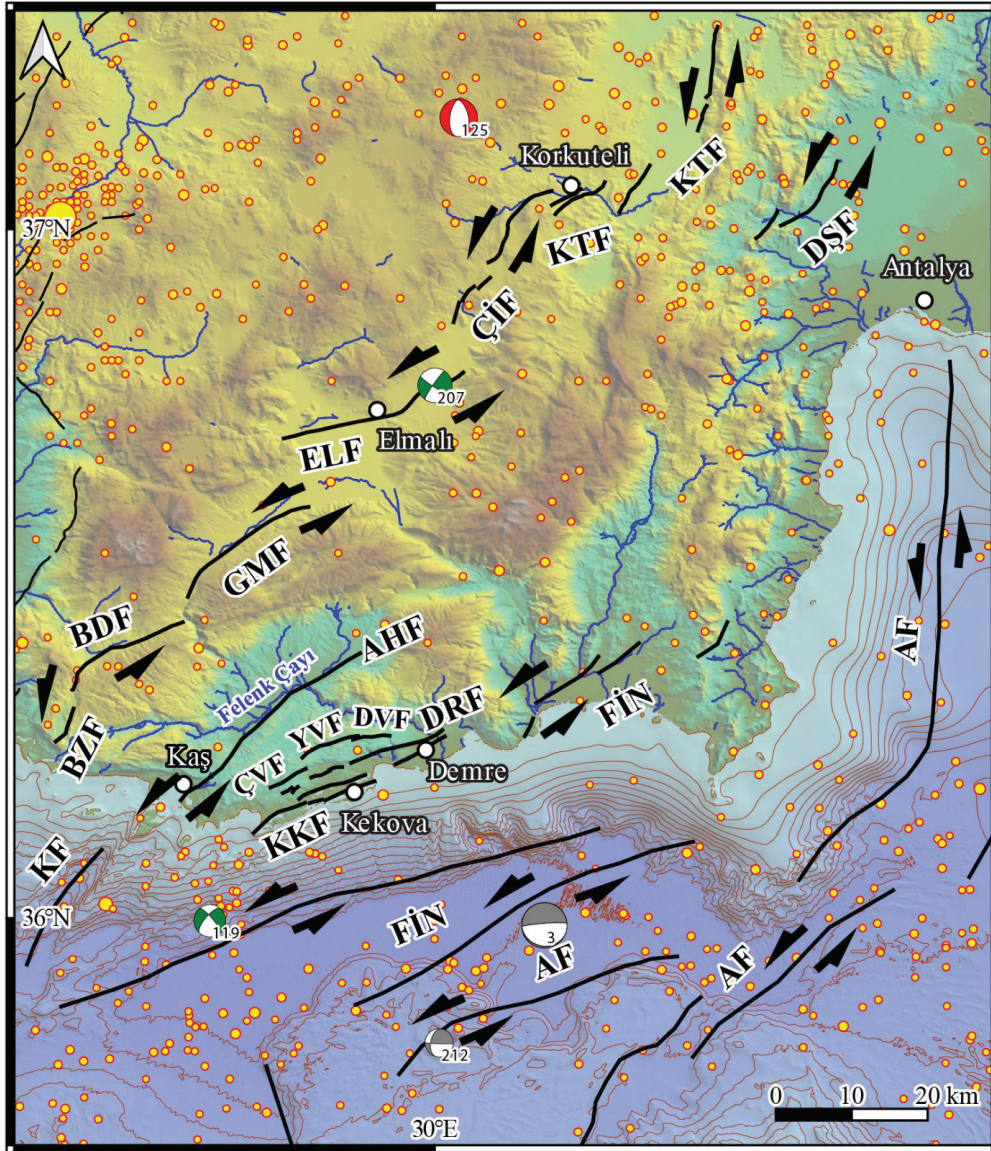
The seismic reflection lines of Aksu et al. (2009, 2014b) and Güneş et al. (2018) offshore of Demre indicate NNE-SSW and NE-SW trending faults. Their semi-parallel counterparts onshore are mapped as the Kekova and Kale faults (Emre and Duman, 2011b) west of Demre (Figure 7; Appendix C).

We re-defined the segment distributions and examined the morphological features (i.e., distinctive displacement of stream channels, linear mountain-piedmont junctions) of the onshore faults and evaluated these faults as left-lateral strike-slip in nature. Especially the Ahatlı Fault presents a distinct linear morphology and a 5.70 km left-lateral displacement was measured on the Felenk Çayı. Moreover, semi-parallel faults between the northwest of Kaş and northeast of Korkuteli also have a distinctive morphology, where the focal mechanism solution of the #207\*\_2019.11.16 (Mw=4.4) Bozhüyük-Elmalı earthquake shows a NE-SW trending left-lateral faulting, but its deep hypocenter (69.5 km) creates a question mark about the evaluation (Figure 7; Appendix B and C).

We infer that the offshore counterparts seen in the seismic reflection sections must be of the same character. Indeed, examination of the published seismic sections shows that the majority of the fault lines could easily be re-evaluated as strike-slip faulting rather than thrusting (Aksu et al., 2009, 2014b; Güneş et al., 2018). This view is supported by the focal mechanism solution of seismic event #119\_2014.03.24 (Mb=4.1) indicating that the nearest Finike Fault (FİN) is a left-lateral structure. As a conclusion, offshore and onshore

data indicate that the Antalya, Finike, Kekova, Kaş, Demre, Çevreli, Yavu, Davazlar, Ahatlı, Bezirgan, Beldibi, Gömbe, Elmalı, Çobanisa,

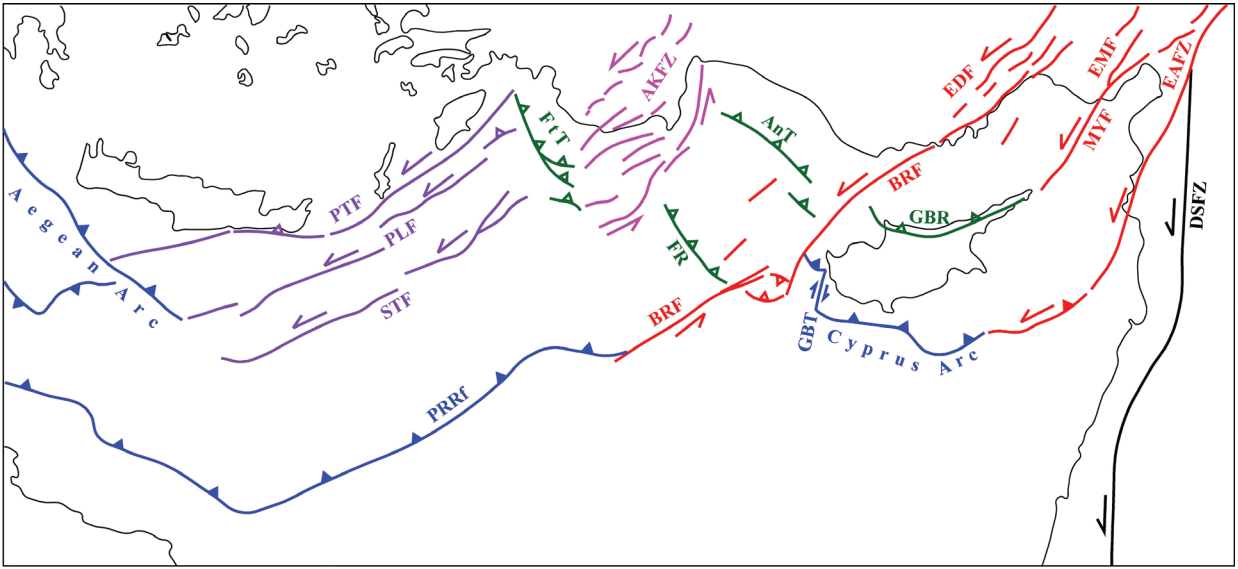
Korkuteli, and Döşemealtı faults constitute the left-lateral Antalya-Kekova Fault Zone (AKFZ) (Figure 7; Appendix B and C).



**Figure 7.** Offshore and onshore faults of Antalya-Kekova Fault Zone (AKFZ). Finike Fault (FİN) is taken from Aksu et al. (2009) and re-interpreted as a left-lateral strike-slip fault which is supported by the focal mechanism solution of seismic event #119. For focal mechanism solution see Appendix B, and for detail of the segment distribution, see Appendix C. KKF: Kekova Fault; DRF: Demre Fault; DVF: Davazlar Fault; AHF: Ahatlı Fault; KF: Kaş Fault; YVF: Yavu Fault; ÇVF: Çevreli Fault; BZF: Bezirgan Fault; BDF: Beldibi Fault; GMF: Gömbe Fault; ELF: Elmalı Fault. ÇİF: Çobanisa Fault; KTF: Korkuteli Fault; DŞF: Döşemealtı Fault.

**Şekil 7.** Antalya-Kekova Fay Zonu (AKFZ) 'na ait fayların karada ve deniz altındaki konumu. Finike Fayı (FİN) Aksu vd. (2009) 'dan alınmış ve sol yanıl doğrultu atımlı fay olarak yeniden yorumlanmıştır. Bu yorumu #119 numaralı depremin odak mekanizması çözümü desteklemektedir. Odak mekanizması çözümleri için Appendix B 'ye, fayların detaylı segment dağılımı için Appendix C 'ye bakınız.





**Figure 8.** Schematic simplified drawing of relationship between the Aegean Arc, Cyprus Arc (blue) and Anatolian Diagonal Shear Zone (red), Antalya-Kekova Fault Zone (AKFZ) (fuchsia), and Ptolemy-Pliny-Strabo faults (purple). Note that the restraining stepovers (green) (i.e., AnT: Antalya Thrust; FR: Florence Rise FtT: Fethiye Thrust) developed between the right-stepping left-lateral shear zones. DSFZ: Dead Sea Fault Zone; EAFZ: East Anatolian Fault Zone; GBR: Gırm-Besparmak Range; MYF: Maraş-Yumurtalık Fault; EMF: Elbistan-Misis Fault; EDF: Ecemiş-Deliler Fault; BRF: Biruni Fault; GBT: Gazibaf Transform; PRRf: Piri Reis Ridge Front; PTF: Ptolemy Fault; PLF: Pliny Fault; STF: Strabo Fault.

**Şekil 8.** Ege Yayı, Kıbrıs Yayı (mavi) ile Anadolu Çaprazı Makaslama Zonu (kırmızı), Antalya-Kekova Fay Zonu (AKFZ) (fuşya), Ptolemy-Pliny-Strabo fayları (mor) arasındaki ilişkiyi gösteren şematik basitleştirilmiş çizim.

## DISCUSSION

### Relationship of the Anatolian Diagonal with the Aegean and Cyprus Arcs

The Biruni Fault (BRF) provides a structural link between the Piri Reis Ridge Front and the Cyprus Arc, and the Antalya-Kekova Fault Zone (AKFZ) creates a restraining stepover in which the Antalya Thrust and Florence Rise developed (Figures 3 and 8).

The position of the Antalya Thrust is based on the seismic reflection sections of Dündar and Varol (2019, fig. 12) and Güneş et al. (2018, fig. 6), which corresponds to the Aksu-Kyrenia Fault of Aksu et al. (2022, fig. 19). The seismic reflection presented in Aksu et al. (2022, fig. 13) can be easily re-interpreted as thrust-related

structures such as ramp anticlines and back thrusts rather than normal faulting. This interpretation is concordant with the thrusts observed in Dündar and Varol (2019), Güneş et al. (2018), and Hall et al. (2014a, fig. 13).

The Florence Rise is evaluated as a NW-SE trending right-lateral transpressive wrench fault (Woodside et al., 2002; Zitter et al., 2003) or a left-lateral transpressive strike-slip fault, which creates a restraining bend south of Cyprus (Harrison et al., 2012). However, other studies evaluate the Florence Rise as a southwest verging thrust-related structure (Sage and Letouzey, 1990; Sellier et al., 2013a, b; Güneş et al., 2018). Howell et al. (2017) suggest that relatively deep thrust-related earthquakes (40-50 km) (i.e., seismic events #177\_2013.12.28, M=5.5; #214\_2022.01.05, M=5.0, Appendix B)

occur in the subduction interface between Nubia and Anatolia, and the Florence Rise is interpreted as thickened sediments at the surface projection of this subduction interface. Recent evaluation of the Florence Rise as a forearc high or accretionary prism due to subduction of the Antalya slab also exists (Güvercin et al., 2021). On the other hand, it is not clear whether the trench of the subduction is just south of the Florence Rise or further southwest between Piri Reis Ridge front and Herodotus basin. For this reason, we infer that the Antalya Thrust and Florence Rise structures are related to the restraining stepover between the Biruni Fault and the Antalya-Kekova Fault Zone rather than subduction-related structures because their onshore counterparts such as the post-Late Pliocene Aksu Thrust (Poisson et al., 2003) also exists (Figures 3 and 8).

There is another contractional stepover between the Antalya-Kekova Fault Zone (AKFZ) and the Pliny / Strabo faults (Shaw and Jackson, 2010; Özbakır et al., 2013) where the thrust controlled northern margin of the Rhodes basin developed (Figures 3 and 8). This fault configuration can be confirmed by the focal mechanism solutions of the recent earthquakes (i.e., seismic event #154\_2019.10.24, M=4.6, Appendix B) and by the geological cross sections of Aksu et al. (2009, fig. 26) and Hall et al. (2009, fig. 23). The seismic reflection data clearly show that the western margin of Rhodes basin is also controlled by a thrust, probably having a left-lateral strike-slip component (Woodside et al., 2000, fig.6) (Figures 3 and 8).

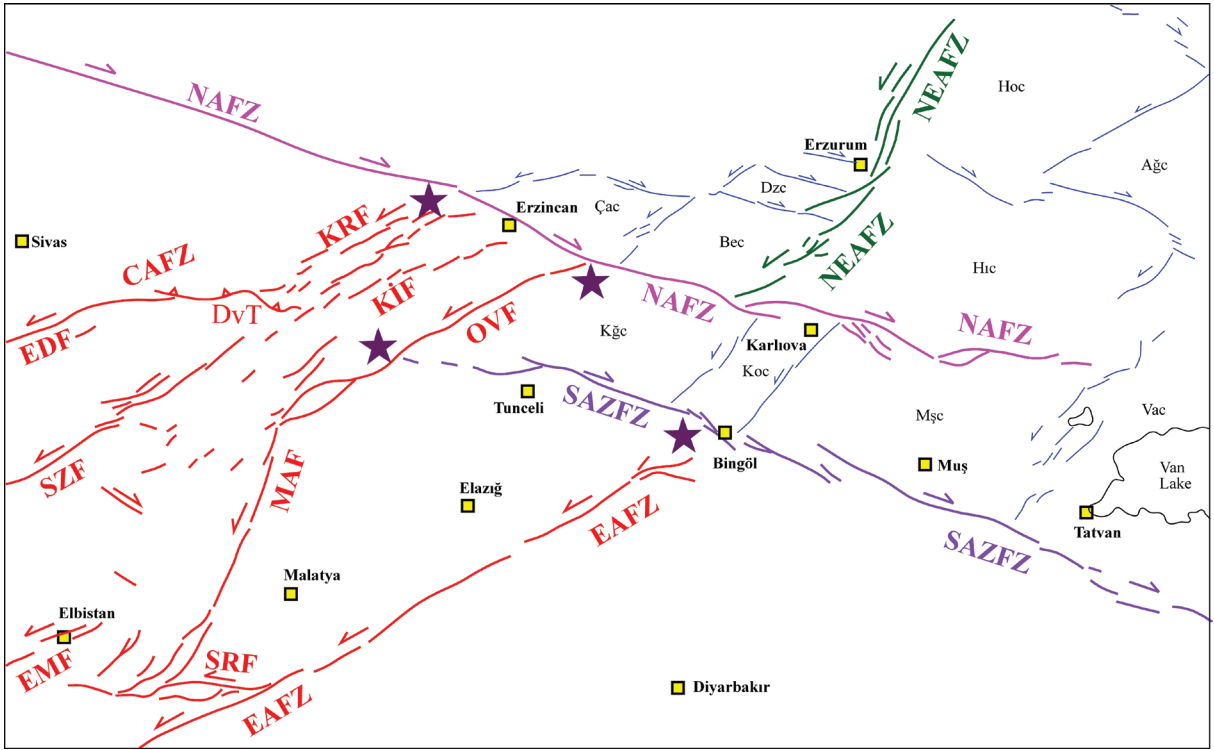
If the fault configuration explained above is correct, then there is no need for the Fethiye-Burdur Fault Zone, which is regarded as an onshore continuation of the Pliny and Strabo faults. Debate continues regarding the existence of the left-lateral Fethiye-Burdur Fault Zone (i.e., Hall et al., 2014b; Elitez and Yaltrak, 2016; Elitez

et al., 2016; Howell et al., 2017; Kaymakçı et al., 2018; Özkaptan et al., 2018). Some researchers have argued that there is no seismic activity to demonstrate such a left-lateral shear zone in the southwest of Türkiye (Jackson et al., 2019; Howell et al., 2017), and the focal mechanism solutions of the main event and aftershocks of the recent Acıpayam earthquake (2019.03.20, Mw=5.5) (Çıvgın et al., 2019) are also not compatible with the left-lateral shearing.

In this case, the entire southwesterly motion of Anatolia indicated by the GPS results (Reilinger et al., 2006) must be accommodated by the Anatolian Diagonal Shear Zone and the Antalya-Kekova Fault Zone. This result also creates some question marks on the seismic evaluation of the Akkuyu Nuclear Power Plant Station (ANPPS) located on the Ecemiş-Deliler Fault (EDF) and the Biruni Fault (BRF), which creates an FFT triple junction with the Cyprus Arc (Figures 3 and 8).

### **Relationship of the Anatolian Diagonal with the NAFZ and SAZFFZ**

The Anatolian Diagonal is a left-lateral shear zone separating east / southeast Anatolia from central Anatolia. A recent neotectonic study (Seyitoğlu et al., 2017) in the foreland of the Bitlis-Zagros Suture Zone (BZSZ) suggests that the Southeast Anatolian Wedge (SEAW), consisting of blind thrusts, fault propagation folds and tear faults, is operational between the suture zone and the Sincar Mountains (Figure 1). The overall structure in the hinterland of BZSZ, however, is explained by the rhomboidal cells surrounded by left- and right-lateral strike-slip faults (Seyitoğlu et al., 2018). The southwest margins of the rhomboidal cells are aligned in a single line that creates region-wide shear zones. The most spectacular ones are the NAFZ and the SAZFFZ (Figures 1 and 9).



**Figure 9.** Schematic simplified drawing of the multiple intersection points (stars) between the right-lateral NAFZ (fuchsia) / SAZfZ (purple) and left-lateral Anatolian Diagonal Shear Zone (red). NAFZ: North Anatolian Fault Zone; NEAFZ: Northeast Anatolian Fault Zone; SAZfZ: Southeast Anatolian-Zagros Fault Zone; EAFZ: East Anatolian Fault Zone; CAFZ: Central Anatolian Fault Zone; SRF: Sürgü Fault; EMF: Elbistan-Misis Fault; MAF: Malatya Fault; OVF: Ovacık Fault; KİF; Kemah-İliç Fault; KRF: Karaca Fault; DvT: Divriği Thrust; EDF: Ecemiş\_Deliler Fault; SZF: Sarız Fault. The rhomboidal cells (blue) are of Seyitoğlu et al. (2018), Çac: Çayırılı cell; Dzc: Düzyurt cell; Bec: Beşgöze cell; Hoc: Horasan cell; Ağc: Ağrı cell; Vac: Van cell; Mşc: Muş cell; Koc: Karlıova cell; Kgc: Kiğı cell.

**Şekil 9.** Sağ yanal Kuzey Anadolu Fay Zonu (fuşya) / Güneydoğu Anadolu-Zagros Fay Zonu (mor) ile sol yanal Anadolu Çaprazı (kırmızı) arasındaki çoklu kesişim noktalarını (yıldızlar) gösteren şematik basitleştirilmiş çizim.

The NAFZ does not terminate at Karlıova, as previously suggested; to the contrary, it continues southeast along the Varto Fault (Seyitoğlu et al., 2018) (Figure 9). The NAFZ connects with the Anatolian Diagonal and a newly-recognized intersection point of these two structures is the Erzincan Plain (Figure 9), where the Karaca Fault (KRF) represents the northwest margin of the Anatolian Diagonal Shear Zone. The Karaca (KRF) and Kemah - İliç (KİF) faults link to the Ecemiş-Deliler Fault (EDF) with a restraining bend where the Divriği Thrust (DvT) developed

(Figure 9). The Kemah-İliç Fault (KİF) also links with the right stepping Sarız Fault (SZF). The Ovacık Fault (OVF), the northwest margin of Kiğı rhomboidal cell (Seyitoğlu et al., 2018), limits the Nazimiye Fault of the SAZfZ. In other words, the Anatolian Diagonal Shear Zone limits the SAZfZ west of Tunceli (Figure 9).

In Bingöl, there is an intersection point between the right-lateral SAZfZ and the left-lateral EAFZ where NNE-SSW contraction takes place (Seyitoğlu et al., 2018). The overall fault

configuration in the region creates a complex relationship between the left-lateral Anatolian Diagonal Shear Zone and the right-lateral NAFZ and SAZFZ (Figure 9). It is not a simple case as explained earlier in the tectonic escape model, which proposes a single intersection point between the right- and left-lateral structures (Şengör et al., 1985, 2019). Instead, multiple intersection points exist between the left-lateral Anatolian Diagonal Shear Zone and the right-lateral NAFZ and the SAZFZ (Figure 9).

The area of Sivas-Yozgat-Kırşehir moves towards the southwest as a block (internal deformation of this block can be ignored at this stage for the sake of simplicity) between the left-lateral Karaca (KRF) and Ecemiş-Deliler (EDF) faults of the Anatolian Diagonal Shear Zone and the right-lateral Kırıkkale-Erbaa Fault Zone (KEFZ) (Şengör et al., 1985; Seyitoğlu et al., 2009) (Figure 1). The southwest movement of this block must be slower than the rest of southwest Türkiye, otherwise we could not observe the normal fault-related earthquakes on the Sultandağları Fault Zone (Akyüz et al., 2006b; Kaya et al., 2014) (Figure 1).

## CONCLUSIONS

The Anatolian Diagonal is a 170 km wide left-lateral shear zone developed between the EAFZ and the CAFZ and it extends from Erzincan to the Cyprus Arc for 850 km. The internal deformation of the shear zone is accommodated by the major structures such as Ovacık, Malatya, Sürgü, Kantarma-Barış, Elbistan- Misis, Maraş-Yumurtalık and Ayvalı faults. The relationship between the right-lateral NAFZ / SAZFZ and the left-lateral Anatolian Diagonal is so complex that it cannot be explained with a single intersection point at Karlıova, as previously proposed. At least four intersection points exist between the right-lateral NAFZ / SAZFZ and the left-lateral

Anatolian Diagonal Shear Zone (Figure 9). The first intersection point is Erzincan Plain where the NAFZ connects to the Anatolian Diagonal and causes west-southwest translation of the Sivas-Yozgat-Kırşehir block. The second intersection is southeast of Erzincan Plain where the NAFZ and the Ovacık Fault (OVF) meet. The third intersection is west-northwest of Tunceli where the Anatolian Diagonal (Ovacık Fault) limits the SAZFZ. The fourth intersection occurs in Bingöl where the SAZFZ cuts the EAFZ of the Anatolian Diagonal (Figure 9). In this area, it should also be noted that the NAFZ and the SAZFZ have a releasing stepover where Kiğı, Karlıova, and Muş rhomboidal cells developed (Seyitoğlu et al., 2018) (Figure 9).

The southwest ends of the left-lateral faults belonging to the Anatolian Diagonal cut and/or merge with the Cyprus Arc and the EAFZ connects to the Cyprus Arc. The Maraş-Yumurtalık Fault (MYF) connects the Anatolian Diagonal to the Girne-Beşparmak Range (GBR) (Kyrenia Range) (Figure 8). More importantly, the southwest continuation of the Ecemiş-Deliler Fault (EDF) reaches the Mediterranean coast. Its extension under the Mediterranean Sea, the Biruni Fault (BRF), is observed in the seismic reflection data. The Biruni Fault (BRF) cuts the Cyprus Arc and creates a TFF triple junction west of Cyprus (Figure 8).

The right stepping of the left-lateral Antalya-Kekova Fault Zone (AKFZ) creates a restraining stepover in the Antalya basin where the Florence Rise and Antalya Thrusts are visible in the seismic reflection sections. There is another restraining stepover between the Antalya-Kekova Fault Zone and the Pliny / Strabo faults where thrusts are predicted on the northern margin of Rhodes basin due to the recent thrust-related earthquakes (i.e., #154\_2019.10.24, M=4.6; and #153\_2019.10.03, M=5.1) (Figures 3 and 8).

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Anadolu Çaprazı, Doğu Anadolu Fay Zonu ile Orta Anadolu Fay Zonu arasında 170 km genişliğe ve Erzincan ile Kıbrıs Yayı arasında 850 km uzunluğa sahip sol yanal makaslama zonudur (Şekil 1). Bu makaslama zonunun iç deformasyonu Ovacık, Malatya, Sürgü, Kantarma-Bariş, Elbistan-Misis, Maraş-Yumurtalık ve Ayvalı fayları gibi ana yapılar tarafından karşılanır. Sağ yanal Kuzey Anadolu Fayı / Güneydoğu Anadolu – Zagros Fay Zonu ve sol yanal Anadolu Çaprazı arasındaki ilişki oldukça karmaşıktır ve daha önce öne sürüldüğü gibi Karlıova’da tek bir kesişim noktası ile açıklanamaz. Sağ yanal Kuzey Anadolu Fay Zonu / Güneydoğu Anadolu – Zagros Fay Zonu ile sol yanal Anadolu Çaprazı arasında en az dört kesişim noktası bulunur (Şekil 9). İlk kesişim noktası Erzincan Ovasında olup, burada Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Anadolu Çaprazı bir araya gelerek Sivas-Yozgat-Kırşehir bloğunun batı-güneybatı hareketine neden olur. İkinci kesişim noktası Erzincan ovasının güneydoğusunda olup, burada Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Ovacık Fayı bir araya gelmektedir. Üçüncü kesişim noktası Tunceli’nin batı – kuzeybatısında olup, burada Anadolu Çaprazına ait Ovacık Fayı Güneydoğu Anadolu-Zagros Fay Zonu’nu sonlandırır. Dördüncü kesişim noktası Bingöl’de olup, burada Güneydoğu Anadolu-Zagros Fay Zonu, Anadolu Çaprazına ait Doğu Anadolu Fay Zonu’nu keser (Şekil 9). Bu alanda Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Güneydoğu Anadolu – Zagros Fay Zonu rahatlamalı bir sıçrama yapmakta olup, burada Kiğı, Karlıova, ve Muş eşkenar dörtgen benzeri hücreler gelişmiştir (Seyitoğlu vd. 2018) (Şekil 9).

Anadolu Çaprazına ait sol yanal fayların güneybatı uçları Kıbrıs Yayı’na bağlanır ve/veya keserler. Doğu Anadolu Fay Zonu Kıbrıs Yayına bağlanmaktadır. Maraş-Yumurtalık Fayı, Anadolu Çaprazı’nı Girne -Beşparmak Sırtı’na bağlar (Şekil 8). Daha önemlisi, Ecemiş-Deliler Fayı’nın güneybatı devamı Akdeniz kıyısına ulaşır. Bunun Akdeniz’deki devamı olan ve sismik yansıma

kesitlerinde gözlenen Biruni Fayı Kıbrıs Yayı’nu keserek Kıbrıs batısında TFF üçlü eklemeni oluşturur (Şekil 8).

Antalya-Kekova Fay Zonu’nun sağa sıçraması Antalya havzasında daralmalı sıçrama meydana getirir, burada Florence Yükselimi ve Antalya bindirmeleri sismik yansıma kesitlerinde izlenebilmektedir. Diğer bir daralmalı sıçrama Antalya-Kekova Fay Zonu ile Pliny/Strabo Fayları arasında gelişmiştir. Burada Rodos havzasının kuzey kenarında gelişmiş bindirmeler yer almakta olup, yakın zamanda bindirmeler ile ilişkili depremler meydana gelmiştir (örn., #154\_2019.10.24,  $M=4,6$ ; #153\_2019.10.03,  $M=5,1$ ) (Şekiller 3 ve 8).

## ELECTRONIC APPENDIX A

Link 1: <https://dergipark.org.tr/tr/download/issue-file/56855>

Link 2: [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/9ef73dd7ef07bf3\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/9ef73dd7ef07bf3_ek.pdf)

## ELECTRONIC APPENDIX B

Link 1: <https://dergipark.org.tr/tr/download/issue-file/56856>

Link 2: [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/6f8d8e1e8fd822f\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/6f8d8e1e8fd822f_ek.pdf)

## ELECTRONIC APPENDIX C


Link 1: [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/8488de0d69c136b\\_ek.rar](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/8488de0d69c136b_ek.rar)

## ORCID

Gürol Seyitoğlu  <https://orcid.org/0000-0001-7993-898X>

Esra Tunçel  <https://orcid.org/0000-0001-7434-4111>

Bülent Kaypak  <https://orcid.org/0000-0003-4650-9171>

Korhan Esat  <https://orcid.org/0000-0003-2592-9281>

Ergin Gökçaya  <https://orcid.org/0000-0002-9808-6708>

## REFERENCES / KAYNAKLAR

- Acarel, D., Cambaz, M. D., Turhan, F., Mutlu, A. K. & Polat, R. (2019). Seismotectonics of Malatya Fault, Eastern Turkey. *Open Geosciences*, 11, 1098-1111.
- Aksu, A. E., Calon, T. J., Hall, J., Mansfield, S. & Yaşar, D. (2005). The Cilicia–Adana basin complex, Eastern Mediterranean: Neogene evolution of an active fore-arc basin in an obliquely convergent margin. *Marine Geology*, 221, 121-159.
- Aksu, A. E., Hall, J. & Yaltrak, C. (2009). Miocene–Recent evolution of Anaximander Mountains and Finike Basin at the junction of Hellenic and Cyprus Arcs, eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 258, 24-47.
- Aksu, A. E., Walsh-Kennedy, S., Hall, J., Hiscott, R.N., Yaltrak, C., Akhun, S.D. & Çifçi, G. (2014a). The Pliocene–Quaternary tectonic evolution of the Cilicia and Adana basins, eastern Mediterranean: Special reference to the development of the Kozan Fault zone. *Tectonophysics*, 622, 22-43.
- Aksu, A. E., Hall, J., Yaltrak, C., Çınar, E., Küçük, M. & Çifçi, G. (2014b). Late Miocene–Recent evolution of the Finike basin and its linkages with the Beydağları complex and the Anaximander Mountains, eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 635, 59-79.
- Aksu, A. E., Hall, J. & Yaltrak, C. (2022). The uppermost Messinian–Quaternary evolution of the Anamur–Kormakiti zone: The transition between the Outer Cilicia and Antalya basins. *Marine and Petroleum Geology*, 136, 105451.
- Akyüz, H. S., Altunel, E., Karabacak, V. & Yalçınar, C. Ç. (2006a). Historical earthquake activity of the northern part of the Dead Sea Fault Zone, southern Turkey. *Tectonophysics*, 426, 281-293.
- Akyüz, H. S., Uçarkuş, G., Şatır, D., Dikbaş, A. & Kozacı, Ö. (2006b). 3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen yüzey kırığı üzerinde paleosismolojik araştırmalar. *Yerbilimleri*, 27, 41-52.
- Alan, İ., Balcı, V. & Elibol, H. (2014.) *Geological map of the Silifke-P31 and P32 Quadrangles*. MTA-Ankara, Türkiye.
- Arpat, E. & Şaroğlu, F. (1972). The East Anatolian fault system; thoughts on its development. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 78, 33-39.
- Arpat, E. & Şaroğlu, F. (1975). Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18, 91-101. <http://tjb.jmo.org.tr/detail-article.php?articlekod=63>
- Barka, A. A. & Reilinger, R. (1997). Active tectonics of the Mediterranean region: Deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Annales Geofisica*, 40, 587-610.
- Barrier, E., Chamot Rooke, N. & Giordano, G. (2004). *Geodynamic Maps of the Mediterranean-sheet 1: Tectonics and Kinematics*. Commission for the Geological map of the World (CGMW) and UNESCO.
- Biju-Duval, B., Dercourt, J. & Le Pichon, X. (1976). From the Tethys Ocean to the Mediterranean Seas: A plate tectonic model of the evolution of the western Alpine system. In B. Biju-Duval, L. Montadert, (Eds.), *International Symposium on the Structural History of the Mediterranean Basins, Split (Yugoslavia)*, (p. 143-164). Editions Technip Paris
- Chorowicz, J., Dhont, D. & Gündoğdu, N. (1999). Neotectonics in the eastern North Anatolian Fault region (Turkey) advocates crustal extension: mapping from SAR ERS imagery and Digital Elevation Model. *Journal of Structural Geology*, 21, 511-532.
- Çıvgın, B., Kaypak, B., Seyitoğlu, G., Aktuğ, B., Kılıçarslan, Ö. & Akkoyunlu, F. (2019). An approach to the tectonic structure of the Acıpayam Basin: Analysis of the 20.03.2019 (Mw 5.5) earthquake and its aftershocks. *20th Anniversary of the 1999 Marmara Earthquakes: 23rd Active Tectonics Research Group Meeting, Abstract Books*, İstanbul, Türkiye.
- Davis, P. (1971). Distribution patterns in Anatolia with particular reference to endemism. In P. H. Davis & I. C. Hedge (Eds.), *Plant life of southwest Asia* (pp. 15-28). University Press, Aberdeen.
- Dirik, K. & Göncüoğlu, M. C. (1996). Neotectonic characteristics of central Anatolia. *International Geology Reviews*, 38, 807-817.
- Dirik, K., Yürür, T. & Demirbağ, H. (2003). *1 Mayıs 2003 Çimenli (Bingöl) Depremi Değerlendirme Raporu*. <https://www.doi.org/10.13140/2.1.5130.1449>
- Duman, T. Y. & Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society London Special Publications*, 372, 495-529.
- Dündar, S. & Varol, B. (2019). New insights on Messinian evaporites based on field and seismic

- interpretations in the Neogene Antalya Basin, SW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 28, 687-705.
- Dziewonski, A. M., Chou, T-A. & Woodhouse, J. H. (1981). Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *Journal of Geophysical Research*, 86, 2825-2852.
- Ekström, G., Nettles, M. & Dziewonski, A. M. (2012). The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth Planetary Interiors*, 200-201, 1-9.
- Elitez, İ. & Yaltrak, C. (2016). Miocene to Quaternary tectonostratigraphic evolution of the middle section of the Burdur – Fethiye Shear Zone, south-western Turkey: Implications for the wide inter-plate shear zones. *Tectonophysics*, 690, 336-354.
- Elitez, İ., Yaltrak, C. & Aktuğ, B. (2016). Extensional and compressional regime driven left-lateral shear in southwestern Anatolia (eastern Mediterranean). The Burdur – Fethiye Shear Zone. *Tectonophysics*, 688, 26-35.
- Emre, Ö. & Duman, T. (2011a). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Mersin (NJ 36-16) Quadrangle Serial Number: 34*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö. & Duman, T. (2011b). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Fethiye (NJ 35-16) Quadrangle Serial Number: 13*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Duman, T., Özalp, S., Elmacı, H. & Olgun, Ş. (2011a). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Adana (NJ 36-12) Quadrangle Serial Number: 33*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Duman, T., Özalp, S., Elmacı, H. & Olgun, Ş. (2011b). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Kayseri (NJ 36-8) Quadrangle Serial Number: 32*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Duman, T., Olgun, Ş., Elmacı, H. & Özalp, S. (2012a). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Divriği (NJ 37-2) Quadrangle Serial Number: 41*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Elmacı, H., Özalp, S. & Olgun, Ş. (2012b). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Malatya (NJ37-6) Quadrangle Serial Number: 42*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Duman, T. & Elmacı, H. (2012c). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Elbistan (NJ 37-5) Quadrangle. Serial Number: 37*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Duman, T., Olgun, Ş., Elmacı, H. & Özalp, S. (2012d). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Gaziantep (NJ 37-9) Quadrangle Serial Number: 38*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Duman, T., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. & Şaroğlu, F. (2013). *Active fault map of Turkey with and explanatory text. Special Publication Series 30*. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. & Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3229-3275.
- Ergin, M. (1999). *Present day seismicity and seismotectonic characteristics of the Cilician region* [Unpublished PhD thesis]. Istanbul Technical University.
- Ergin, M., Aktar, M. & Eyidoğan, H. (2004). Present-Day Seismicity and Seismotectonics of the Cilician Basin: Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94, 930-939.
- Esri (2021). “Ocean” [basemap]. Scale Not Given. “World Ocean Base”. January, 2021. [https://server.arcgisonline.com/arcgis/rest/services/Ocean/World\\_Ocean\\_Base/MapServer](https://server.arcgisonline.com/arcgis/rest/services/Ocean/World_Ocean_Base/MapServer) (January, 2022).
- Güneş, P., Aksu, A. E. & Hall, J. (2018). Structural framework and deformation history of the western Cyprus Arc. *Tectonophysics*, 744, 438-457.
- Güvercin, S. E., Konca, A. Ö., Özbakır, A. D., Ergintav, S. & Karabulut, H. (2021). New focal mechanisms reveal fragmentation and active subduction of the Antalya slab in the Eastern Mediterranean. *Tectonophysics* 805, Article 228792. doi.org/10.1016/j.tecto.2021.228792.
- Hall, J., Aksu, A. E., Yaltrak, C. & Winsor, J. D. (2009). Structural architecture of the Rhodes Basin: A deep depocentre that evolved since the Pliocene at the junction of Hellenic and Cyprus Arcs, eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 258,1-23.

- Hall, J., Aksu, A. E., King, H., Gogacz, A., Yaltrak, C. & Çifçi, G. (2014a). Miocene–Recent evolution of the western Antalya Basin and its linkage with the Isparta Angle, eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 349, 1-23.
- Hall, J., Aksu, A. E., Elitez, I., Yaltrak, C. & Çifçi, G. (2014b). The Fethiye-Burdur Fault Zone: A component of upper plate extension of the subduction transform edge propagator fault linking Hellenic and Cyprus Arcs, Eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 635, 80-99.
- Harrison, R.W., Tsiolakis, E., Stone, B.D., Lord, A., McGheehin, J.P., Mahan, S.A. & Chirico, P. (2012). Late Pleistocene and Holocene uplift history of Cyprus: implications for active tectonics along the southern margin of the Anatolian microplate. In A.H.F. Robertson, O. Parlak & U.C. Ünlügenç, (Eds.), *Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region*. Geological Society London, Special Publications, 372. <https://doi.org/10.1144/SP372.3>
- Herece, E. (2008). *Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası*. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi. No: 13, Ankara.
- Herrmann, R. B. (2013). Computer programs in seismology: an evolving tool for instruction and research. *Seismological Research Letters*, 84, 1081-1088.
- Higgins, M., Schoenbohm, L. M., Brocard, G., Kaymakçı, N., Gosse, J.C. & Cosca, M. A. (2015). New kinematic and geochronologic evidence for the Quaternary evolution of the Central Anatolian fault zone (CAFZ). *Tectonics*, 34, 2118-2141.
- Howell, A., Jackson, J., Copley, A., McKenzie, D. & Nissen, E. (2017). Subduction and vertical coastal motions in the eastern Mediterranean. *Geophysical Journal International*, 211, 593-620.
- Huang, W. (1993). Morphologic patterns of stream channels on the active Yishi Fault, southern Shandong province, eastern China: implications for repeated great earthquakes in the Holocene. *Tectonophysics*, 219, 283-304.
- Huguen, C., Mascle, J., Chaumillon, E., Woodside, J. M., Benkheilil, J., Kopf, A. & Volkonskaia, A. (2001). Deformational styles of the eastern Mediterranean Ridge and surroundings from combined swath mapping and seismic reflection profiling. *Tectonophysics*, 343, 21-47.
- Jackson, J., Howell, A., Copley, A., McKenzie, D. & Nissen, E. (2019). Active tectonics of SW Turkey from the combined use of seismology, geodesy and Quaternary Geology. 72<sup>nd</sup> In H. Sözbilir, Ç. Özkaymak, B. Uzel, Ö. Sümer, M. Softa, Ç. Tepe, & S. Eski (Eds), Geological Congress of Turkey, The Proceedings and Abstracts Book, (p. 6). [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893_ek.pdf)
- Kaya, S., Esat, K., Işık, V., Kaypak, B., Uyar, A. G. & Seyitoğlu, G. (2014). Geological and geophysical observations on the tectonic features of western part of the Afyon-Akşehir graben: a contribution to the arguments on the two-stage extension model. *Yerbilimleri*, 35, 1-16.
- Kaymakçı, N., İnceöz, M., Ertepinar, P. & Koç, A. (2010). Late Cretaceous to Recent kinematics of SE Anatolia (Turkey). Geological Society London Special Publications, 340, 409–435.
- Kaymakçı, N., Langereis, C., Özkaptan, M., Özacar, A.A., Gülyüz, E., Uzel, B. & Sözbilir, H. (2018). Paleomagnetic evidence for upper plate response to a STEP fault, SW Anatolia. *Earth and Planetary Science Letters*, 498, 101-115.
- Keller, E. A. & Pinter, N. (2001). *Active tectonics: Earthquakes, uplift and landscape*. Prentice Hall.
- Kılıç, T. & Utkucu, M. (2012). A Seismic Moment Tensor Catalogue Comprising Years 2007 and 2008 for  $M \geq 4.0$  Earthquakes in Turkey. *Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, 33(3), 219-238.
- Kılıç, T., Kartal, R.F., Kadiriöglü, F.T., Duman, T.Y. & Özalp, S. (2017). Türkiye ve yakın çevresi için düzenlenmiş moment tensor ( $1906-2012$ ) kataloğu  $MW \geq 4,0$ . In T.Y. Duman (Ed.), *Türkiye Sismotektonik Haritası: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-34*, 261 s.
- Koç, A. & Kaymakçı, N. (2013). Kinematics of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study. *Journal of Geodynamics*, 65, 292-307.
- Koçyiğit, A. & Beyhan, A. (1998). A new intracontinental transcurrent structure: The Central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 284, 317-336.
- Kuzucuoğlu, C., Çiner, A. & Kazancı, N. (2019). The geomorphological regions of Turkey. In C. Kuzucuoğlu, A. Çiner, N. Kazancı (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey* (pp. 41-178). Springer International Publishing.
- Le Pichon, X. & Kreemer, C. (2010). The Miocene-to-Present kinematic evolution of the Eastern Mediterranean and Middle East and its



- implications for dynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 38, 323-351.
- Lentas, K. (2018). Towards routine determination of focal mechanisms obtained from first motion P-wave arrivals. *Geophysical Journal International*, 212, 1665–1686.
- Lentas, K, Di Giacomo, D., Harris, J. & Storchak, D. A. (2019). The ISC Bulletin as a comprehensive source of earthquake source mechanisms. *Earth System Science Data*, 11, 565-578.
- Mansfield, S. L. (2005). *Neogene Tectonic and Sedimentary Evolution of the Outer Cilicia Basin, Eastern Mediterranean Sea* [MSc Thesis,]. Memorial University of Newfoundland and Labrador. ISBN: 978-0-494-19380-8.
- McClusky, S., Balassian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., et al. (2000). Global Positioning System constrains on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695-5719.
- McKenzie, D. P. (1970). Plate tectonics of the Mediterranean Region. *Nature*, 226, 239-243.
- McKenzie, D. (1972). Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- Melgar, D., Ganas, A., Taymaz, T., Valkaniotis, S., Crowell, B.W., Kapetanidis, V., Tsironi, V., Yolsal-Çevikbilen, S. & Öcalan, T. (2020). Rupture kinematics of 2020 January 24 Mw=6.7 Doğanyol-Sivrice, Turkey earthquake on the East Anatolian Fault Zone imaged by space geodesy. *Geophysical Journal International*, 223, 862-874.
- Morelli, A. & Barrier, E. (2004). *Geodynamic map of the Mediterranean*. Commission for the Geological Map of the World, Limoges, France.
- Nalbant, S. S., McCloskey, J., Steacy, S. & Barka, A. A. (2002). Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195, 291-298.
- Nalbant, S. S., McCloskey, J. & Steacy, S. (2005). Lessons on the calculation of static stress loading from the 2003 Bingöl, Turkey earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 235, 632-640.
- Okyar, M., Ergin, M. & Evans, G. (2005). Seismic stratigraphy of Late Quaternary sediments of western Mersin Bay shelf, (NE Mediterranean Sea). *Marine Geology*, 220, 113-130.
- Ökeler, A. (2003). *Recent Seismicity and Stress Analysis of The Cilician Region* [Unpublished M.Sc. thesis]. Istanbul Technical University (in Turkish).
- Özbakır, A. D., Şengör, A. M. C., Wortel, M. J. R. & Govers, R. (2013). The Pliny–Strabo trench region: A large shear zone resulting from slab tearing. *Earth and Planetary Science Letters*, 375, 188-195.
- Özkaptan, M., Kaymakçı, N., Langereis, C. G., Gülyüz, E. & Özacar, A. A. (2018). Age and kinematics of the Burdur basin: Inferences for existence of the Fethiye Burdur Fault Zone in SW Anatolia (Turkey). *Tectonophysics*, 744, 256-274.
- Papazachos, B. C. & Papaioannou, C. A. (1999). Lithospheric boundaries and plate motions in the Cyprus area. *Tectonophysics*, 308, 193-204.
- Poisson, A., Wernli, R., Sağular, E. K. & Temiz, H. (2003). New data concerning the age of the Aksu Thrust in the south of the Aksu valley, Isparta Angle (SW Turkey): consequences for the Antalya Basin and the Eastern Mediterranean. *Geological Journal*, 38, 311-327.
- Pondrelli, S. (2002). *European-Mediterranean Regional Centroid-Moment Tensors Catalog (RCMT) [Data set]*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
- Reilinger, R. E., McClusky, S. C., Oral, M. B., King, R. W., Toksöz, M. N., Barka, A. A., et al. (1997). Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *Journal of Geophysical Research*, 102, 9983-9999.
- Reilinger, R. E., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., et al. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa - Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, Article B05411. <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- Reitman, N. G., Mueller, K. J., Tucker, G. E., Gold, R. D., Briggs, R. W. & Barnhart, K. R. (2019). Offset channels may not accurately record strike-slip fault displacement: Evidence from landscape evolution models. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 13, 427-13,451.
- Rojay, B., Heimann, A. & Toprak, V. (2001). Neotectonic and volcanic characteristics of the Karasu fault zone (Anatolia, Turkey): The transition zone between the Dead Sea transform

- and the East Anatolian fault zone. *Geodinamica Acta*, 14, 197-212.
- Sage, L. & Letouzey, J. (1990). Convergence of the African and Eurasian plate in the eastern Mediterranean. In J. Letouzey (Ed.), *Petroleum and Tectonics in Mobile Belts* (pp. 49-68). 4th IFB Exploration and Production Research Conference, Bordeaux, November 14–18.
- Sarıkaya, M. A., Yıldırım, C. & Çiner, A. (2015). Late Quaternary alluvial fans of Emli Valley in the Ecemiş Fault Zone, south central Turkey: Insights from cosmogenic nuclides. *Geomorphology*, 228, 512-525.
- Sançar, T., Zabcı, C., Akçar, N., Karabacak, V., Yeşilyurt, S., Yazıcı, M., Akyüz, H. S., Öztüfekçi Önal, A., Ivy-Ochs, S., Christl, M. & Vockenhuber, C. (2020). Geodynamic importance of the strike-slip faults at the eastern part of the Anatolian Scholle: Inferences from the uplift and slip rate of the Malatya Fault (Malatya-Ovacık Fault Zone, eastern Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 188, Article 104091. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2019.104091>
- Savaşçın, M. Y., Francalanci, L., Innocenti, F., Manetti, P., Birsoy, R. & Dağ, N. (1995). Miocene-Pliocene potassic-ultrapotassic volcanism of the Afyon-Isparta region (central-western Anatolia, Turkey). *Petrogenesis and geodynamic implications: International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region (IESCA-1995), Proceedings V-II*, (pp. 487-502).
- Sellier, N. C., Loncke, L., Vendeville, B. C., Mascle, J., Zitter, T., Woodside, J. & Loubrieu, B. (2013a). Post-Messinian evolution of the Florence Ridge area (Western Cyprus Arc), Part I: Morphostructural analysis. *Tectonophysics*, 591, 131-142.
- Sellier, N.C., Vendeville, B. C. & Loncke, L. (2013b). Post-Messinian evolution of the Florence Rise area (Western Cyprus Arc) Part II: Experimental modeling. *Tectonophysics*, 591, 143-151.
- Seyitoğlu, G., Aktuğ, B., Karadenizli, L., Kaypak, B., Şen, Ş., Kazancı, N., Işık, V., Esat, K., Parlak, O., Varol, B., Saraç, G. & İleri, İ. (2009). A Late Pliocene - Quaternary pinched crustal wedge in NW central Anatolia, Turkey: A neotectonic structure accommodating the internal deformation of the Anatolian Plate. *Geological Bulletin of Turkey*, 52(1), 121-154. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28367/301626>.
- Seyitoğlu, G., Ecevitöglu, B., Kaypak, B., Esat, K., Çağlayan, A., Gündoğdu, O., Güney, Y., Işık, V., Pekkan, E., Tün, M. & Avdan, U. (2015). A missing-link in the tectonic configuration of the Almacık Block along the North Anatolian Fault Zone (NW Turkey): Active faulting in the Bolu plain based on seismic reflection studies. *Geophysical Journal International*, 201, 1814-1833.
- Seyitoğlu, G., Esat, K. & Kaypak, B. (2017). The neotectonics of southeast Turkey, northern Syria and Iraq: the internal structure of the South East Anatolian Wedge and its relationship with the recent earthquakes. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26, 105-126.
- Seyitoğlu, G., Esat, K., Kaypak, B., Toori, M. & Aktuğ, B. (2018). Internal deformation of the Turkish-Iranian Plateau in the hinterland of Bitlis-Zagros Suture Zone. In A. Farzipour Saein (ed.), *Tectonic and Structural Framework of the Zagros Fold-Thrust Belt* (pp. 161-244). Elsevier.
- Seyitoğlu, G., Kaypak, B., Esat, K. & Toori, M. (2020). *The focal mechanism solution of 2020.10.25 (Mw=4.1) Sancaklı-Bingöl Earthquake and an evaluation of the seismicity along the Southeast Anatolian Zagros Fault Zone*. Researchgate Technical Report. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.23793.10083>
- Seyitoğlu, G., Esat, K., Kaypak, B. & Çıvıgın, B. (2022) *Seismotectonics of the southern branch of North Anatolian Fault Zone along Bolu – Bursa – İzmir – Değirmenlik (Milos) island in the Aegean Sea*. In review.
- Seymen, İ. & Aydın, A. (1972). The Bingöl earthquake fault and its relation to the North Anatolian fault zone. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 79, 8-12.
- Shaw, B. & Jackson, J. (2010). Earthquake mechanisms and active tectonics of the Hellenic subduction zone. *Geophysical Journal International*, 181, 966-984.
- Symeou, V., Homberg, C., Nader, F.H., Darnault, R., Lecomte, J-C. & Papadimitriou, N. (2018). Longitudinal and temporal evolution of the tectonic style along Cyprus Arc System, assessed through 2-D reflection seismic interpretation. *Tectonics*, 37, 30-47.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. & Kuşçu, İ. (1992). The East Anatolian Fault Zone of Turkey. In R.C. Bucknam, & P.L. Hancock (Eds.), *Major active faults of the world, results of IGCP project 206*. *Annales Tectonicae*, suppl vol IV, 99-125.

- Şengör, A. M. C. (1980). *Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları [Fundamentals of the neotectonics of Turkey]*. Publication of Geological Society of Turkey, pp 1-40.
- Şengör, A. M. C. (2017). Diversion of river courses across major strike-slip faults and keirogens. In İ. Çemen & Y. Yılmaz (Eds.), *Active Global Seismology: Neotectonics and Earthquake Potential of the Eastern Mediterranean Region* (pp. 93-101). Geophysical Monograph 225.
- Şengör, A. M. C. & Barka, A. (1992). Evolution of escape-related strike-slip systems: implications for disruption of collisional orogens. In *29th International Geological Congress* (p.:323). Kyoto, Japan, Abstracts, vol. 1, p. 232.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. & Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip deformation basin formation and sedimentation: Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In K.T. Biddle & N. Christie-Blick (Eds.), *Strike-slip faulting and basin formation* (pp.227-264). Society of Economic Paleontologist and Minerologists Special Publications 37.
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. & Rangin, C. (2004). The North Anatolian Fault: A new look. *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 33, 1-75.
- Şengör, A. M. C., Zabcı, C. & Natal'in, B. A. (2019). Chapter 9 - Continental Transform Faults: Congruence and Incongruence with Normal Plate Kinematics? In J. C. Duarte (Ed.), *Transform Plate Boundaries and Fracture Zones* (pp. 169-247). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812064-4.00009-8>
- Umhoefer, P. J., Thomson, S. N., Lefebvre, C., Cosca, M. A., Teyssier, C. & Whitney, D. L. (2020). Cenozoic tectonic evolution of the Ecemiş Fault Zone and adjacent basins, central Anatolia, Turkey, during the transition from Arabia-Eurasia collision to escape tectonics. *Geosphere*, 16, 1358-1384.
- Walsh-Kennedy, S., Aksu, A. E., Hall, J., Hiscott, R. N., Yaltrak, C. & Çifçi, G. (2014). Source to sink: The development of the latest Messinian to Pliocene-Quaternary Cilicia and Adana Basins and their linkages with the onland Mut Basin, eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 622, 1-21.
- Westaway, R. & Arger, J. (2001). Kinematics of the Malatya-Ovacık Fault. *Geodinamica Acta*, 14, 103-131.
- Woodside, J. M. (1977). Tectonic elements and crust of Eastern Mediterranean Sea. *Marine Geophysical Research*, 3, 317-354.
- Woodside, J. M., Mascle, J., Huguen, C. & Volkonskaia, A. (2000). The Rhodes Basin, a post-Miocene tectonic trough. *Marine Geology*, 165, 1-12.
- Woodside, J. M., Mascle, J., Zitter, T. A. C., Limonov, A. F., Ergün, M. & Volkonskaia, A. (2002). The Florence Rise, the western bend of the Cyprus Arc. *Marine Geology*, 185, 177-194.
- Yazıcı, M., Zabcı, C., Sançar, T. & Natalin, B. A. (2018). The role of intraplate strike-slip faults in shaping the surrounding morphology: The Ovacık Fault (eastern Turkey) as a case study. *Geomorphology*, 312, 129-145.
- Yetiş, C. (1978). Geology of the Çamardı (Niğde) region and the characteristics of the Ecemiş Fault Zone between Madenboğaz and Kamışlı. *Istanbul University, Faculty of Science Bulletin, Serie B*, 43, 41-61.
- Yıldırım, C., Sarıkaya, M. A. & Çiner, A. (2016). Late Pleistocene intraplate extension of the Central Anatolian Plateau, Turkey: Inferences from cosmogenic exposure dating of alluvial fan, landslide, and moraine surfaces along the Ecemiş Fault Zone. *Tectonics*, 35, 1446-1464.
- Yolsal-Çevikbilen, S. & Taymaz, T. (2012). Earthquake source parameters along the Hellenic subduction zone and numerical simulations of historical tsunamis in the Eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 536-537, 61-100.
- Zhang, K., Liu, K. & Yang, J. (2004). Asymmetrical valleys created by the geomorphic response of rivers to strike-slip fault. *Quaternary Research*, 62, 301-315.
- Zitter, T. A. C., Woodside, J. M. & Mascle, J. (2003). The Anaximander Mountains: a clue to the tectonics of southwest Anatolia. *Geological Journal*, 38, 375-394.
- Zoback, M. L. (1992). First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map project. *Journal of Geophysical Research*, 97, 11703-11728.



**Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir, KB Türkiye) Yöresindeki Oligosen-Miyosen Yaşlı Kalk-alkalen Volkanik Kayaçların Mineral Kimyası, Jeokimyası ve Petrolojisi**  
*Mineral Chemistry, Geochemistry and Petrology of Oligocene-Miocene Calc-alkaline Volcanic Rocks in Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir, NW Turkey)*

**Ferhat Bozan<sup>1</sup> , Zafer Aslan<sup>2\*</sup> **

<sup>1</sup>*İlbank Trabzon Bölge Müdürlüğü, Yalınca Mah. Rize Cad.No:74 61000 Ortahisar/Trabzon*

<sup>2</sup>*Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 10145 Altıeylül/Balıkesir*

• Geliş/Received: 03.11.2021 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 14.01.2022 • Kabul/Accepted: 22.01.2022  
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 08.03.2022 • Baskı/Printed: 15.04.2022

*Araştırma Makalesi / Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Bu çalışmada, Balıkesir ili güneyindeki Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir, KB Türkiye) yöresinde bulunan, Oligosen-Miyosen yaşlı volkanik kayaçların petrografisi, mineral kimyası jeokimyası ve petrolojisi incelenmiştir.

Çalışılan volkanikler andezit, bazaltik andezit, trakiandezit ve piroklastik kayaçlardan oluşmaktadır. Mikrolitik porfirik, porfirik yer yer de fluidal, glomeroporfirik ve sferülitik dokuya sahip olan volkanik kayaçlar, plajiyoklaz, klinopiroksen, amfibol, biyotit ve Fe-Ti oksit ana minerallerden ibarettir. Çalışılan volkanik kayaçlara ait mineral kimyası analiz sonuçlarına göre, plajiyoklazlar andezin ( $An_{33-47}Ab_{49-61}Or_{2-6}$ ) ve labradorit ( $An_{60-62}Ab_{34-38}Or_{1-4}$ ), piroksenler ojit ve klinkoenstatit ( $Wo_{43}En_{75}Fs_{36}-Wo_{1}En_{38}Fs_{14}$ ), biyotitler ise Mg'lu biyotit türündedir. Biyotit mineralinden jeotermobarometre hesaplamalarına göre, 798-843°C sıcaklık ve 0,67-1,93 kbar basınç elde edilmiştir.

Jeokimyasal olarak, çalışılan volkanik kayaçlar yüksek K'lu kalk-alkalen özelliğe sahiptir. Andezitik volkanik kayaçlarda hornblend, klinopiroksen ve biyotit mineral ayrışmasının hâkim olduğu fraksiyonel kristalleşme ve asimilasyon süreçleri etkili olmuştur. Volkanik kayaçların Normal-Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları'na (N-OOSB) göre normalize iz element diyagramında, büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerce (BİYE, Rb, U ve Th) zenginleşme izlenirken, yüksek çekim alanlı elementlerce (YÇAE, Nb ve Tb) ise fakirleşme görülmektedir. Kondrite göre normalize nadir toprak element dağılımları,  $(La/Lu)_N$  8,29-15,65 ile orta düzeyde zenginleşme göstermekte olup, genel olarak konkav bir dağılım sunmaktadır. Elde edilen veriler ile bölgesel jeolojik veriler birlikte değerlendirildiğinde, incelenen volkanik kayaçların yitim izi taşıyan çarpışma sonrası ürünler olduğu ve ayrıca zenginleşmiş litosferik mantodan türemiş olduğunu işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Andezit, Biga Yarımadası, Hallaçlar Volkanik Kayaçları, jeokimya, mineral kimyası.

**Abstract:** *In this study, petrography, mineral chemistry, geochemistry, and petrology of Oligocene-Miocene volcanic rocks located in the Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir, NW Turkey) region in the south of Balıkesir were investigated.*

*The studied volcanics rocks have the composition of andesite, basaltic andesite, trachyandesite, and accompanying pyroclastics. Volcanic rocks show microlithic porphyry, porphyric, fluidal, glomeroporphyritic and spherulitic structures, and consist of plagioclase, clinopyroxene, amphibole, biotite, and Fe-Ti oxide as the major minerals. According to the results of mineral chemistry analysis of the investigated volcanic rocks, plagioclases are andesine ( $An_{33-47}Ab_{49-61}Or_{2-6}$ ) and labradorite ( $An_{60-62}Ab_{34-38}Or_{1-4}$ ), pyroxenes are augite and clinoenstatite ( $Wo_{43}En_{75}Fs_{36}-Wo_{1}En_{38}Fs_{14}$ ), and biotite is Mg-bearing biotite. Geothermobarometry calculations from biotite yielded a temperature range of 798–843 °C and a pressure range of 0.67–1.93 kbar.*

*Geochemically, the volcanic rocks have high-K calc-alkaline features. Fractional crystallization and assimilation processes dominated by hornblende, clinopyroxene and biotite mineral differentiation affected the andesitic volcanic rocks. Trace element diagram for volcanic rocks normalized to normal-mid-ocean ridge basalts (N-MORB) show enrichment in large ion lithophile elements (LILE, Rb, U and Th) and depletion in high field strength elements (HFSE, Nb and Yb). In the rare earth element diagram normalized to chondrite, there is moderate enrichment of (La/Lu)<sub>N</sub> 8.29-15.65 and the curve generally has a concave shape. When the obtained data and regional geological data are evaluated together, the investigated volcanic rocks are post-collisional products with subduction traces and are derived from enriched lithospheric mantle.*

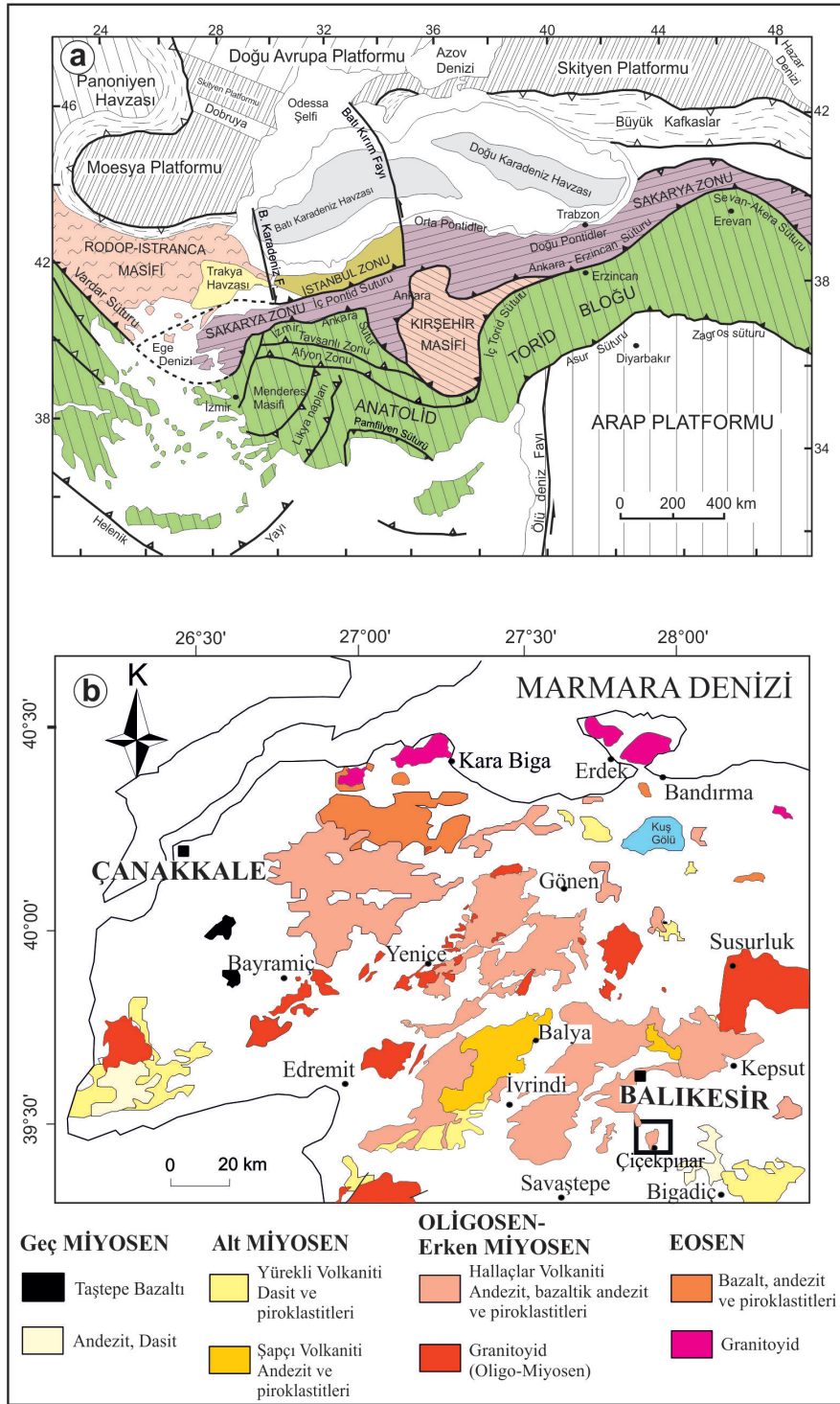
**Keywords:** Andesite, Biga Peninsula, Hallaçlar Volcanic Rocks, geochemistry, mineral chemistry.

## GİRİŞ

Batı Anadolu, Alp-Himalaya orojenik sisteminde önemli bir yere sahip olup, çarpışma sonrası magmatizmanın yaygın olduğu, kabuk-manto etkileşiminin gözlemlendiği ve magmatik-tektonik olayların birlikte izlendiği önemli bir kuşaktır (Aldanmaz vd., 2000; Altunkaynak ve Genç, 2008; Topuz ve Okay, 2017). Türkiye tektonik olarak Sakarya zonu, Torid-Anatolid bloğu, İntraPontid suture zonu ve Zagros suture zonu olmak üzere dört ana zona ayrılmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999), (Şekil 1a). Eosen, Oligosen ve Miyosen olmak üzere 3 ayrı evrede gözlenen Biga Yarımadası'ndaki Paleojen-Neojen magmatizması (Şekil 1b) çarpışma sonrası olarak kabul edilmektedir (Yılmaz 1990; Harris vd., 1994; Okay vd., 1996; 2001; Yılmaz vd., 2001; Altunkaynak, 2007; Pehlivan vd., 2007; Ercan vd., 1995; Altunkaynak ve Dilek, 2006; Aslan vd., 2017, 2020; Saatçı ve Aslan, 2018; Kamacı ve Altunkaynak, 2020). Eosen magmatik kayalar orta-K ve kalk-alkali karakterde olmalarına rağmen, Oligosen kayaları yüksek-K ve kalk-alkali, Miyosen kayaları ise yüksek-K alkali ile şoşonitiktir (Aldanmaz vd., 2000; Duru vd., 2004; Dönmez vd., 2005; Altunkaynak ve Genç, 2008; Karacık vd., 2008; Altunkaynak vd., 2012; Prelević vd., 2012; Topuz ve Okay, 2017; Aslan vd., 2020; Aysal vd., 2021). Bölgede Oligosen-Erken Miyosen döneminde granitik kayalar ve kökensel olarak bunlarla ilişkili volkanik kayalar gelişmiştir (Duru vd., 2004; Özgenç ve İlbeyleli, 2008; Altunkaynak ve Dilek, 2006; Karacık vd., 2008; Prelević vd.,

2012; Aslan vd., 2017; Saatçı ve Aslan, 2018; Aslan vd., 2020, Kamacı ve Altunkaynak, 2020). Erken Miyosen'den sonra gözlenen bölgedeki geç evre magmatizması, Na bakımından zengin alkali volkanizma ile temsil edilmektedir (Aldanmaz vd., 2000; Altunkaynak ve Genç, 2008; Prelević vd., 2015). Biga Yarımadası'ndaki kalk-alkalen volkanizma, çarpışma sonrası tektoniği ile ilişkili olup jeokimyasal olarak manto kaynağına ait ipuçları sunmaktadır.

Andezitik Yeniköy ile Bağburun, bazaltik Saraycık, asidik Atikhisar ve andezitik Hallaçlar Volkanik Kayaları Biga Yarımadası'nda geç Oligosen-erken Miyosen yaşlı volkanik kayaları oluşturur (Dönmez vd., 2005). Bölgedeki en geniş yayımlı volkanizma olan ve çalışmanın konusunu oluşturan Hallaçlar Volkanik Kayaları, Oligosen-Erken Miyosen yaşlı olup genellikle andezitik, bazaltik andezitik, trakitik yer yer de dasitik karakterlidir (Duru vd., 2004; Dönmez vd., 2005; Pehlivan vd., 2007). Balıkesir ilinin kuzeyi ile doğusunda ve Yenice (Çanakkale) civarında geniş bir alanda yayılım gösteren Hallaçlar Volkanik Kayaları (Şekil 1b) ile ilgili pek çok çalışma olmasına rağmen (Ercan vd., 1995; Aldanmaz vd., 2000; Dönmez vd., 2005; Altunkaynak ve Genç, 2008; Prelević vd., 2015; Aslan vd., 2017, 2020) güney kısmına ait alanda, mineral kimyası ve jeokimyasal çalışma az orandadır. Bu çalışma ile Balıkesir'in yaklaşık 10 km güneyinde mostra veren Büyükbostancı ve Çiçekpınar (Balıkesir) köyleri çevresinde yüzeylenen volkanik kayaların petrografik, mineral kimyası, jeokimyasal ve petrolojik özellikleri ortaya konulmuştur.



Şekil 1.a) Türkiye'nin tektonik bölümleri (Okay ve Tüysüz, 1999), b) Magmatik kayaçlarının Biga Yarımadası'ndaki dağılımı (Pehlivan vd., 2007'den değiştirilerek).

Figure 1.a) Tectonic divisions of Turkey (Okay and Tüysüz, 1999), b) Distribution of magmatic rocks in the Biga Peninsula (modified from Pehlivan et al., 2007).

## BÖLGESEL JEOLJİ

Kuzeybatı Anadolu'da bulunan Biga Yarımadası'nda Paleozoyik'ten Miyosen dönemine kadar metamorfik, tortul ve geniş yayımlı olarak da magmatik kayalar bulunmaktadır (Krushensky, 1976; Duru vd., 2004; Dönmez vd., 2005, Pehlivan vd., 2007). Biga Yarımadası'nın temelini oluşturan geç Paleozoyik yaşlı Kazdağ Masifi, orta-yüksek metamorfik dereceli Fındıklı, Tozlu ve Sutüven Formasyonları'ndan oluşmaktadır ve düşük dereceli metamorfik kayalardan ibaret olan Paleozoik yaşlı Kalabak Birimi tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. (Duru vd., 2004; Dönmez vd., 2005). Bu birim ise sırasıyla, Orhanlar Grovağı, Mehmetalan Formasyonu, Çal Formasyonu, Camialan Kireçtaşı ve Karakaya Formasyonu'ndan ibaret Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi tarafından üzerlenmektedir (Duru vd., 2004; Pehlivan vd., 2007; Akay, 2009). Geç Jura–Alt Kretase yaşlı olan ve platform tipi kireçtaşlarından oluşan Bilecik Formasyonu alttaki birimleri örter. Geç Kretase döneminde, serpantinleşmiş ultramafik–serpantinit blokları ile spilitik bazalt, metabazik, kristalize kireçtaşı, kıltaşı, kumtaşı ve tuf kayalar bloklarından oluşan Yayla Melanjı, çalışma alanının da en yaşlı birimidir (Duru vd., 2004; Pehlivan vd., 2007).

İzmir-Ankara-Erzincan Sütür Zonu'nun kuzeyinde bulunan Biga Yarımadası (KB Türkiye), Paleojen ve Neojen dönemlerinde etkin olan ve tektonik aktivite ile ilişkili olarak gelişen, magmatik ve volkanik kayalarla karakteristiktir. Bu kayalar, Kuzeybatı Anadolu Orojenik Kuşağı'nın evrimi sırasında kabuk–manto etkileşimlerinin bir sonucu olarak çarpışma sonrası bir ortamda oluşmuştur. Geç Kretase–erken Eosen döneminde, Neo-Tetis Okyanusu'nun kapanması ile Torid–Anatolid Bloğu ve Sakarya Kıtası çarpışarak İzmir–Ankara–Erzincan Kenet Kuşağı gelişmiştir (Şekil 1a), (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay vd., 1996; Seyitoğlu ve Scott, 1996; Okay ve Tüysüz, 1999; Okay ve Satır, 2000; Aldanmaz vd.,

2000; Yılmaz vd., 2001; Altunkaynak ve Dilek, 2006; Okay, 2008; Altunkaynak ve Genç, 2008; Aslan vd., 2017). Kıta-kıta çarpışması sonrası olarak Eosen, Oligosen ve Miyosen dönemlerinde, çok sayıda granitik plüton ve bunlarla ilişkili andezitik-dasitik-bazaltik volkanik kayalar Biga Yarımadası'nda (KB Türkiye) yaygın olarak gelişmiştir (Altunkaynak, 2007). Çarpışma sonrası magmatizmanın ilk ürünleri kalk-alkalen Eosen plütonik ve volkanik kayalarıdır. Plütonik kayalar tamamen granitik-granodiyoritik karakterde olmasına rağmen, Edincik ve Beyçayır Volkanitleri ve bunlarla ilişkili piroklastitler, bazalt ve dasitlerden oluşmaktadır (Dönmez vd., 2005; Altunkaynak, 2007; Altunkaynak ve Genç, 2008). Geç Eosen'den sonra dasit, dasitik tuf ve ignimbrit karakterli Dededağ Volkanik Kayaları oluşmuştur. Geç Oligosen-Erken Miyosen'deki Atikhisar, Yeniköy, Saraycık, Hallaçlar ve Şapçı Volkanik Kayaları, yüksek-K kalk-alkalen karakterde olup başlıca andezit, bazaltik andezit ve bazaltik trakiandezit karakterlidirler (Duru vd., 2004; Dönmez vd., 2005). Hallaçlar Volkanik Kayaları'nın yaşı K – Ar yöntemine göre geç Oligosen ( $26,5 \pm 1,1$  My) (Dönmez vd., 2005), Şapçı volkanik kayalarının yaşı zirkon U-Pb metoduna göre Erken Miyosen'dir ( $22,72 \pm 0,19$  ve  $18,72 \pm 0,17$  My), (Aslan vd., 2017). Çanakkale-Balıkesir arasında geniş bir yayılım gösteren Hallaçlar Volkanik Kayaları genellikle andezit, bazaltik andezit, trakitik andezit ve bunların piroklastik ürünlerinden ibarettir (Bozan, 2019). Son magmatik faz, Miyosen sonlarında oluşan kuvvetli alkali bazaltik lavlarla temsil edilen, riftleşme ile ilgili volkanik aktivitedir (Ercan vd., 1995; Yılmaz 1989; 1990; Seyitoğlu ve Scott, 1996). Tüm birimler, killi kireçtaşı, kıltaşı, marn, çakıltaşı, tüfit aralanmasından oluşan alt Miyosen yaşlı Soma Formasyonu ile örtülmüştür. Çalışma alanındaki en genç birim Kuvaterner alüvyondur.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma alanından toplanan örneklerin petrografik çalışması yapılmış ve kimyasal analiz için uygun olan 11 adet andezit örneği seçilmiştir.

Mineral kimyası analizleri için petrografik çalışmada tespit edilen, volkanik kayaçlardaki klinopiroksen, plajiyoklaz ve biyotit minerallerine ait elektron mikropob analizleri Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (YEBİM) yapılmıştır. Elektron mikropob analizi için karbon ile yüzeyi parlatılmış ince kesitler kullanılmıştır. Minerallerin ana oksitleri, JEOL marka JXA 8230 marka cihazda 20 kV voltaj ile 15 nA akımda analiz edilmiştir.

Örneklerin tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarında yaptırılmıştır. Retsch marka çeneli taş kırıcıda kırılan örnekler daha sonra FRITSCH marka tungsten karpit değirmende öğütülmüştür. 4'er gr'lık örnekler 0,9 gr'lık lithyum teraborat bağlayıcı malzemeye karıştırılıp hidrolik presde sıkıştırılmış ve pres-pastil olarak analize uygun duruma getirilmiştir. Bu örneklerin ana, iz ve nadir toprak element analizleri Spectro X-Lab 2000 marka Polarize Enerji Dispersif X-Işınları Floresans Spektrometresi (PED-XRF) aletinde yapılmıştır.

## BULGULAR

### Petrografi ve Mineral Kimyası

Biga Yarımadası'nda geniş yayılım gösteren Hallaçlar Volkanik Kayaçları, Büyükbostancı ile Çiçekpınar (Balıkesir) köyleri ve çevresinde, andezit, bazaltik andezit, traki-andezit lav ve bunlarla ilişkili piroklastitler şeklinde gözlenmektedir (Şekil 2). Masif birim gri renkli olup sert ve çatlaklı yapıdadır (Şekil 3a).

Tektonizmanın etkili olduğu yerlerde KD-GB yönlü kırık-çatlak sistemleri gelişmiş ve kayma yüzeyleri oluşmuştur. Yer yer kil ve silisleşme gözlenmekte olup bu kesimlerde birim daha açık renklerde gözlenmektedir (Şekil 3b). Piroklastları ise tuf olup krem veya açık sarı rengindedir.

Çalışılan volkanik kayaçlar, genellikle mikrolitik porfirik ve porfirik, yer yer de fluidal, glomeroporfirik, elek ve sferülitik dokularını göstermektedir. Ana mineraller; plajiyoklaz, piroksen, amfibol, biyotit ve Fe-Ti oksitler, ikincil mineraller ise serizit, klorit, kil ve kalsittir. Bazı örneklerde tali mineral olarak apatit gözlenmiştir.

Plajiyoklazlar, yarı öz veya öz şekilsiz kristaller veya hamurda da mikrolitler şeklinde gözlenir. Halkalı zonlanma ve albit ikiz gösteren bazı iri plajiyoklazlarda (Şekil 3c) küçük plajiyoklaz inklüzyonları tespit edilmiştir. Kırıklı ve çatlaklı yapıda olup ayrışmadan dolayı killeşme, kalsitleşme ve serizitleşmeye uğramışlardır. Kil ürünleri özellikle halkalı zonlar boyunca izlenir ve bazıları elek dokusu göstermektedir (Şekil 3c). İncelenen volkanitlerde gözlenen plajiyoklazların mineral kimyası ve bunların hesaplanan kimyasal formülleri Çizelge 1'de verilmiştir. Plajiyoklaz mineralleri genellikle andezin ( $An_{33}Ab_{49}Or_2 - An_{47}Ab_{61}Or_6$ ), az oranda da labradorit ( $An_{62}Ab_{38}Or_4 - An_{60}Ab_{34}Or_1$ ) alanında yer almaktadır (Şekil 4a).

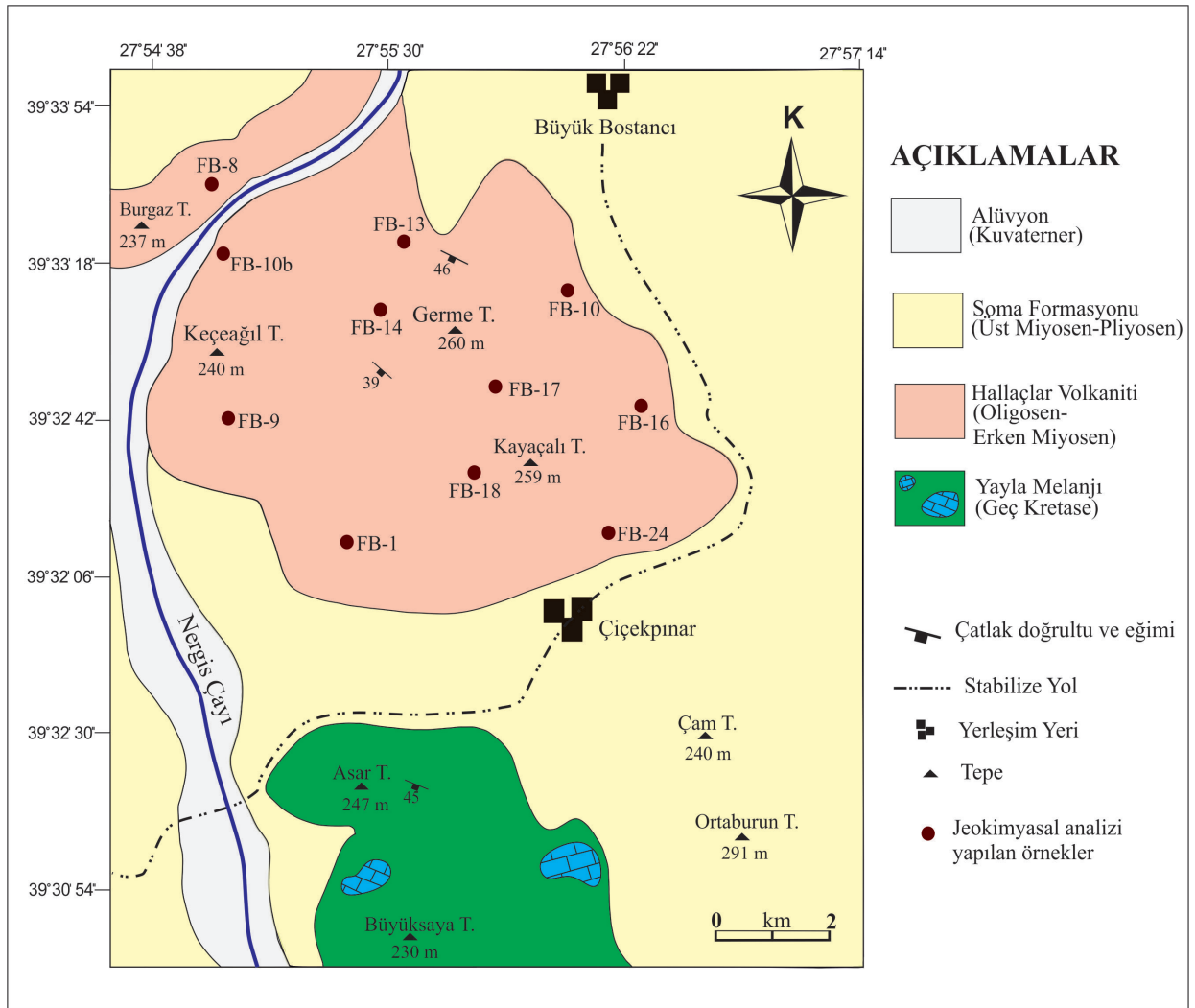
Klinopiroksenler orta ve iri taneli olup, yarı öz ve öz şekilli fenokristaller halindedir. Bazı örneklerde piroksen ve opak oksitlerden oluşan glomeroporfirik doku gözlenmiştir. Bazı piroksenlerde h'(100) ikizlenmesi varken bazı piroksenlerin kenar veya dilinimleri boyunca da klorit ve kil mineralleri mevcuttur (Şekil 3d). Çatlaklar boyunca klorit mineralleri gelişmiştir. Volkanitlere ait piroksenlerin mineral kimyası analizleri ve yapılan hesaplama sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Klinopiroksen bileşimleri



$Wo_{43}En_{75}Fs_{36}-Wo_{1}En_{38}Fs_{14}$  arasında değişirken,  $Mg/(Mg+Fe^{+2})$  oranı 0,63-0,79 arasında değişmektedir. Klinopiroksenler, Wo-En-Fs sınıflandırma diyagramına göre (Morimoto vd., 1988) ojit ve klinkoenstatit türündedir (Şekil 4b).

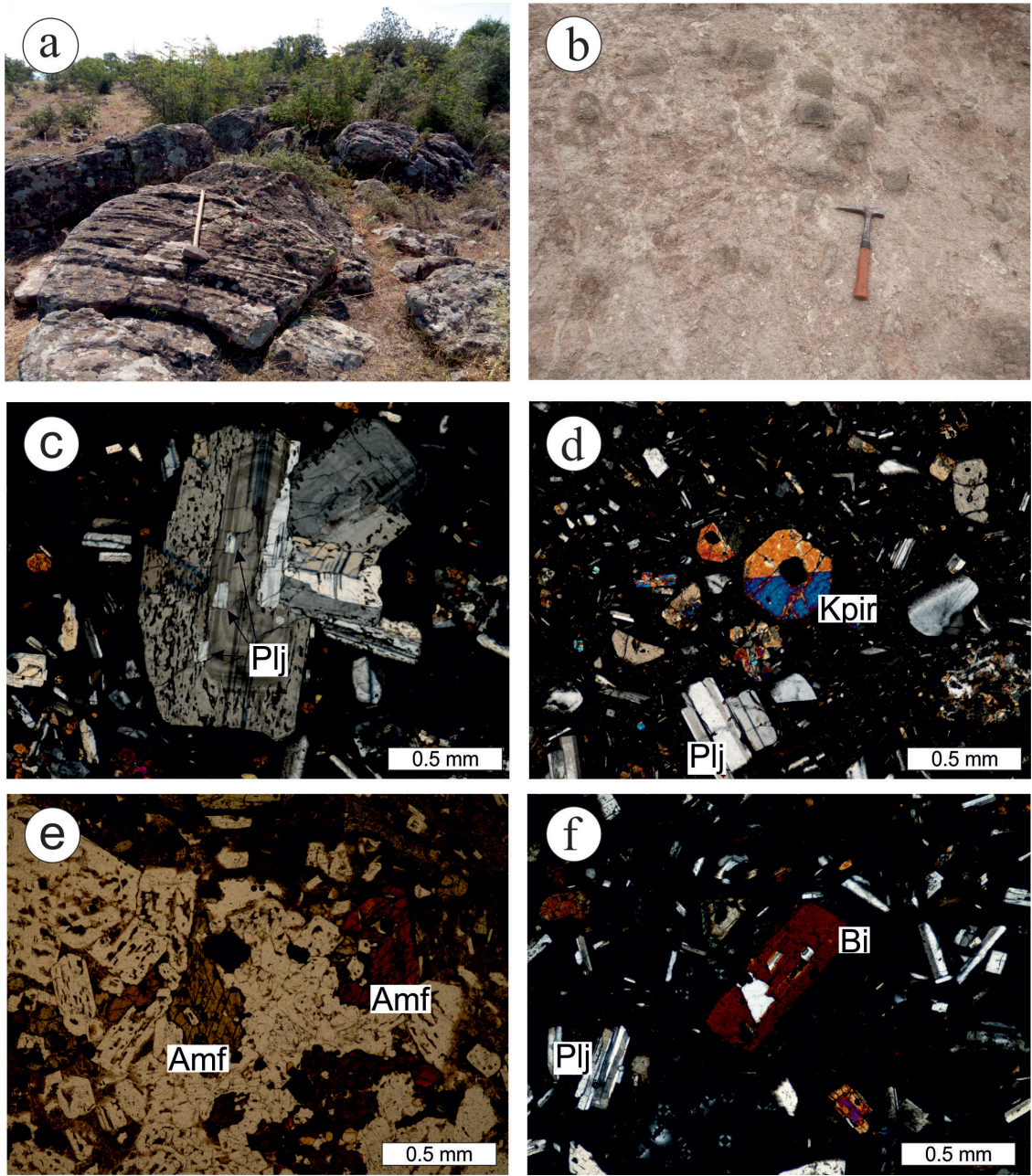
Yarı öz şekilli olan hornblend mineralleri, genellikle fenokristaller halindedirler. Açık ila

koyu yeşil-kahvemi yeşil pleokroizma renklerine sahiptirler (Şekil 3e). Hornblendler plajiyoklaz, biyotit ve opak mineralleri kapanım şeklinde bulundurmaktadır. Çatlaklı ve kırıklı yapıda olup çatlaklar boyunca kloritleşme gözlenmektedir.



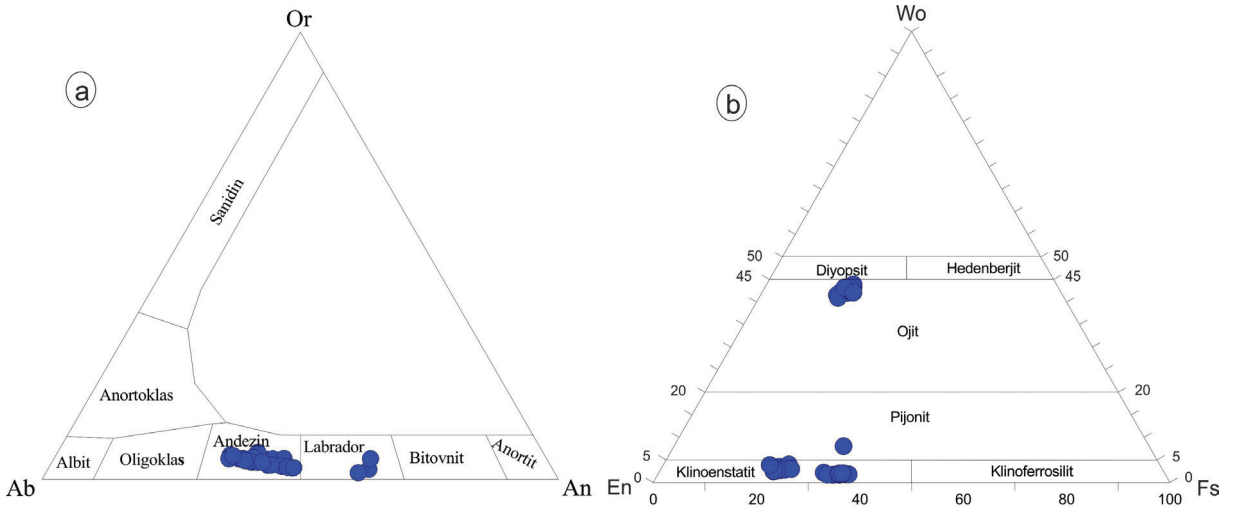
Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası (Pehlivan vd., 2007'den değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of the study area (modified from Pehlivan et al., 2007).



**Şekil 3.** İncelenen volkanik kayaçların saha ve polarizan mikroskop görüntüleri; **a)** Andezitik lavlarda masif, sert ve çatlaklı yapı (Çiçekpınar köyü kuzeybatısı), **b)** Alterasyon etkisi ile açık grimsi renkli andezit (Burgaz Tepe), **c)** Plajiyoklaz fenokristalinde elek dokusu, **d)** Öz şekilli klinopiroksen kristali, **e)** Pleokroik amfibol kristali (TN), **f)** Plajiyoklaz ve Fe-Ti oksit kapanımları içeren biyotit. Amf: Amfibol, Bi: Biyotit, Kpir: klinopiroksen, Plj: Plajiyoklaz, TN: Tek nikol.

**Figure 3.** Field and polarizing microscope views of the investigated volcanic rocks; **a)** Massive, hard and cracked structure in andesitic lava (Northwest of Çiçekpınar village), **b)** Light grayish colored andesite (Burgaz Tepe) due to alteration effects, **c)** Sieve texture in plagioclase phenocryst, **d)** Euhedral clinopyroxene crystal, **e)** Pleochroic amphibole crystal (TN), **f)** biotite containing plagioclase and Fe-Ti oxide inclusions. Amf: Amphibole, Bi: Biotite, Kpir: Clinopyroxene, Plj: Plagioclase, TN: Single Nicol.



**Şekil 4.** İncelenen volkanik kayalara ait; **a)** Plajiyoklazların Ab-An-Or üçgen sınıflama diyagramı (Deer vd., 1992), **b)** Piroksenlerin Wo-En-Fs üçgen sınıflama diyagramı (Morimoto vd., 1988).

**Figure 4. a)** Ab-An-Or triangular classification diagram of plagioclases (Deer et al., 1992), **b)** Wo-En-Fs triangular classification diagram of pyroxenes (Morimoto et al., 1988) for the investigated volcanic rocks.

Yapraksı veya çubuksu biyotitler yarı öz şekilli kristaller şeklindedir. Genellikle açık sarımsı ve kahverengi renklere pleokrizma sunmaktadır. Biyotitlerin bazılarında dilinimleri boyunca opasitleşme görülürken bazı iri kristaller de plajiyoklaz ve opak oksit kapanımları içermektedir (Şekil 3f). Biyotitlerde dilinim ve çatlaklar boyunca kloritleşme görülmektedir. Çalışılan volkanik kayalara ait biyotitlerin mineral kimyası analizleri ile hesaplamaları Çizelge 3'te verilmiştir. Biyotitlerin Mg# değerleri 0,56 ila 0,64 arasında  $Al^{IV}$  değerleri ise 0,83 ila 1,20 apfu aralığındadır (Çizelge 3). Flogopit değerleri %45-56 ve Anit değerleri %15-32 arasında değişmektedir. Fe/(Fe+Mg) karşı  $Al^{IV}$  (apfu) diyagramında örnekler biyotit alanında görülmektedir (Şekil 5a). Biyotitlerin Mg-Li (apfu) karşı Fe + Mn + Ti- $Al^{IV}$  (apfu) diyagramında (Tischendorf vd., 1997)

Mg'lu biyotit alanında bulunmaktadır (Şekil 5b). MgO-FeO(t)- $Al_2O_3$  üçgen diyagramında (De Albuquerque, 1973) biyotit örnekleri, amfibol ile birlikte var olan biyotitleri gösteren alan I çizgisi boyunca görülmektedir (Şekil 5c). Biyotit bileşimleri,  $Al^{tot}$  karşı Mg (apfu) diyagramında (Nachit vd., 1985) ise çoğunlukla kalk-alkalen alanda yer almaktadır (Şekil 5d).

Düzensiz geometrik şekillerdeki Fe-Ti oksit mineralleri genellikle hornblend ve biyotit minerallerinin çevresinde yoğunlaşmıştır. Tali minerallerden olan iğnecikler şeklindeki apatit plajiyoklaz ile birlikte bulunur. Serisit, kalsit, klorit ve kil ayrışma mineralleri olarak bulunmaktadır. Hamur, düzensiz dağılım sunan plajiyoklaz mikrolitlerinden, mikro kristaller halinde klinopiroksen ile biyotit kristallerinden ve volkanik camdan oluşmaktadır.

**Çizelge 1.** Çalışılan volkanik kayalara ait plajiyoklaz minerallerinin mineral kimyası analizleri.  
**Table 1.** Mineral chemistry analyses of plagioclase minerals from investigated volcanic rocks.

Örnek	FB10a		FB10a		FB10a		FB14-1		FB14-1		FB14-1		FB14-1		FB14-1		FB14-1		FB14-1		FB14-1		FB14-1		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	50,08	54,54	56,10	55,26	58,08	58,86	56,84	56,34	56,25	56,57	56,20	56,63	56,87	57,05	57,66	56,32	56,87	57,05	57,66	56,32	56,87	57,05	57,66	56,32	51,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,83	28,67	28,25	27,97	25,97	25,86	26,92	26,66	27,48	27,76	26,07	26,63	26,24	26,60	26,56	27,39	26,24	26,60	26,56	27,39	26,24	26,60	26,56	27,39	31,01
FeO(t)	0,81	0,47	0,44	0,44	0,34	0,35	0,34	0,39	0,40	0,38	0,35	0,45	0,36	0,37	0,45	0,35	0,36	0,37	0,45	0,35	0,36	0,37	0,45	0,35	0,39
CaO	12,67	8,27	8,75	8,80	7,15	7,30	7,64	8,29	8,43	8,00	11,89	8,21	9,15	8,16	9,21	8,48	9,15	8,16	9,21	8,48	9,15	8,16	9,21	8,48	12,74
Na <sub>2</sub> O	4,01	7,35	6,29	6,09	7,13	5,75	7,00	6,69	6,92	6,58	3,66	6,79	6,57	6,66	5,20	6,63	6,57	6,66	5,20	6,63	6,57	6,66	5,20	6,63	4,43
K <sub>2</sub> O	0,39	0,89	0,80	0,81	0,98	0,96	0,82	0,75	0,71	0,77	0,76	0,77	0,58	0,73	0,73	0,69	0,58	0,73	0,73	0,69	0,58	0,73	0,73	0,69	0,26
BaO	0,08	0,12	0,11	0,11	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,11	0,08	0,09	0,08	0,12	0,08	0,09	0,08	0,12	0,08	0,09	0,08	0,12	0,02
Toplam	99,86	100,32	100,73	99,48	99,71	99,18	99,67	99,21	100,28	100,15	99,01	99,59	99,85	99,65	99,89	99,98	99,85	99,65	99,89	99,98	99,85	99,65	99,89	99,98	100,61
Formül 32 oksijen üzerinden hesaplanmıştır.																									
Si	9,17	9,87	10,06	10,03	10,47	10,60	10,27	10,24	10,13	10,17	10,24	10,26	10,28	10,31	10,43	10,16	10,28	10,31	10,43	10,16	10,28	10,31	10,43	10,16	9,37
Al	6,87	6,12	5,97	5,99	5,52	5,49	5,73	5,71	5,83	5,88	5,60	5,69	5,59	5,66	5,82	5,61	5,59	5,66	5,82	5,61	5,59	5,66	5,82	5,61	6,61
Fe <sup>+2</sup>	0,12	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06
Ca	2,48	1,60	1,68	1,71	1,38	1,41	1,48	1,61	1,63	1,54	2,32	1,59	1,77	1,58	1,60	1,64	1,77	1,58	1,60	1,64	1,77	1,58	1,60	1,64	2,47
Na	1,42	2,58	2,19	2,14	2,49	2,01	2,45	2,36	2,42	2,29	1,29	2,39	2,30	2,33	1,82	2,32	2,30	2,33	1,82	2,32	2,30	2,33	1,82	2,32	1,55
K	0,09	0,21	0,18	0,19	0,22	0,22	0,19	0,17	0,16	0,18	0,18	0,18	0,13	0,17	0,17	0,16	0,13	0,17	0,17	0,16	0,13	0,17	0,17	0,16	0,06
Ba	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Toplam	20,16	20,46	20,14	20,14	20,13	19,78	20,18	20,17	20,24	20,12	19,69	20,18	20,14	20,11	19,74	20,16	20,14	20,11	19,74	20,16	20,14	20,11	19,74	20,16	20,13
An %																									
mol.	62,15	36,53	41,51	42,36	33,70	38,73	35,89	38,94	38,69	38,42	61,28	38,34	42,12	38,71	44,50	39,84	42,12	38,71	44,50	39,84	42,12	38,71	44,50	39,84	60,47
Ab %																									
mol.	35,59	58,78	53,98	53,02	60,83	55,20	59,52	56,88	57,45	57,17	34,09	57,37	54,69	57,16	50,82	56,32	54,69	57,16	50,82	56,32	54,69	57,16	50,82	56,32	38,04
Or %																									
mol.	2,27	4,69	4,51	4,62	5,48	6,08	4,60	4,17	3,85	4,40	4,63	4,29	3,19	4,14	4,68	3,84	3,19	4,14	4,68	3,84	3,19	4,14	4,68	3,84	1,49

Çizelge 1. Devami.  
Table 1. Continued.

Örnek	FBI4-1 Blg3 P1I		FBI4-1 Blg3 P1I		FBI4-1 Blg3 P1I		FBI4-1 Blg3 P1I		FBI4-1 Blg3 P1I		FBI4-1 Blg3 P1I		FBI4-1 Blg3 P1I		FBI4-1 Blg3 P1I		FBI4-1 Blg3 P1I						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5				
	merkez	merkez	merkez	kenar	kenar	kenar	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	kenar	kenar	merkez	merkez	merkez	kenar	kenar	kenar	
SiO <sub>2</sub>	53,65	53,09	54,09	54,15	54,76	54,11	57,14	56,94	56,22	56,74	55,65	55,94	56,36	57,58									
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,74	29,32	28,31	28,54	28,72	28,36	26,50	28,29	27,44	26,19	28,24	27,17	27,60	25,36									
FeO(t)	0,50	0,48	0,39	0,38	0,43	0,45	0,36	0,32	0,33	0,35	0,33	0,35	0,33	0,35									
CaO	9,72	10,38	9,61	9,35	10,08	10,26	7,72	7,70	7,92	7,84	8,40	8,19	8,77	8,39									
Na <sub>2</sub> O	6,21	6,11	6,24	6,52	6,18	5,97	7,74	7,73	7,15	7,40	7,02	7,15	6,60	7,17									
K <sub>2</sub> O	0,53	0,48	0,56	0,60	0,50	0,48	0,90	0,88	0,86	0,85	0,75	0,78	0,70	0,96									
BaO	0,07	0,05	0,08	0,09	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,12	0,14	0,07	0,08									
Toplam	100,41	99,91	99,28	99,62	100,73	99,71	100,43	101,92	99,99	99,45	100,51	99,71	100,42	99,88									
Formül 32 oksijen üzerinden hesaplanmıştır.																							
Si	9,70	9,67	9,87	9,86	9,86	9,85	10,28	10,10	10,15	10,36	10,01	10,14	10,13	10,48									
Al	6,33	6,29	6,09	6,12	6,09	6,08	5,62	5,91	5,84	5,64	5,99	5,81	5,85	5,44									
Fe <sup>+2</sup>	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05									
Ca	1,88	2,02	1,88	1,82	1,94	2,00	1,49	1,46	1,53	1,53	1,62	1,59	1,69	1,44									
Na	2,18	2,16	2,21	2,30	2,16	2,11	2,70	2,66	2,50	2,27	2,45	2,51	2,30	2,53									
K	0,12	0,11	0,13	0,14	0,12	0,11	0,21	0,20	0,20	0,20	0,17	0,18	0,16	0,22									
Ba	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01									
Toplam	20,29	20,32	20,25	20,30	20,23	20,22	20,36	20,38	20,28	20,05	20,30	20,30	20,18	20,17									
An % mol.	45,01	47,16	44,57	42,75	46,10	47,42	33,87	33,88	36,20	38,36	38,20	37,15	40,69	34,36									
Ab % mol.	52,08	50,24	52,34	54,00	51,16	49,95	61,44	61,50	59,13	56,68	57,75	58,64	55,42	60,32									
Or % mol.	2,91	2,60	3,09	3,26	2,73	2,63	4,69	4,61	4,67	4,95	4,04	4,21	3,88	5,32									



Çizelge 2. Devami.

Table 2. Continued.

Örnek	FB10a PYX1	FB10a PYX1	FB10a PYX1	FB10a PYX1	FB10a PYX1	FB10a PYX1	FB10a PYX1	FB10a PYX1	FB10a PYX1	FB10a PYX1	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB14B1g 2 PYX1	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2	FB10a PYX2							
SiO <sub>2</sub>	50,61	49,59	50,05	49,60	49,01	49,77	50,10	49,95	51,18	51,90	51,75	52,28	51,90	51,32	52,13	50,61	52,12	52,89																							
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,15	0,18	0,13	0,18	0,22	0,15	0,83	0,33	0,24	0,27	0,22	0,24	0,25	0,24	0,27	0,18	0,32																							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90	0,75	1,02	0,75	0,81	1,25	0,69	5,10	3,89	3,10	3,13	2,25	2,36	2,52	2,80	3,28	1,94	1,39																							
FeO(t)	23,99	22,37	23,56	23,91	24,51	23,86	23,30	9,10	14,82	15,98	15,73	16,33	16,98	15,35	15,33	14,96	14,09	10,23																							
MnO	0,72	0,68	0,78	0,97	0,73	0,73	0,74	0,15	0,27	0,34	0,28	0,37	0,39	0,27	0,28	0,28	0,25	0,34																							
MgO	23,06	22,73	24,05	23,52	22,97	23,48	23,30	14,78	27,24	26,77	28,00	27,99	27,32	29,40	28,57	28,70	29,03	14,13																							
CaO	0,94	4,30	1,05	0,97	0,93	1,05	1,04	19,22	1,77	2,08	1,46	1,49	1,57	1,34	1,41	1,35	2,07	20,98																							
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,06	0,03	0,06	0,04	0,04	0,03	0,52	0,06	0,10	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,44																							
K <sub>2</sub> O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																							
Toplam	100,44	100,64	100,73	99,93	99,17	100,40	99,35	99,90	99,70	100,53	100,66	100,96	100,81	100,51	100,82	99,63	99,81	100,71																							

Formül 6 oksijen üzerinden hesaplanmıştır.

Si	1,91	1,88	1,88	1,89	1,88	1,88	1,91	1,86	1,86	1,88	1,87	1,89	1,88	1,86	1,88	1,84	1,89	1,96																							
Al	0,04	0,03	0,05	0,03	0,04	0,06	0,03	0,14	0,14	0,12	0,13	0,10	0,10	0,11	0,12	0,14	0,08	0,04																							
Fe <sup>+2</sup>	0,54	0,38	0,46	0,47	0,49	0,48	0,51	0,21	0,30	0,33	0,29	0,31	0,33	0,21	0,28	0,22	0,23	0,28																							
Fe <sup>+3</sup>	0,20	0,31	0,27	0,28	0,28	0,26	0,22	0,07	0,14	0,15	0,17	0,18	0,18	0,25	0,18	0,23	0,19	0,04																							
Mn	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01																							
Mg	1,30	1,28	1,35	1,33	1,32	1,32	1,32	0,82	1,48	1,45	1,51	1,51	1,48	1,59	1,53	1,56	1,57	0,78																							
Toplam	4,06	4,09	4,07	4,08	4,08	4,07	4,06	4,02	4,04	4,04	4,05	4,05	4,05	4,07	4,05	4,07	4,06	4,01																							
Mg#	0,64	0,65	0,65	0,64	0,63	0,64	0,64	0,74	0,77	0,75	0,76	0,76	0,74	0,78	0,77	0,78	0,79	0,71																							
Wo	1,81	8,02	1,97	1,83	1,79	2,00	2,00	40,11	3,44	3,99	2,76	2,80	2,96	2,46	2,65	2,54	3,86	42,24																							
En	61,63	59,02	62,96	61,98	61,20	62,13	62,41	42,93	73,71	71,50	73,77	73,02	71,71	75,37	74,65	75,30	75,40	39,58																							
Fs	36,45	32,74	34,98	35,98	36,88	35,75	35,49	15,00	22,65	24,15	23,33	24,08	25,21	22,01	22,54	22,01	20,56	16,58																							

Çizelge 2. Devamı.  
Table 2. Continued.

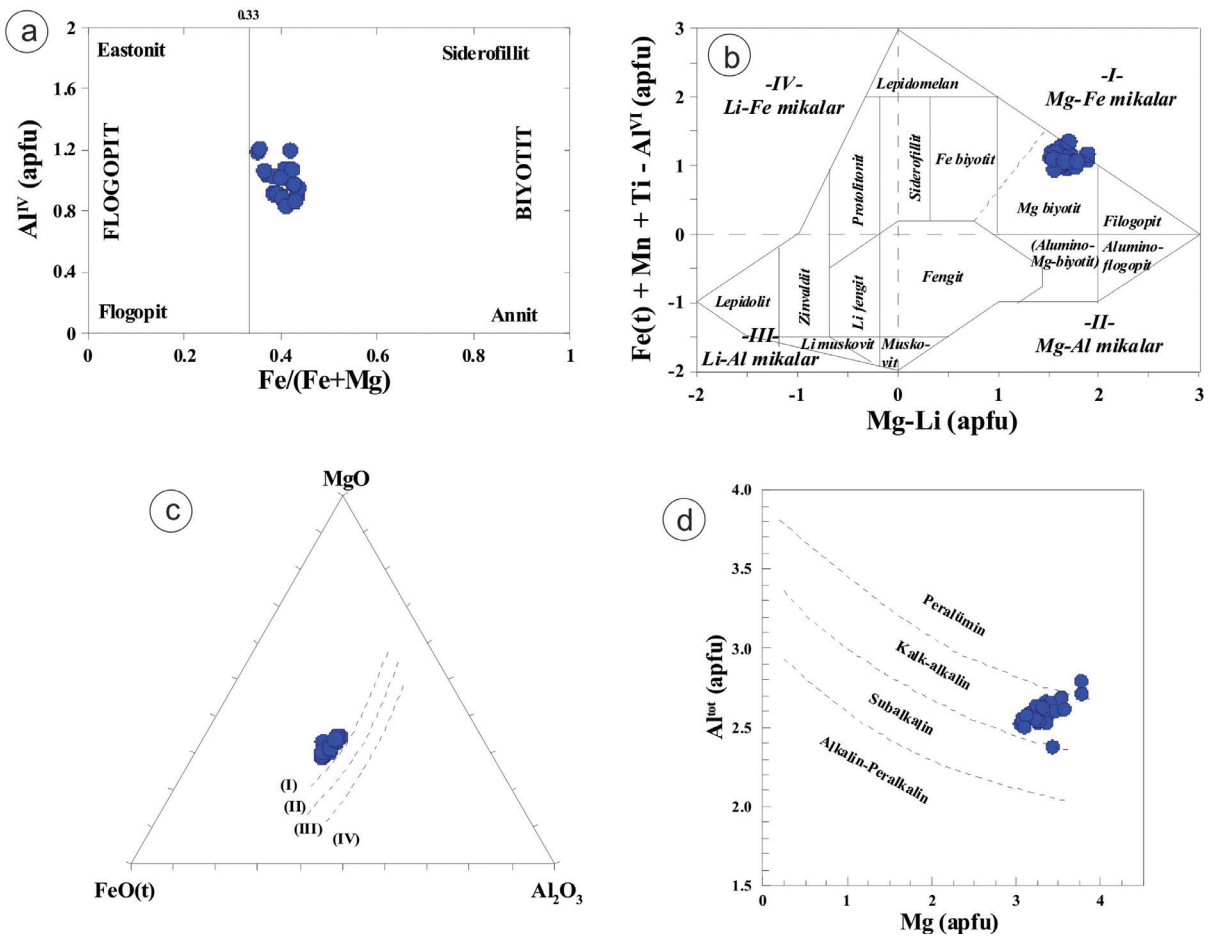
Örnek	FB14 Blg 2 PYX1		FB14 Blg 2 PYX1		FB14 Blg 2 PYX1		FB14 Blg 3 PYX1		FB14 Blg 3 PYX1		FB14 Blg 3 PYX1		FB14 Blg 3 PYX2		FB14 Blg 3 PYX2		FB14 Blg 3 PYX2		
	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
SiO <sub>2</sub>	52,60	52,07	52,39	52,95	52,63	52,94	53,00	52,46	52,43	52,12	52,73	52,54	52,94	52,47	52,54	52,80	52,04	50,89	
TiO <sub>2</sub>	0,29	0,26	0,15	0,16	0,25	0,16	0,21	0,22	0,25	0,15	0,16	0,23	0,17	0,19	0,00	0,22	0,20	0,25	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,36	1,20	0,86	1,06	1,26	0,80	1,11	1,09	1,47	1,09	1,05	1,24	1,11	1,24	30,28	1,13	0,98	1,80	
FeO(t)	10,23	10,05	9,65	9,81	9,83	6,55	9,81	10,09	10,18	10,20	10,01	10,04	10,06	10,24	0,40	9,89	9,30	10,80	
MnO	0,37	0,38	0,61	0,50	0,45	0,24	0,48	0,41	0,39	0,52	0,54	0,39	0,55	0,46	0,00	0,41	0,57	0,37	
MgO	13,73	13,82	14,20	14,44	13,98	11,96	14,58	13,71	13,84	14,46	14,18	13,93	14,43	14,32	0,02	14,17	14,74	14,10	
CaO	20,94	21,01	20,91	21,21	21,07	27,16	21,02	21,32	20,83	21,02	21,06	21,32	21,12	20,93	9,84	21,07	21,41	20,54	
Na <sub>2</sub> O	0,41	0,38	0,31	0,44	0,37	0,27	0,35	0,32	0,42	0,46	0,40	0,39	0,41	0,43	6,36	0,38	0,34	0,51	
K <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	
Toplam	99,94	99,19	99,09	100,58	99,84	100,08	100,59	99,63	99,81	100,03	100,14	100,08	100,80	100,28	99,94	100,07	99,60	99,24	
Formül 6 oksijen üzerinden hesaplanmıştır.																			
Si	1,97	1,97	1,98	1,97	1,97	1,98	1,97	1,97	1,97	1,96	1,97	1,97	1,97	1,96	1,79	1,97	1,96	1,93	
Al	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,21	0,03	0,04	0,07	
Fe <sup>+2</sup>	0,30	0,28	0,27	0,25	0,28	0,18	0,26	0,29	0,29	0,22	0,27	0,27	0,25	0,25	0,01	0,28	0,20	0,22	
Fe <sup>+3</sup>	0,02	0,04	0,03	0,06	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,10	0,05	0,04	0,06	0,07	-0,56	0,03	0,09	0,12	
Mn	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	
Mg	0,77	0,78	0,80	0,80	0,78	0,67	0,81	0,77	0,77	0,81	0,79	0,78	0,80	0,80	0,00	0,79	0,83	0,80	
Toplam	4,01	4,01	4,01	4,02	4,01	4,01	4,01	4,01	4,01	4,03	4,01	4,01	4,02	4,02	3,82	4,01	4,03	4,04	
Mg#	0,71	0,71	0,72	0,73	0,72	0,73	0,71	0,71	0,72	0,72	0,71	0,72	0,71	0,72	0,74	0,70	0,74	0,74	
Wo	42,69	42,82	42,47	42,32	42,82	54,78	42,08	43,37	42,43	41,79	42,35	43,04	42,07	41,90	45,36	42,56	42,66	41,31	
En	38,95	39,21	40,14	40,11	39,55	33,56	40,61	38,81	39,24	40,01	39,68	39,13	39,99	39,90	0,11	39,84	40,87	39,47	
Fs	16,85	16,56	16,24	15,98	16,29	10,67	16,04	16,65	16,79	16,52	16,50	16,40	16,45	16,64	1,51	16,21	15,25	17,37	



**Çizelge 3.** Çalışılan volkanik kayalara ait biyotit minerallerinin mineral kimyası analizleri.  
*Table 3. Mineral chemistry analyses of biotite minerals from the investigated volcanic rocks.*

Örnek	FB14a		FB14a		FB14a		FB14a		FB14a		FB14a		FB14a		FB14a		FB14a		FB14a	
	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1	Bi-1
SiO <sub>2</sub>	34,05	34,82	35,99	35,47	34,99	33,25	34,51	36,59	36,43	33,67	32,66	36,76	35,53	35,04	36,19	36,57	35,85	33,30	33,30	33,30
MgO	14,59	13,61	13,14	13,25	13,16	13,81	13,35	14,68	14,55	16,70	16,32	14,13	13,96	14,54	13,97	13,38	13,17	14,85	14,85	14,85
FeO(t)	17,95	17,94	17,93	18,03	18,21	18,12	17,83	16,36	16,28	16,18	16,12	17,12	16,67	17,73	16,85	16,64	17,69	19,16	19,16	19,16
TiO <sub>2</sub>	5,19	5,39	5,29	5,23	5,37	5,32	5,27	4,69	4,65	4,61	4,50	4,92	5,14	5,26	5,30	5,28	5,25	4,14	4,14	4,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,65	14,12	13,76	13,71	13,85	14,22	13,79	14,15	13,84	15,63	15,83	13,90	14,68	13,73	13,96	13,98	13,45	14,64	14,64	14,64
MnO	0,11	0,12	0,09	0,07	0,11	0,12	0,06	0,08	0,12	0,07	0,06	0,11	0,06	0,09	0,09	0,08	0,12	0,05	0,05	0,05
K <sub>2</sub> O	9,17	9,31	9,45	9,39	9,45	9,25	9,51	9,13	9,17	9,05	9,21	8,80	8,93	8,86	9,01	8,92	8,80	9,44	9,44	9,44
Toplam	95,71	95,31	95,65	95,14	95,14	94,09	94,31	95,67	95,05	95,91	94,71	95,74	94,95	95,25	95,36	94,85	94,32	95,57	95,57	95,57
Formül 22 oksijen üzerinden hesaplanmıştır.																				
Si	2,63	2,71	2,80	2,77	2,74	2,62	2,71	2,81	2,82	2,55	2,53	2,84	2,79	2,77	2,81	2,86	2,83	2,56	2,56	2,56
Mg	1,68	1,58	1,52	1,54	1,53	1,62	1,57	1,68	1,68	1,89	1,89	1,63	1,64	1,72	1,62	1,56	1,55	1,70	1,70	1,70
Fe <sup>+2</sup>	1,16	1,17	1,17	1,18	1,19	1,19	1,17	1,05	1,05	1,03	1,05	1,11	1,10	1,11	1,09	1,09	1,17	1,23	1,23	1,23
Ti	0,30	0,32	0,31	0,31	0,32	0,32	0,31	0,27	0,27	0,26	0,26	0,29	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,24	0,24	0,24
Al <sup>IV</sup>	1,07	0,97	0,89	0,92	0,95	1,07	0,97	0,92	0,91	1,19	1,20	0,87	0,90	0,91	0,88	0,83	0,86	1,20	1,20	1,20
Al <sup>VI</sup>	0,26	0,32	0,37	0,34	0,33	0,25	0,30	0,37	0,35	0,21	0,15	0,39	0,37	0,28	0,39	0,46	0,39	0,13	0,13	0,13
K	0,90	0,92	0,94	0,94	0,94	0,93	0,95	0,90	0,91	0,87	0,91	0,87	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,93	0,93	0,93
Toplam	8,01	8,00	8,01	8,00	8,01	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
X <sub>annit</sub>	0,37	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,38	0,34	0,34	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,35	0,35	0,37	0,40	0,40	0,40
X <sub>flogopit</sub>	0,54	0,51	0,50	0,50	0,50	0,53	0,51	0,54	0,54	0,60	0,61	0,52	0,53	0,55	0,52	0,50	0,50	0,55	0,55	0,55
Mg#	0,59	0,57	0,57	0,57	0,56	0,58	0,57	0,62	0,61	0,65	0,64	0,60	0,60	0,61	0,60	0,59	0,57	0,58	0,58	0,58

Mg# (Mg-numarası) = Mg / (Mg + Fe<sup>+2</sup>).



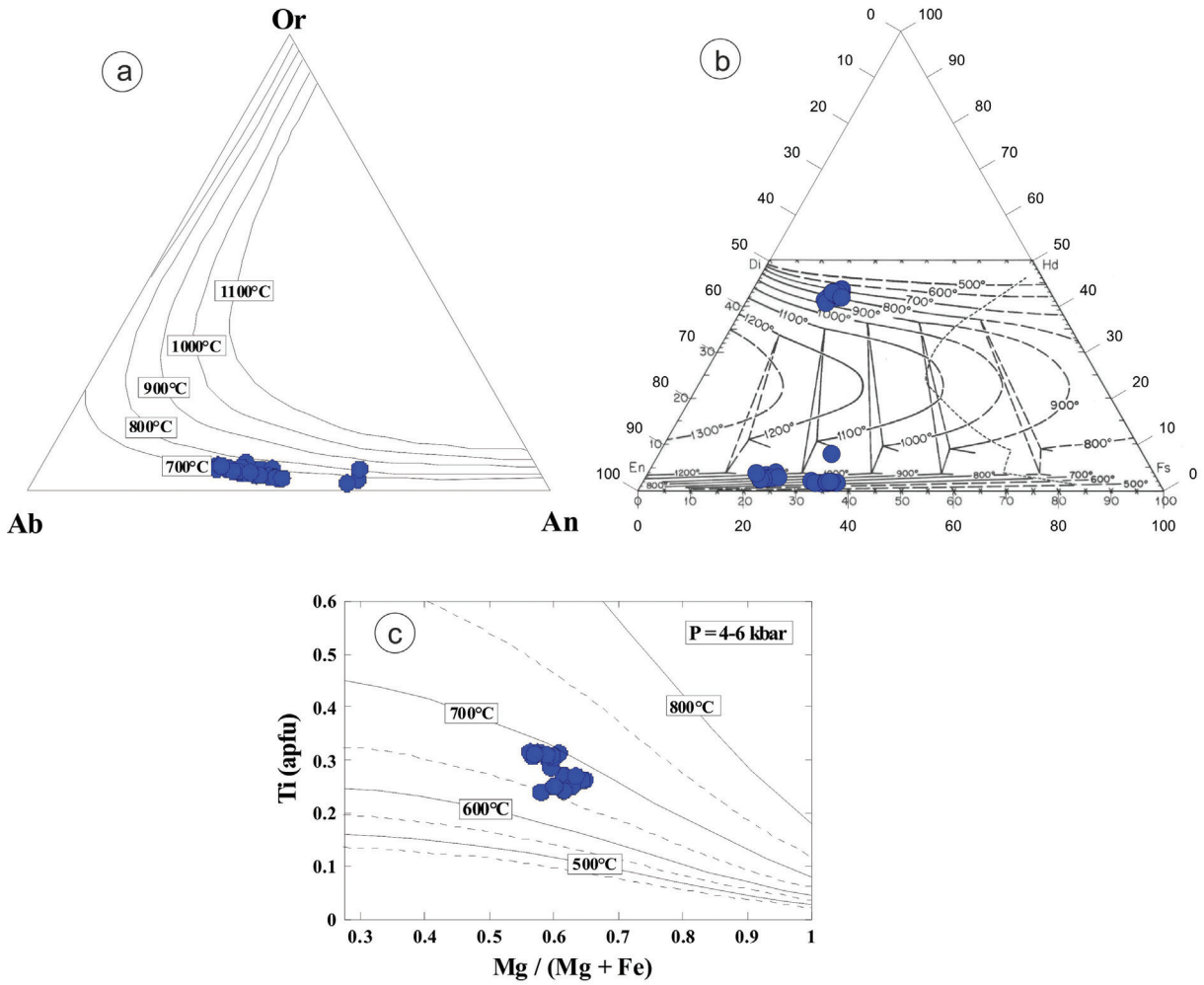
**Şekil 5.** İncelenen volkanik kayaçlara ait biyotitlerin; **a)** Fe/Fe+Mg–Al<sup>IV</sup> (apfu) diyagramı, **b)** Mg–Li (apfu) karşı Fe(t)+Mn+Ti–Al<sup>VI</sup> (apfu) (Tischendorf vd., 1997) diyagramı, **c)** Üçlü Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – FeO (t) –MgO diyagramı (De Albuquerque 1973), (I) biyotit amfibol birlikteliği; (II) diğer ferromagnezyen mineralleri ile ilişkili biyotit; (III) muskovit biyotit beraberliği; (IV) biyotitin alüminosilikat ile beraber bulunması, **d)** Altot–Mg (apfu) (hesaplanan 22 oksijen) diyagramında biyotitlerin bileşimleri (Nachit vd., 1985).

**Figure 5.** Biotites in the investigated volcanic rocks, **a)** Fe/Fe+Mg–Al<sup>IV</sup> (apfu) diagram, **b)** Mg–Li (apfu) versus Fe(t)+Mn+Ti–Al<sup>VI</sup> (apfu) (Tischendorf et al., 1997) diagram, **c)** Ternary Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – FeO(t)–MgO diagram (De Albuquerque 1973), (I) biotite coexistence with amphibole; (II) biotite associated with other ferromagnesian minerals; (III) biotite associated with muscovite; (IV) biotite coexistence with aluminosilicate, **d)** compositions of biotite on Altot–Mg (apfu) (calculated 22 oxygen) diagram (Nachit et al., 1985).

### P-T Kristalizasyon Koşulları

İnceleme alanındaki Oligo-Miyosen yaşlı volkanik kayaçların P-T hesaplamaları, tüm kayaç analizleri ve bazı minerallerin kimyası kullanılarak yapılmıştır.

Plajiyoklaz mineral kimyası sonuçları Deer vd., (1992) tarafından jeotermometre hesaplamaları için önerilen Or–Ab–An üçgen diyagramında değerlendirilmiştir. İncelenen kayaçlardaki plajiyoklazlar labradorit ve andezin bileşiminde olup minerallerinin sıcaklık değerleri 650-750 °C arasındadır (Şekil 6a).



**Şekil 6. a)** Plajiyoklazların Ab-An-Or üçgen diyagramı (izoterm eğrilerine ait değerler Fuhrman ve Lindsley (1988)'e göredir), **b)** Piroksenlerin En-Di-Hd-Fs sıcaklık diyagramı (izoterm eğrileri değerleri Lindsley, 1983; Lindsley ve Andersen, 1983'e göredir), **c)** Biyotit minerallerinin Ti (apfu) ve Mg / (Mg + Fe) diyagramı (kesikli eğriler 50 °C aralıklı izotermeleri temsil etmektedir) (Henry vd., 2005).

**Figure 6. a)** Ab-An-Or triangle diagram of plagioclases (values of isotherm curves are according to Fuhrman and Lindsley (1988)), **b)** En-Di-Hd-Fs temperature diagram of pyroxenes (values of isotherm curves are according to Lindsley, 1983; Lindsley and Andersen, 1983), **c)** Ti (apfu) and Mg / (Mg + Fe) diagram of biotite (dashed curves represent isotherms spaced at 50 °C) (Henry et al., 2005).

Klinopiroksen mineral kimyası değerleri Diyopsit-Hedenberjit-Enstatit-Ferrosilit (Di-Hd-En-Fs) piroksen dörtyüzlüsü diyagramına (Lindsley, 1983; Lindsley ve Andersen, 1983) düşürüldüğünde, ojit minerallerine ait değerler 580-960 °C arasında, enstatit minerallerine ait

değerler ise 620-1170 °C arasında bir sıcaklığa işaret etmektedir. (Şekil 6b).

Biyotit mineral kimyasına dayalı çizilen Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) - Ti diyagramına (Şekil 6d), göre sıcaklıklar 650-700 °C (4 ila 6 kbar) arasındadır. Ayrıca Ti ve Fe<sup>2+</sup> değişimine dayalı olarak (Luhr

vd., 1984) biyotit minerallerinden hesaplanan sıcaklıklar 798–843 °C (ortalama=815±12 °C) arasındadır (Çizelge 4). Biyotitin Al içerikleri ile kristalleşme sırasındaki basıncı veya derinliği yaklaşık olarak tahmin edilebilir (Uchida vd., 2007). İncelenen biyotit minerallerinden hesaplanan basınçlar 0,67–1,93 kbar (ortalama = 1,28±0,30 kbar) arasındadır (Çizelge 4). Luhr vd., (1984)’den biyotit sıcaklıkları, Uchida vd., (2007)’den ise biyotit basınçları kullanılarak  $f_{O_2}$  fugasitesi hesaplanmıştır. Biyotit minerali için hesaplanan oksijen fugasitesi ( $\log f_{O_2}$ ) -13,68 ile -12,65 (ortalama = -13,27±0,29) arasında değişmektedir (Çizelge 4).

Biyotitler için sıcaklık 798–843 °C, basınç 0,67–1,93 kbar ve oksijen fugasitesi -13,68 ile -12,65 değerleri arasındadır. Biyotit mineral termometresi değerleri dikkate alındığında (1 kbar = 3,7 km derinlik kıtasal kabukta, Tulloch and Challis 2000), biyotit mineralinin kristalleşmesinin 4,5–6,5 km derinlikte gerçekleştiğini göstermektedir.

## Jeokimya

İncelenen volkanik kayaçlara ait 11 adet örneğinin ana oksit, iz ve nadir toprak element analizleri Çizelge 5’te verilmiştir. Örneklerde  $SiO_2$  %56,59-63,92,  $Al_2O_3$  %14,18–17,93,  $K_2O$  %2,76–3,23,  $Na_2O$  %1,99– 3,49,  $Fe_2O_3$  %4,82–7,26 ve  $MgO$  içerikleri %2,14–4,83 arasında, değişmektedir.

Toplam alkali-silis diyagramında (Le Maitre vd., 2002), volkanik kayaçlara ait örneklerin çoğu andezit, bir örnek bazaltik andezit, iki örnek ise dasit bileşimli olduğu ayrıca örneklerin tümünün subalkalen karakterli oldukları gözlenmiştir (Şekil 7a). İki örneğin dasit alanında olması çalışma alanında gözlenen silisleşme ile ilişkili olabilir. Bunun için örnekler hareketsiz iz elementlere dayalı Nb/Y-Zr/TiO<sub>2</sub>\*0,0001 (Pearce, 1996) adlandırma diyagramında değerlendirilmiş, yoğun olarak traki-andezit ve andezit/bazalt alanında oldukları görülmüştür (Şekil 7b). Jeokimyasal olarak çalışılan volkanik kayaçlar andezit, traki andezit ve andezitik bazalt bileşimindedir. AFM üçgen diyagramında, kayaçlar kalk-alkalen karakter göstermektedirler (Şekil 7c). İncelenen örneklerin tümü yüksek-K kalk-alkalen bileşimi sergilemektedir (Şekil 7d).

**Çizelge 4.** Çalışılan volkanik kayaçların içerdiği biyotitler kullanılarak Luhr vd. (1984), Uchida vd. (2007) ve Wones (1989)’a göre hesaplanan basınç (P, kbar), sıcaklık (T, °C) ve oksijen fugasitesi değerleri.

**Table 4.** Pressure (P, Kbar) temperature (T, °C) and oxygen fugacity values calculated using biotite from the investigated volcanics rocks, according to Luhr et al. (1984), Uchida et al. (2007) and Wones (1989).

	Luhr vd. (1984) Sıcaklık (T, °C)	Uchida vd. (2007) Basınç (P, kbar)	Wones (1989) ( $f_{O_2}$ ) hesaplamalardaki T (Luhr vd., 1984)’e, (Uchida vd., 2007)’e göre dir.
Hallaçlar Volkaniti (n=22)			
Ort.	815 ± 12	1,28 ± 0,30	-13,27 ± 0,29
Maks.	843	1,93	-12,65
Min.	798	0,67	-13,68

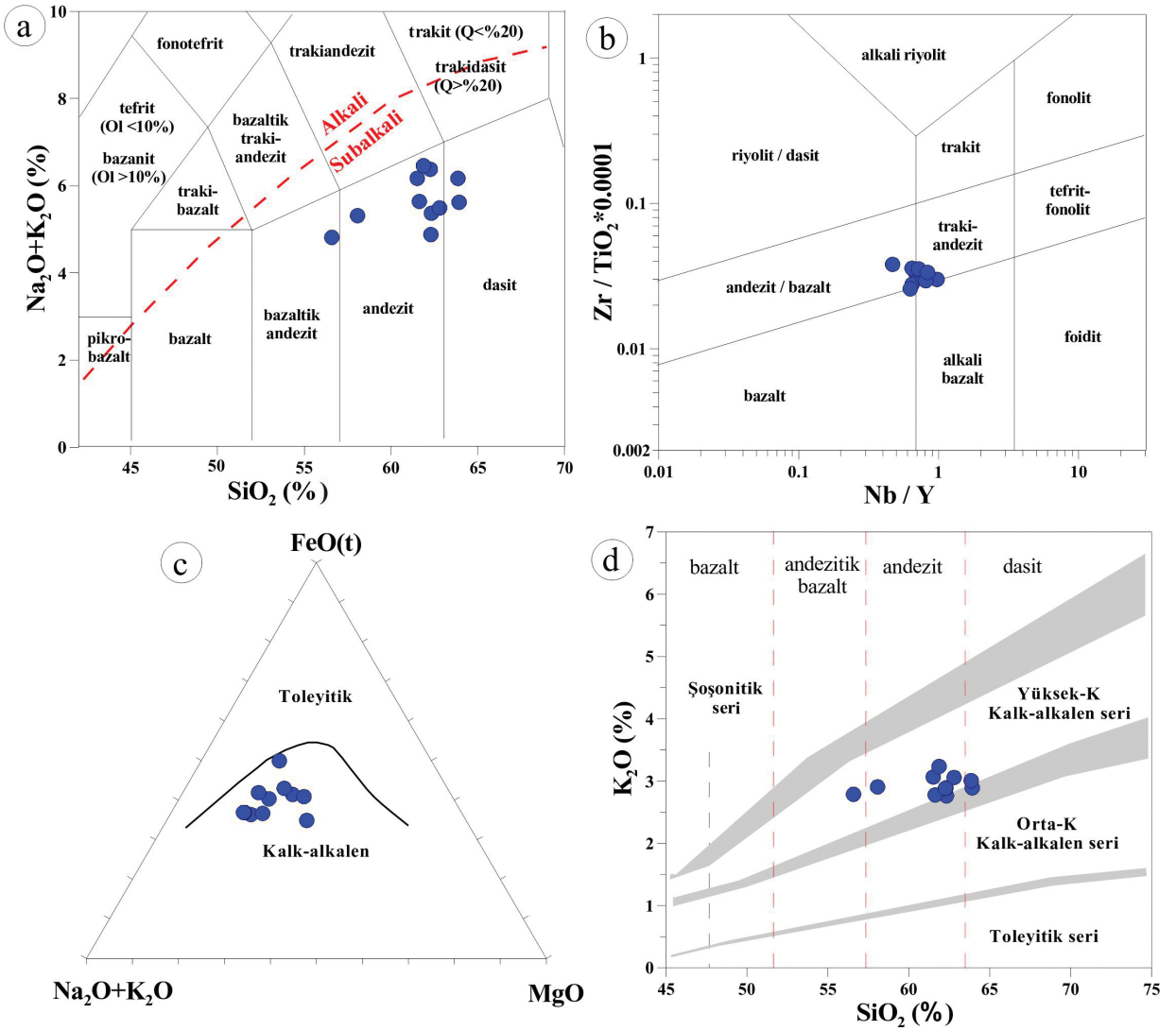
**Çizelge 5.** Çalışılan volkanik kayaların ana oksit (% ağırlık), iz element (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analiz değerleri.

**Table 5.** Major oxide (wt%), trace element (ppm) and rare earth element (ppm) analysis values of investigated volcanic rocks.

Örnek Adı	FB-1	FB-8	FB-9	FB-10	FB-10B	FB-13	FB-14	FB-16	FB-17	FB-18	FB-24
SiO <sub>2</sub>	62,33	58,07	61,87	62,30	61,51	63,92	56,59	61,63	62,80	62,26	63,85
TiO <sub>2</sub>	0,54	0,51	0,56	0,55	0,53	0,53	0,49	0,54	0,48	0,51	0,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,70	16,87	15,56	15,00	15,65	15,06	17,93	15,14	14,18	15,67	15,93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,39	6,73	5,02	5,87	4,87	5,65	7,26	6,82	5,52	5,39	4,82
MnO	0,12	0,09	0,13	0,10	0,11	0,14	0,06	0,12	0,11	0,12	0,10
MgO	2,61	4,43	2,14	3,42	2,36	2,23	2,47	3,42	4,83	2,94	2,09
CaO	5,82	5,92	5,32	5,35	5,46	5,88	4,90	6,11	4,87	5,66	4,96
Na <sub>2</sub> O	2,61	2,41	3,22	1,99	3,10	2,73	2,03	2,86	2,43	3,49	3,16
K <sub>2</sub> O	2,76	2,91	3,23	2,89	3,06	2,89	2,79	2,78	3,06	2,88	3,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,16	0,24	0,24	0,23	0,21	0,19	0,20	0,18	0,20	0,17
LOI	2,51	1,23	2,48	2,13	2,87	0,53	4,82	0,24	1,38	0,76	1,37
TOPLAM	99,61	99,32	99,77	99,83	99,75	99,77	99,53	99,87	99,84	99,88	99,90
Zr	183,40	150,6	186,60	188,30	189,20	146,60	147,80	163,30	170,50	131,20	166,60
Y	19,60	16,20	19,20	19,70	18,90	21,80	16,10	19,60	19,20	20,10	20,50
Sr	604,7	522,5	573,7	598,7	593,5	659,5	516,0	648,9	532,2	613,7	441,3
Rb	101,80	97,70	110,50	94,40	107,40	94,30	94,80	91,90	94,60	92,70	111,20
Th	19,50	19,40	25,70	25,80	24,20	25,90	22,10	25,90	28,30	23,90	21,70
Ta	3,30	2,70	3,20	2,60	3,10	3,60	3,40	3,40	4,80	4,50	3,70
Ba	1293,0	1092,0	1429,0	1353,0	1465,0	1747,0	1254,0	1483,0	1296,0	1393,0	1142,0
Nb	13,60	13,10	16,00	13,30	12,20	14,10	15,70	15,20	13,80	12,60	9,60
Hf	2,50	2,50	4,10	4,80	2,50	3,10	4,00	3,00	4,50	2,20	2,20
La	25,6	29,9	33,3	34,9	31,2	36,5	40,9	29,7	29,4	39,9	32,1
Ce	63,7	65,2	71,3	81,3	72,8	68,4	75	61,9	63,8	68,7	69,4
Pr	2,90	2,23	2,10	2,71	2,55	2,19	2,61	2,41	2,73	2,97	2,65
Nd	17,30	17,05	16,32	16,38	17,36	16,22	16,00	17,30	17,11	16,83	16,93
Sm	3,80	3,13	2,98	3,90	3,73	3,20	3,10	3,60	3,10	3,90	2,87
Eu	1,20	1,49	1,35	1,35	1,73	1,77	1,43	1,94	1,98	1,38	1,44
Gd	3,63	3,14	3,10	3,87	3,91	3,29	3,51	3,96	3,11	4,12	3,18
Tb	0,45	0,42	0,34	0,32	0,38	0,38	0,41	0,37	0,43	0,36	0,44
Dy	1,82	1,91	1,80	1,93	1,63	1,85	1,93	1,63	1,82	1,88	18,30
Ho	0,52	0,59	0,49	0,55	0,49	0,52	0,51	0,56	0,58	0,51	0,55
Er	1,51	1,49	1,37	1,37	1,44	1,48	1,54	1,48	1,58	1,46	1,38
Tm	0,18	0,14	0,12	0,17	0,16	0,19	0,16	0,15	0,13	0,11	0,18
Yb	1,83	1,74	1,66	1,84	1,63	1,98	1,73	1,76	1,89	1,87	1,79
Lu	0,29	0,37	0,30	0,30	0,33	0,31	0,28	0,34	0,38	0,34	0,28
(La/Lu) <sub>N</sub>	9,46	8,66	11,90	12,47	10,13	12,62	15,65	9,36	8,29	12,58	12,29
(La/Sm) <sub>N</sub>	4,35	6,17	7,21	5,78	5,40	7,36	8,52	5,33	6,12	6,60	7,22
Eu*	21,27	17,89	17,30	22,18	21,73	18,48	18,69	21,42	17,72	22,79	17,14
Eu <sub>N</sub> /Eu*	0,88	1,13	1,10	0,99	0,97	1,00	1,20	0,92	1,04	0,88	1,10
Mg #	32,64	36,83	32,62	28,26	25,39	33,39	46,66	35,32	30,21	39,68	29,90

LOI (loss on ignition)= kızdırma kaybı. Mg# = 100xMgO/(MgO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Eu\*=(Sm+Gd)<sub>N</sub> /2 \* Kondirit normalize değerleri, Sun ve McDonough (1989)'dan alınmıştır.

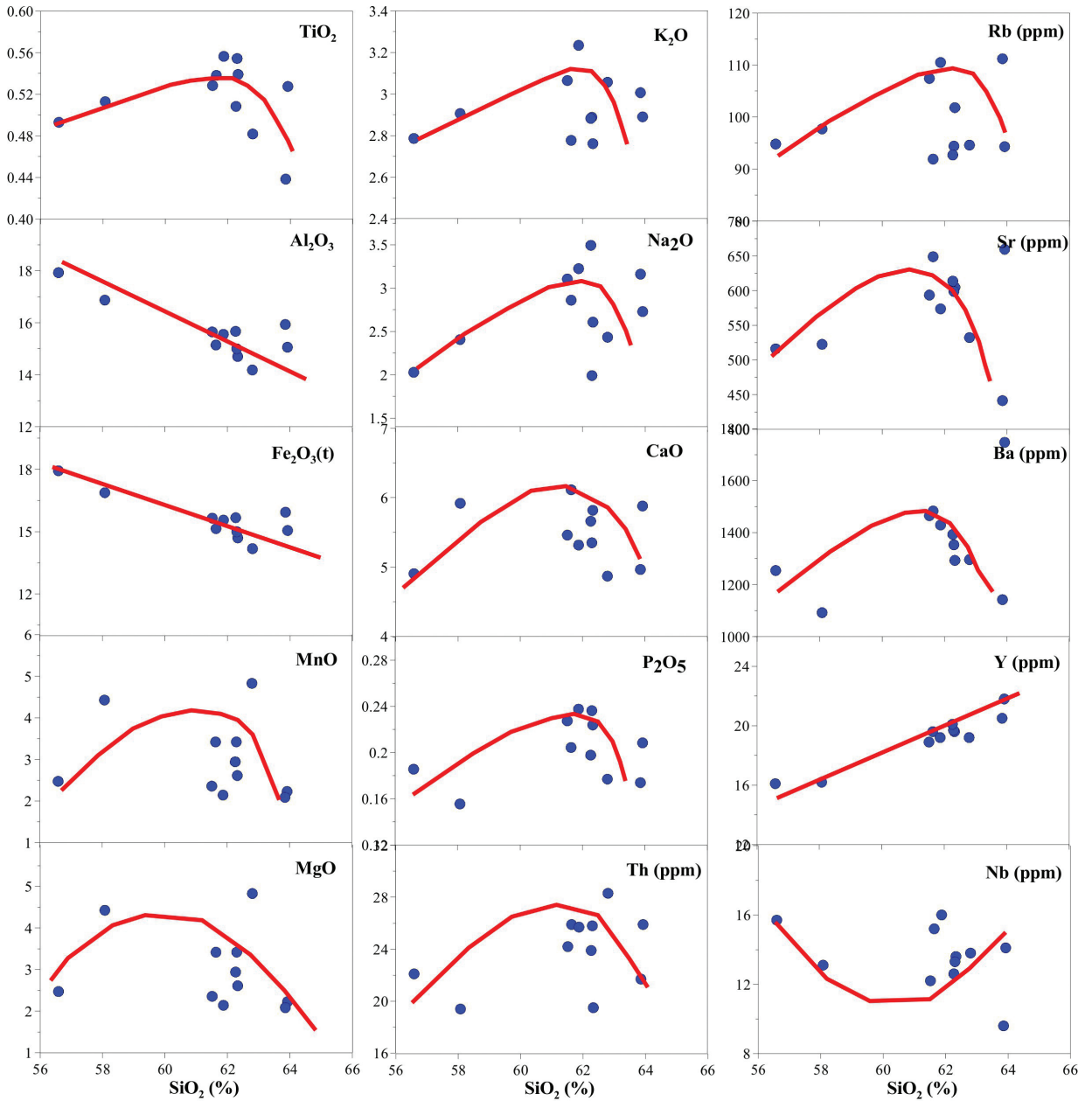


**Şekil 7. a)** SiO<sub>2</sub> – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O diyagramı (Le Maitre vd., 2002) (alkali-subalkali çizgisi Irvine ve Baragar 1971’den alınmıştır), **b)** Nb/Y–Zr/TiO<sub>2</sub>\*0,0001 diyagramı (Pearce 1996), **c)** AFM üçgen diyagramı (toleyitik-kalkalkali eğrisi Irvine ve Baragar 1971’den alınmıştır), **d)** SiO<sub>2</sub> –K<sub>2</sub>O diyagramı (Le Maitre vd., 2002).

**Figure 7. a)** SiO<sub>2</sub> – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O diagram (Le Maitre et al., 2002) (alkali-subalkaline line taken from Irvine and Baragar 1971), **b)** Nb/Y–Zr/TiO<sub>2</sub>\*0.0001 diagram (Pearce 1996), **c)** AFM triangular diagram (toleyitic-calkalkaline curve taken from Irvine and Baragar 1971), **d)** SiO<sub>2</sub>–K<sub>2</sub>O diagram (Le Maitre et al., 2002).

Çalışılan örneklerin Harker diyagramlarında, mineral fazlarının fraksiyonel kristallenmesi ile ilişkili pozitif, negatif veya düzensiz dağılımlar mevcuttur. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (t), değerleri SiO<sub>2</sub> değerlerine ile negatif, Y ile pozitif doğrusal korelasyon gözlenmektedir. Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, CaO, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, Sr, Ba ve Rb değerlerinde ise doğrusal sonra da eğrisel bir yönlenme

mevcuttur. Bu korelasyonlar volkanik kayaçların evrimi sırasında plajiyoklaz, piroksen, hornblend, biyotit ve Fe-Ti oksit mineral fazlarının fraksiyonlaşmasını yansıtır. Nb ve Th’de ise düzensiz dağılım gözlenmekte olup muhtemelen asimilasyon ve/veya magma karışımı veya alterasyondan kaynaklanabilir (Şekil 8).

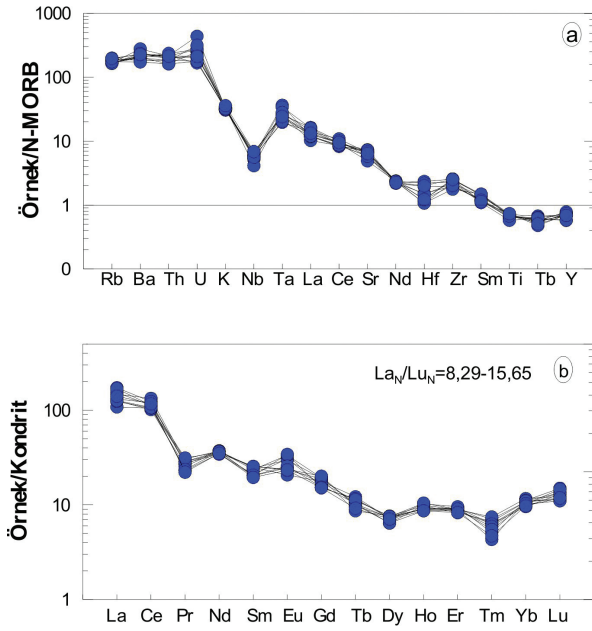


**Şekil 8.** İncelenen volkanik kayaların  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı ana oksit ve iz element değişim diyagramları.

**Figure 8.** Main oxide and trace element variation diagrams of investigated volcanic rocks versus  $\text{SiO}_2$ .

N- tipi Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı (N-OOSB)'na (Sun ve McDonough, 1989) göre normalize edilen örneklere ait iz elementlerde, büyük iyon yarıçaplı litofil elementler (BİYE), Rb, U ve Th içeriği bakımından zenginleşme, yüksek çekim alanlı element (YÇAE), Nb ve Tb

ise fakirleşme görülmektedir (Şekil 9a). Negatif Nb anomalisi ile birlikte Rb, Ba, U, K ve Th'deki zenginleşmeler, yitim ve /veya kabuk katkısının izini göstermektedir (Pearce, 1983; Pearce ve Peate, 1995).



**Şekil 9. a)** N-tipi Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı (N-OOSB)'na göre (Sun ve McDonough 1989) normalize edilmiş iz element dağılım diyagramı, **b)** Kondrit'e (Sun ve McDonough 1989) göre normalize edilmiş nadir toprak element diyagramı.

**Figure 9. a)** Trace element distribution diagram normalized to N-type Mid-Ocean Ridge Basalt (MORB) (Sun and McDonough 1989), **b)** rare earth element diagram normalized to chondrite (Sun and McDonough 1989).

İncelenen örneklerin kondrit'e (Sun ve McDonough, 1989) göre normalleştirilmiş nadir toprak element dağılımlarında (Şekil 9b), Hafif Nadir Toprak Elementlerin (HNTE) Ağır Nadir Toprak Elementlerden (ANTE) daha fazla zenginleştiği görülmektedir ( $La_N/Lu_N=8,29-15,65$ ;  $Gd_N/Yb_N=1,01-1,60$ ,  $La_N/Sm_N=4,35-8,52$  ve  $La_N/Yb_N=10,03-16,96$ ). HNTE'lerin ANTE'lere göre zenginleşmesiyle oluşan konkav şeklindeki dağılım, klinopiroksen ve/veya hornblend fraksiyonlaşmasına (Thompson vd., 1984; Thirlwall vd., 1994), işaret etmektedir. Örneklerdeki  $(La/Lu)_N$  değerleri 8,66–15,65 arasında olup kalk-alkalen volkanizmanın özelliklerini sunmaktadır. Ayrıca diyagramda Eu değerlerinin belirgin negatif anomali göstermemesi

( $Eu_N/Eu^*=0,97-1,93$ ), kayaçlarda plajiyoklaz ayrımlaşmasının etkili olmadığını veya yüksek oksijen fugasitesine işaret etmektedir.

## TARTIŞMALAR

### Kaynak Karakteristikleri

Çalışılan Volkanik Kayaçları'nın büyük iyon yarıçaplı litofil elementler bakımından zengin olması (örneğin, Ba, Rb ve Th) (Şekil 9a) ve yüksek Ba/La ve Th/Yb oranları içermesi, ana magmanın yitim izi taşıyan litosferik manto kaynaklı olabileceğini göstermektedir (Elburg vd., 2002; Zellmer vd., 2005; Baier vd., 2008; Aslan vd., 2017; Saatçı ve Aslan, 2018; Aslan vd., 2020). Özellikle Th ve K içeriklerinin zenginleşmesi kabuktan oluşan kirlenmeyi göstermektedir (Thompson vd., 1984; Pearce ve Peate, 1995; Elburg vd., 2002). İncelenen volkanik kayaçların HNTE'lerce zenginleşmesi, yitim sonucu dalan levhanın kaynağa olan katkısı ile veya kabuksal bileşenlerin etkisiyle de gerçekleşebilir. Negatif Nb ve Ti anomalileri yitime bağlı metasomatik bir mantodan kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, bu anomaliler, kabuksal kirlenmenin ürünü de olabilir. Ayrıca örnekler düşük Zr/Y (6,5-10,1) ve Zr/Nb (9,4-15,5) oranlarına sahip olup litosferik manto kaynağının düşük derecede bölümsel ergimesine işaret etmektedir. De Paulo ve Daley (2000)'e göre, litosferik mantodan oluşan kayaçların La/Nb oranı genelde 1'den büyük, astenosferik mantodan oluşan kayaçların La/Nb oranı ise 0,7 seviyesindedir. İncelenen volkanik kayaçlarda La/Nb oranı 1.88–3.34 arasında olup, litosferik mantodan türedikleri görülmektedir. Bununla birlikte, örneklerin Zr / Sm oranları 34 ile 60 arasında olup, zenginleşmiş litosferik manto kökenli olduğu görülmektedir (Wilson, 1989). Bu nedenle, incelenen volkanik kayaçlar, metasomatize ve zenginleştirilmiş litosferik mantodan türemiş olabilir. Bu kayaçlardaki önemli BİYE ve DNTE zenginleşmeleri de, aynı şekilde zenginleştirilmiş bir manto kaynağını



desteklemektedir (Condie vd., 2002; Zhu vd., 2007).

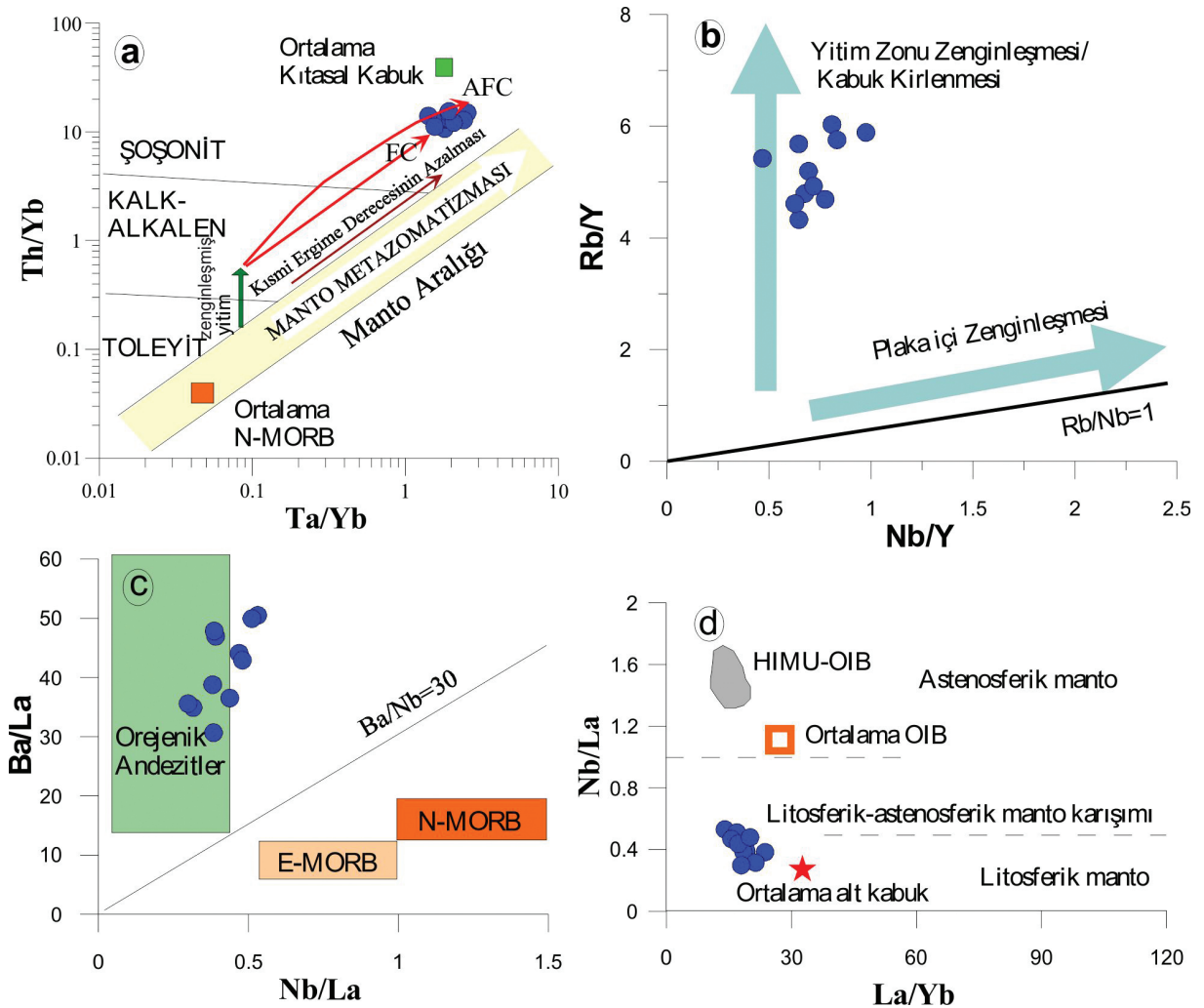
Mantokaynaklarını belirlemek ve yitim ve/veya kabuk kontaminasyonu sonucu farklı bileşenlerin magmaya eklendiğini belirlemek için kullanılan Ta/Yb – Th /Yb diyagramında (Şekil 10a) incelenen örneklerin, muhtemelen fraksiyonel kristalleşme (FC) ile az oranda da asimilasyon (AFC) süreçleri ile gelişen magmalardan türetildiğini ve yitimdeki malzemelerle zenginleştirildiğini göstermektedir. Ayrıca, volkanik kayaların, manto dizisine paralel olan ve sonunda daha yüksek Th / Yb oranlarına doğru bir eğilimi görülmektedir. Bu davranış, ana magmanın daha önceki yitimle zenginleştirilmiş bir kaynaktan türetildiğini göstermektedir (Wilson, 1989). Rb/Y-Nb/Y diyagramında ise örnekler yitim zenginleşmesi/kabuksal kirlenmeye işaret etmektedir (Şekil 10b) (Edwards vd., 1991). İncelenen volkanitler Ba/La-Nb/La diyagramında (Şekil 10c) Ba/La içeriği bakımından zengin olup düşey dağılım göstermektedir ve genellikle orojenik andezitler alanında yer almaktadır. Bradshaw ve Smith'e (1994) göre, litosferik mantoda DNTE'lere göre göreceli olarak YÇAE'lerin (Nb ve Ta) azalması ve yüksek Nb/La oranları ( $\sim > 1$ ), bazaltik magmalar için Okyanus Adası Bazaltı (OAB) benzeri bir astenosferik manto kaynağına işaret ederken daha düşük oranlar ( $\sim < 0,5$ ) bir litosferik manto kaynağını göstermektedir. İncelenen örneklerin ortalama Nb/La ve La/Yb oranları sırasıyla 0,42 ve 18,46 olup bu da Nb/La – La/Yb diyagramına göre (Şekil 10d) bir litosferik manto kaynağı olduğunu düşündürmektedir.

### Fraksiyonel Kristallenme ve Asimilasyon

İncelenen andezitik kayalara ait bazı ana oksit ve iz element dağılımlarındaki pozitif veya negatif yönsemeler (Şekil 8), volkanitlerin gelişiminde fraksiyonel kristallenme (FC) veya asimilasyon fraksiyonel kristallenmenin (AFC) önemini ortaya koymaktadır. Artan  $\text{SiO}_2$ 'ye göre  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO değerlerinde negatif yönsemeler plajiyoklazın ayrışması ile ilişkilidir. Yine,

artan  $\text{SiO}_2$  ile düşen  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  ve Sr ile Eu, sırasıyla apatit, Fe-Ti oksit ve plajiyoklazın fraksiyonlaşmasına bağlanabilir. CaO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve MgO'nun azalması, sırasıyla hornblend, biyotit ve piroksen minerallerinin ayrışmasını göstermektedir. Rb'un değişimi hornblend, Sr'un değişimi de plajiyoklazın ayrışması ile ilişkilidir (Gill, 1981; Thirlwall vd., 1994).  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  klinopiroksen, biyotit ve/veya sanidinin ayrışmasını içeren bir magmatik sistemde,  $\text{SiO}_2$  ile doğrusal olmayan pozitif korelasyonlar göstermektedir. Kondrit ile normalize edilmiş NTE dağılımlarındaki zayıf negatif Eu anomalileri, plajiyoklaz ve/veya K-feldispatın ayrışmasının magmanın evriminde etkili olmadığını göstermektedir (Şekil 9b). Buna göre volkanik kayaların gelişiminde hornblend ve klinopiroksen ayrışmasının etkin olduğu söylenebilir.

MgO-Sr diyagramında (Şekil 11a) MgO içeriği yüksek örneklerden düşük örneklere doğru eğri, daha sonra ise doğrusal bir yönseme göstermektedir. Bu da önce klinopiroksen ve plajiyoklazın ayrışması ile izah edilebilir. Bununla birlikte  $\text{SiO}_2$ -Dy/Yb diyagramı hornblend mineralinin, Sr-Ba diyagramı da klinopiroksen mineralinin fraksiyonlaşmasını göstermektedir (Şekil 11b ve c). Kalk-alkalen kayalarda kullanılan CaO-Y diyagramında, standart kalk-alkalen yönsemesine göre Y içeriğinin azalması ve artması dikkate alınarak, L ve J tipi yönsemeler tanımlanmıştır (Lambert ve Holland, 1974). İncelenen volkanitler standart kalk-alkalen yönsemesine göre Y'ce kısmen tüketilmiş olup J tipine yakın bir yönseme sunmaktadır (Şekil 11d). Bu yönseme çalışılan volkanitlerin gelişiminde klinopiroksen ile hornblend denetimli bir fraksiyonel kristallenme olduğunu göstermektedir. Fraksiyonel kristallenmedeki mineral fazlarını belirlemek için kullanılan Zr-TiO<sub>2</sub> diyagramında apatit ve hornblend, Zr-Y ikili diyagramında da biyotit ve amfibol ayrışması belirgindir (Şekil 11e ve f). Sonuç olarak klinopiroksen ve hornblend kontrollü bir fraksiyonel kristalleşmenin etkili olduğu ileri sürülebilir.

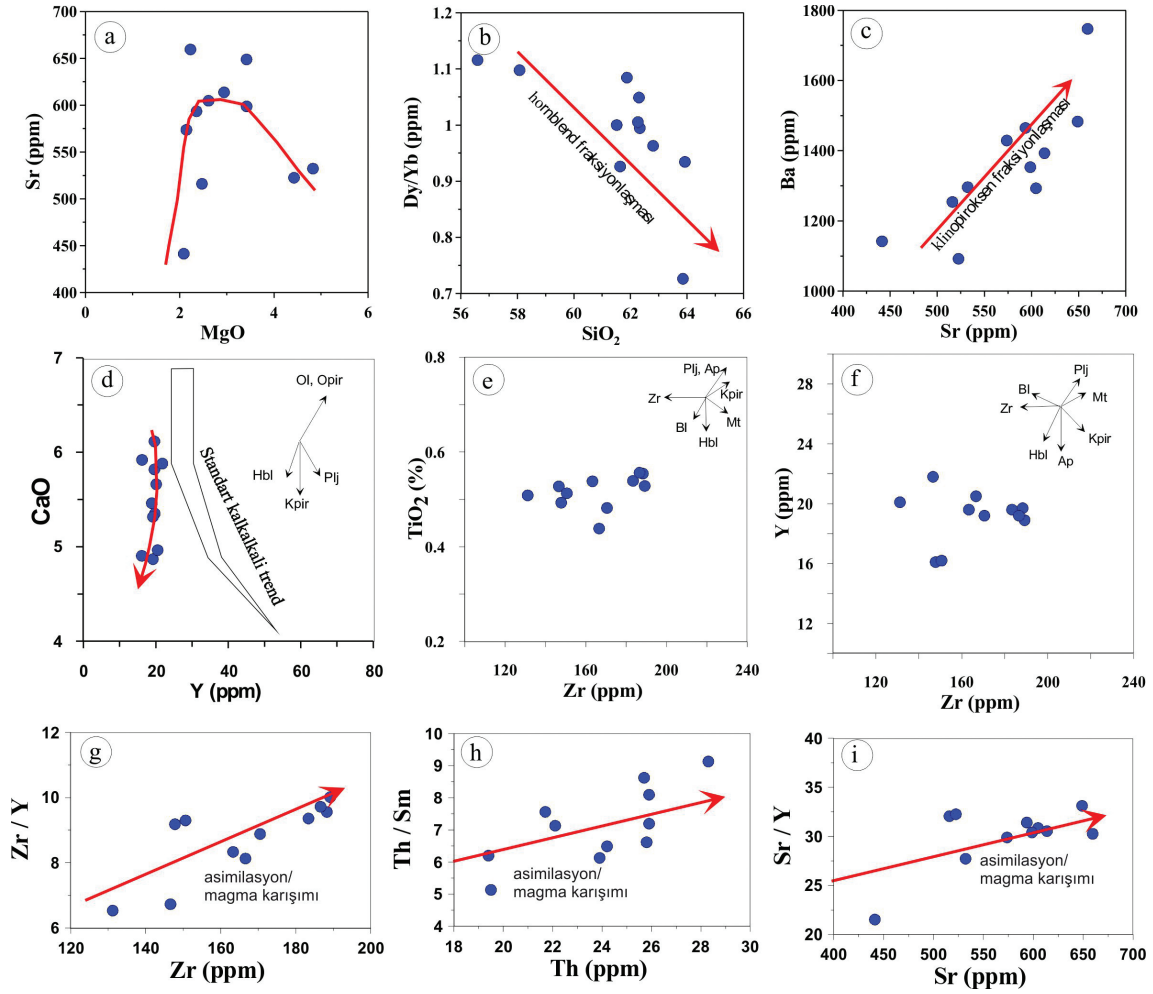


**Şekil 10.** İncelenen volkanik kayaçların; **a)** Th/Yb (ppm) karşı Ta/Yb (ppm) (Pearce vd., 1990), **b)** Nb/Y karşı Rb/Y, **c)** Ba/La karşı Nb/La, **d)** La/Yb karşı Nb/La diyagramları. FC: Fraksiyonel Kristallenme; AFC: Asimilasyon Fraksiyonel Kristallenme; MORB: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı; OIB: Okyanus Adası Bazaltı.

**Figure 10.** *a) Th/Yb versus Ta/Yb (Pearce et al., 1990), b) Nb/Y versus Rb/Y, c) Ba/La versus Nb/La, d) La/Yb versus Nb/La diagrams for the investigated volcanic rocks. FC: Fractional Crystallization; AFC: Assimilation Fractional Crystallization; MORB: Mid-Ocean Ridge Basalt; OIB: Ocean Island Basalt.*

Çalışılan volkanik kayaçlarda bulunan ve zonlanma ile albit ikizi gösteren bazı iri plajiyoklaz minerallerinin daha küçük plajiyoklaz inklüzyonları içerdiği izlenmiştir (Şekil 3c). Aynı şekilde bazı plajiyoklazlarda ise elek dokusu gözlenmiştir (Şekil 3c). Bu petrografik özellikler magma karışımına işaret etmektedir. Kabuk materyallerinin asimilasyonu, mantodan türetilmiş magmaların bileşimlerini değiştirmede

önemli olabilir (Mcdermott vd., 2005; Zellmer vd., 2005). Th/Yb ve Ta/Yb oranları, kabuk kontaminasyonunun kaynak bileşenleri ve kapsamını belirlemek için kullanılabilir, çünkü Th, kabuk kirlenmesi sırasında Ta ve Yb'den daha fazla etkilenir (Pearce vd., 1990). Th/Yb'ye karşı Ta/Yb diyagramında (Şekil 10b), volkanik kayaçların muhtemelen tek başına fraksiyonel kristalleşme (FC) yerine az oranda asimilasyon



**Şekil 11.** İncelenen volkanik kayaların; **a)** MgO –Sr (ppm), **b)** SiO<sub>2</sub>–Dy/Yb (ppm), **c)** Sr–Ba (ppm), **d)** Y (ppm)–CaO, **e)** Zr (ppm)–TiO<sub>2</sub>, **f)** Zr (ppm)–Y(ppm), **g)** Zr (ppm)–Zr/Y (ppm), **h)** Th (ppm)–Th/Sm (ppm) ve **i)** Sr (ppm)–Sr/Y (ppm) ikili diyagramları. Ap:Apatit, Bi: Biotit, Hbl: Hornblend, Kpir: Klinopyroksen, Mt: Magnetit, Ol: Olivin, Plj: Plajiyoklaz, Zr: Zirkon.

**Figure 11.** **a)** MgO –Sr (ppm), **b)** SiO<sub>2</sub>–Dy/Yb (ppm), **c)** Sr–Ba (ppm), **d)** Y (ppm)–CaO, **e)** Zr (ppm)–TiO<sub>2</sub>, **f)** Zr (ppm)–Y(ppm), **g)** Zr (ppm)–Zr/Y (ppm), **h)** Th (ppm)–Th/Sm (ppm) and **i)** Sr (ppm)–Sr/Y (ppm) binary diagrams for the investigated volcanic rocks. Ap: Apatite, Bi: Biotite, Hbl: Hornblende, Kpir: Clinopyroxene, Mt: Magnetite, Ol: Olivine, Plj: Plagioclase, Zr: Zircon.

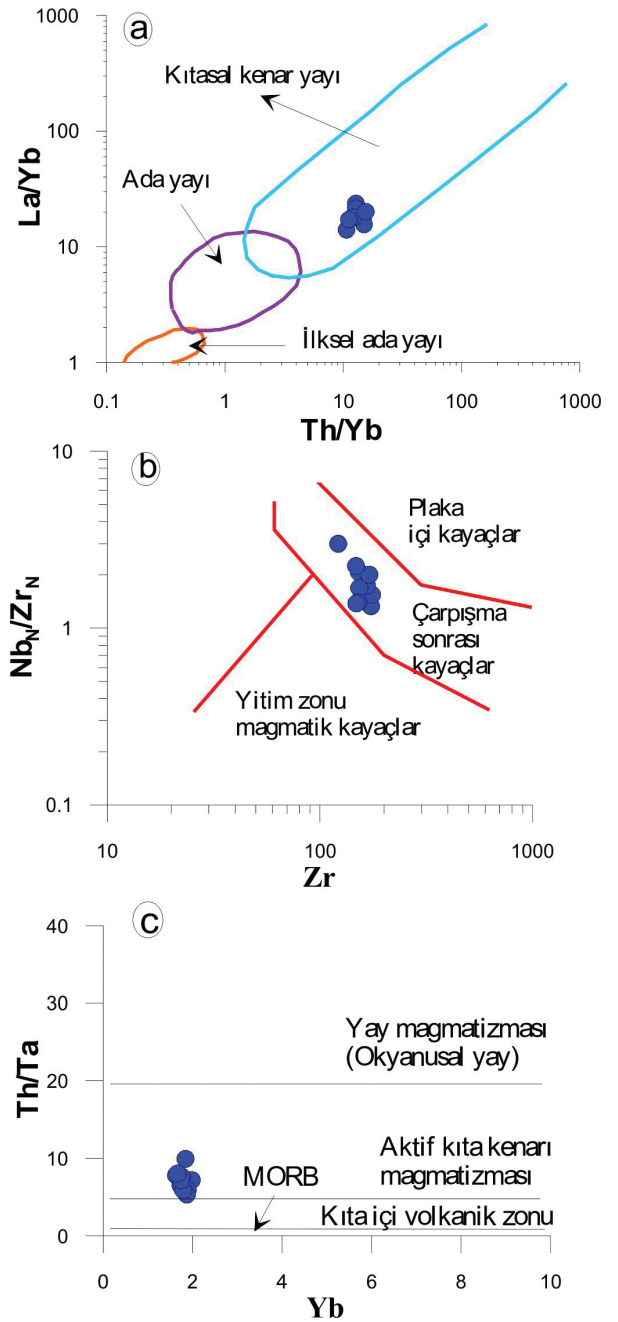
(AFC) içeren süreçler tarafından geliştiğini göstermektedir. Ayrıca, Zr–Zr/Y diyagramı, asimilasyonun etkisini (Şekil 11g), Th–Th/Sm ve Sr–Sr/Y diyagramları ise (Langmuir vd., 1978), asimilasyon ve /veya magma karışımını gösteren doğrusal eğilimleri göstermektedir (Şekil 11h ve i).

## Tektonik Ortam

Hallaçlar Volkaniti'ne ait örnekler Th/Yb-La/Yb diyagramında (Condie, 1989) kıtasal kenar yay alanı içinde görülmektedir (Şekil 12a). Nb<sub>N</sub>/Zr<sub>N</sub>-Zr diyagramında çarpışma sonrası kayalar alanında yer alırken (Şekil 12b), Th-Ta-Yb diyagramında ise aktif kıta kenarı magmatizması ile temsil edilen bölgede yoğunlaşmıştır (Şekil 12c).

Biga Yarımadası'nda çok geniş alanlarda gözlenen Paleojen-Neojen magmatizmasında plütonizma daha çok Eosen-Oligosen'de gözlenirken volkanizma Oligosen-Orta Miyosen aralığında gözlenmektedir. Bölgede orta-K'lu kalk-alkalen özellikle başlayan magmatizma Miyosen döneminde yüksek-K'lu, kalk-alkalen ve Pliyosen döneminde ise orta-yüksek K'lu alkalin magmatizma ile son bulmuştur (Altunkaynak ve Genç, 2008; Dilek ve Altunkaynak, 2010; Aslan vd., 2017; 2020). Batı Anadolu'da karmaşık tektonik rejim etkili olmuş olup (Dilek ve Altunkaynak, 2010; Prelević vd., 2012) Paleojen-Neojen gelişiminde yitim, manto zenginleşmesi, roll-back ve kirlenme gibi karmaşık olaylar ileri sürülmektedir (Dilek ve Altunkaynak, 2010; Altunkaynak vd., 2012; Seghedi vd., 2013; Prelević vd., 2015; Aslan vd., 2017; 2020). Alt Miyosen'deki magmatizmanın Neotetis Okyanusu'nun güney kolunda roll-back ile ilişkili olduğu ileri sürülmektedir (Ersoy vd., 2012; Prelević vd., 2012; 2015).

Bölgede yapılan son çalışmalarda magmatik kayaçların zenginleşmiş litosferik manto ve kabuktan oluştukları belirtilmiştir (Altunkaynak vd., 2012; Prelević vd., 2015; Aslan vd., 2020). Sakarya Kıtası ile Torid-Anatolid Kıtası'nın çarpışması sonucu Oligo-Miyosen magmatizması gelişmiştir (Ercan vd., 1995; Dilek ve Altunkaynak, 2010). Çarpışma sonrası orta Eosen'de yitimle ilişkili orta-K'lu kalk-alkalen plütonik ve volkanik kayaçlar oluşmuştur. Çarpışma sonrası Neotetis Okyanus Kabuğu'nun güney kolunun roll-back'e uğraması sonucu, zenginleşmiş litosferik mantonun erimesi ile Orta-Geç Miyosen kalk-alkalen magmatizması oluşmuştur (Ersoy vd., 2012; Biryol vd., 2011; Karaoğlu ve Helvacı, 2014; Prelević vd., 2012).



Şekil 12. Çalışılan volkanik kayaçların; a) Th/Yb-La/Yb (Condie, 1989), b) Zr-Nb<sub>N</sub>/Zr<sub>N</sub>, c) Yb-Th-Ta diyagramları.

Figure 12. a) Th/Yb-La/Yb (Condie, 1989), b) Zr-Nb<sub>N</sub>/Zr<sub>N</sub>, c) Yb-Th-Ta diagrams for investigated volcanic rocks.

## SONUÇLAR

Balıkesir'in güneybatısında mostra veren Oligosen-Miyosen yaşlı volkanik kayaların mineral kimyası ve jeokimyasal verileri Biga Yarımadası'ndaki çarpışma sonrası volkanik gelişime katkı sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki özetlenmiştir;

Çalışılan volkanik kayalar, andezit, bazaltik andezit, traki-andezit lav ve bunlarla ilişkili piroklastik kayalardan oluşmaktadır. Volkanitler genellikle mikrolitik porfirik ve porfirik, yer yer de fluidal, glomeroporfirik ve elek dokularını göstermektedir. Kayaları oluşturan ana mineraller plajiyoklaz, klinopiroksen, amfibol, biyotit ve Fe-Ti oksitlerdir.

Volkanik kayalara ait mineral kimyası analiz sonuçlarına göre plajiyoklazlar andezin ( $An_{33-47}Ab_{49-61}Or_{2-6}$ ) ve labradorit ( $An_{60-62}Ab_{34-38}Or_{1-4}$ ), piroksenler ojit ve klinoenstatit ( $Wo_{43}En_{75}Fs_{36}-Wo_1En_{38}Fs_{14}$ ), biyotitler ise Mg'lu biyotit olarak tespit edilmiştir. Jeotermobarometrik olarak biyotit mineraline göre 798-843 °C sıcaklık, 0,67-1,93 kbar basınç ve -13,68 ile -12,65 oksijen fugasitesi değerleri hesaplanmış olup buna göre biyotit minerali 4,5-6,5 km derinlikte kristalleşmiştir.

İncelenen volkanik kayalar yüksek-K ve kalk-alkalen özelliktedir. Volkanitlerdeki ana ve iz element değişimlerinde fraksiyonel kristalleşme (FC), kısmi ergime, kabuk kirlenmesi ve yitim zenginleşmesinin etkili olduğu görülmüştür. Klinopiroksen ve hornblend kontrollü bir fraksiyonel kristalleşme etkili olmuştur. Örneklerin normalize iz elementlerinde büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerde zenginleşme izlenirken, yüksek çekim alanlı elementlerde ise fakirleşme görülmektedir. Normalize edilmiş nadir toprak element dağılımlarında, hafif nadir toprak elementlerin ağır nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleştiği görülmektedir. Volkanitlerde  $(La/Lu)_N=8,29-15,65$  değerleri arasında olup konkav şekilde dağılım sunmaktadır

ve kalk-alkalen volkanizmayı göstermektedir. Çalışılan volkanik kayalar yitim ile ilişkili çarpışma sonrası ürünler olup zenginleşmiş litosferik mantodan türemiştir.

## EXTENDED SUMMARY

*Widespread magmatism was present during the Eocene-Miocene period in the Biga Peninsula (NW Turkey) in the west of the Sakarya continent. One of the most important of these is the Oligo-Miocene Hallaçlar Volcanics, which is a wide outcrop between Balıkesir and Çanakkale. In this study, the petrography, mineral chemistry, geochemistry and petrology of the volcanic rocks outcropping in the Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir, NW Turkey) region in the south of Balıkesir were investigated.*

*The studied Oligocene-Miocene volcanic rocks have the composition of andesite, basaltic andesite, trachyandesite and their pyroclastic rocks. The massive unit is gray in color and has a hard, cracked structure. In places where tectonism is effective, fracture-crack systems have developed and slip surfaces have formed. In areas where weathering is observed, argillization and silicification developed, and the unit is observed to have lighter colors in these sections. Volcanic rocks show generally microlithic porphyry, porphyric, fluidal and rarely glomeroporphyritic and spherulitic structures. The main minerals are plagioclase, clinopyroxene, hornblende, biotite, and Fe-Ti oxide. Secondary minerals are sericite, chlorite, clay and calcite. Apatite was observed as an accessory mineral in some samples.*

*According to the results of mineral chemistry analysis of studied volcanic rocks, plagioclases are andesine ( $An_{33-47}Ab_{49-61}Or_{2-6}$ ) and labradorite ( $An_{60-62}Ab_{34-38}Or_{1-4}$ ), pyroxenes are augite and enstatite ( $Wo_{43}En_{75}Fs_{36}-Wo_1En_{38}Fs_{14}$ ), and biotite is Mg-bearing biotite. The solidification temperatures of clinopyroxene minerals are between 580-*

960 °C, and the solidification temperatures of orthopyroxene minerals are between 620-1170 °C. Geothermobarometrically, the temperature was calculated as 798-843 °C, pressure as 0.67-1.93 kbar and oxygen fugacity as -13.68 to -12.65 according to biotite. The crystallization of biotite minerals occurred at a depth of 4.5-6.5 km (1 kbar = 3.7 km depth).

Geochemically, volcanic rocks have high K and calc-alkaline features. Major and trace element changes in volcanic rocks were observed to display the effects of fractional crystallization (FC), partial melting, crustal contamination, and subduction enrichment. The investigated volcanic rocks are partially depleted in Y according to the standard calc-alkaline trend and present a trend close to the J type. This trend indicates that clinopyroxene and hornblende-controlled fractional crystallization occurred during the development of the studied volcanics. As a result, it can be argued that controlled fractional crystallization of clinopyroxene and hornblende was effective. Some coarse plagioclase minerals in the studied volcanic rocks contained smaller plagioclase inclusions. Similarly, sieve texture was observed in some plagioclases. These petrographic features indicate magma mixing. It shows that the studied igneous rocks probably developed by processes involving a little assimilation (AFC) rather than fractional crystallization (FC) alone.

On the N-MORB normalized trace elements diagram for the volcanic rocks, they show enrichment in large ion lithophile elements (LILE), Rb, U and Th with depletion in high field strength elements (HFSE), Nb and Yb distributions. The enrichment in Rb, Ba, K and Th together with negative Nb and Ta anomalies indicates subduction and/or crustal contribution. On the normalized rare earth element diagram, light rare earth elements (LREE) are more enriched than heavy rare earth elements (HREE).  $(La/Lu)_N$  8.29-15.65;  $(La/Sm)_N$  4.35-8.52, and  $(Gd/Yb)_N$  1.01-1.60 were found in the samples. In the investigated

volcanics,  $(La/Lu)_N$  = 8.29-15.65 and is moderately enriched, and REE patterns are concave shaped, indicating calc-alkaline volcanism. These data show that the rocks formed related to subduction and have enriched mantle origin. The fact that they are rich in lithophile elements including large ion lithophile elements (for example, Ba, Rb and Th) and contain high Ba/La and Th/Yb ratios indicates that the main magma may originate from lithospheric mantle associated with subduction. In addition, the samples have low Zr/Y (6.5-10.1) and Zr/Nb (9.4-15.5) ratios, indicating a low degree of partial melting of the lithospheric mantle source. The studied rocks are tectonically similar to volcanic arc rocks.


In the Paleogene-Neogene magmatism is observed in wide areas of the Biga Peninsula, plutonism is observed mostly in the Eocene-Oligocene, while volcanism is observed in the Oligocene-Middle Miocene interval. Magmatism, which started in the region as medium-K calc-alkaline magmatism, ended with high-K calc-alkaline magmatism in the Miocene period and medium-high-K alkaline magmatism in the Pliocene period. A complex tectonic regime was effective in Western Anatolia and complex events such as subduction, mantle enrichment, roll-back and pollution are suggested to have occurred during Paleogene-Neogene development. It is suggested that magmatism in the Lower Miocene was associated with roll-back of the southern branch of the Neotethys Ocean. Recent studies in the region indicate that igneous rocks are composed of enriched lithospheric mantle and crust. The collision of the Sakarya Continent and the Tauride-Anatolide Continent resulted in Oligo-Miocene magmatism. In the middle Eocene, after the collision, subduction-related middle-K calc-alkaline plutonic and volcanic rocks formed. As a result of the roll-back of the southern branch of the Neotethys oceanic crust after the collision, Middle-Late Miocene calc-alkaline magmatism formed with the melting of

*the enriched lithospheric mantle. The studied volcanic rocks are post-collisional products with subduction traces and were derived from enriched lithospheric mantle.*

## KATKI BELİRLEME

Bu makale, birinci yazarın yüksek lisans çalışmasından üretilmiştir. Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2018/049). Jeokimyasal tüm-kayaç analizleri ile mineral kimyası (EPMA) analizlerinin yapımında yardımcı olan Prof. Dr. Y. Kağan KADIOĞLU'ya teşekkür ederiz. Makaleye yapıcı eleştiri ve görüşleriyle katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

## ORCID

Ferhat Bozan  <https://orcid.org/0000-0001-9039-520X>

Zafer Aslan  <https://orcid.org/0000-0002-3418-4368>

## KAYNAKLAR / REFERENCES

- Akay, E. (2009). Geology and petrology of the Simav Magmatic Complex (NW Anatolia) and its comparison with the Oligo–Miocene granitoids in NW Anatolia: Implications on Tertiary tectonic evolution of the region. *International Journal of Earth Sciences*, 98, 1655-1675.
- Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. & Mitchell, J. G. (2000). Petrogenetic Evolution of late Cenozoic, Post-collision Volcanism in Western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- Altunkaynak, Ş. (2007). Collision-driven slab breakoff magmatism in northwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Geology*, 115, 63-82.
- Altunkaynak, Ş. & Dilek, Y. (2006). Timing and nature of postcollisional volcanism in western Anatolia and geodynamic implications. In: Dilek, Y. & Pavlides, S. (Eds.), *Post collisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia. Geological Society of America Special Paper*, 409, 321–351.
- Altunkaynak, Ş. & Genç, Ş. C. (2008). Petrogenesis and time-progressive evolution of the Cenozoic continental volcanism in the Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey). *Lithos*, 102, 316-340.
- Altunkaynak, S., Dilek, Y., Genç, Ş. C., Sunal, G., Gertisser, R., Furnes, H., Foland, K. A. & Yang, J. (2012). Spatial, temporal and geochemical evolution of Oligo–Miocene granitoid magmatism in western Anatolia, Turkey. *Gondwana Research*, 21, 961-986.
- Aslan, Z., Edrem, D., Temizel, İ. & Arslan, M. (2017). SHRIMP U–Pb zircon ages and whole-rock geochemistry for the Şapçı volcanic rocks, Biga Peninsula, Northwest Turkey: implications for pre-eruption crystallization conditions and source characteristics. *International Geology Review*, 59(14), 1764-1785.
- Aslan, Z., Demir, H. & Altın, İ. (2020). U–Pb zircon geochronology and petrology of the early Miocene Gölöba and Şaroluk plutons in the Biga Peninsula, NW Turkey: Implications for post-collisional magmatism and geodynamic evolution. *Journal of African Earth Sciences*, 172, Article 103998.
- Aysal, N., Öngen, A. S., Yılmaz Şahin, S., Kasapçı, C., Haniççi, N. & Peytcheva, I. (2021). Peritectic assemblage entrainment and mafic–felsic magma interaction in the Late Oligocene–Early Miocene Karadağ Pluton in the Biga Peninsula, northwest Turkey: petrogenesis and geodynamic implications. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 279-312.
- Baier, J., Audetat, A. & Kepler, H. (2008). The origin of the negative niobium tantalum anomaly in subduction zone magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, 267, 290-300.
- Biryol, B. C., Beck, S. L., Zandt, G. & Özacar, A. A. (2011). Segmented African lithosphere beneath the Anatolian region inferred from teleseismic P-wave tomography. *Geophysical Journal International*, 184(3), 1037-1057.
- Bozan, F. (2019). *Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir) Köyleri Civarındaki Hallaçlar Volkanitlerinin Petroğrafisi ve Petrolojisi*. [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Condie, K. C. (1989). Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic

- boundary: identification and significance. *Lithos*, 23(1-2), 1-18.
- Condie, K. C., Bonnie, A. F. & Kerrich, R. (2002). The 1.75-Ga Iron king volcanics in west-central Arizona: A remnant of an accreted oceanic plateau derived from a mantle plume with a deep depleted component. *Lithos*, 64, 49–62.
- De Albuquerque, C. A. R. (1973). Geochemistry of biotites from granitic rocks: Northern Portugal. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 37(7), 1779-1802.
- De Paolo, D. J. & Daley, E. E. (2000). Neodymium isotopes in basalts of the southwest basin and range and lithospheric thinning during continental extension. *Chemical Geology*, 169(1-2), 157-185.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1992). *An introduction to the rock forming minerals*. Longman, London, 270 p.
- Dilek, Y. & Altunkaynak, Ş. (2010). Geochemistry of neogene-quaternary alkaline volcanism in western Anatolia, Turkey, and implications for the Aegean mantle. *International Geology Review*, 52(4-6), 631-655.
- Dönmez, M., Akçay, A. E., Genç, Ş. C. & Acar, Ş. (2005). Biga Yarımadasında Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbiritler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 131, 49-61.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş F. & Kar, H. (2004). New Results on the lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 177-186.
- Edwards, C., Menzies, M. & Thirwall, M. (1991). Evidence from Muriah, Indonesia, for the interplay of supra-subduction zone and intraplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas. *Journal of Petrology* 32, 555–592.
- Elburg, M. A., Bergen, M. V., Hoogewerff, J., Foden, J., Vroon, P., Zulkarnain, I. & Nasution, A. (2002). Geochemical trends across an arc-continent collision zone: magma sources and slab-wedge transfer processes below the Pantar Strait volcanoes, Indonesia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66, 2771-2789.
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, H. J. & Yıldırım, T. (1995). Biga Yarımadası ile Gökçeada Bozcaada ve Tavşan adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 117, 55-86.
- Ersoy, Y. E., Helvacı, C., Uysal, İ., Karaoğlu, Ö., Palmer, M. R. & Dindi, F. (2012). Petrogenesis of the Miocene volcanism along the İzmir-Balıkesir Transfer Zone in western Anatolia, Turkey: Implications for origin and evolution of potassic volcanism in post-collisional areas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 241-242, 21-38.
- Fuhrman, M. L. & Lindsley, D. H. (1988). Ternary feldspar modeling and thermometry. *American Mineralogist*, 73(3-4), 201-215.
- Gill, J. B. (1981). *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer, Berlin. 390 p.
- Harris, N. B. W., Kelley, S. & Okay, A. I. (1994). Post-collisional magmatism and tectonics in northwest Anatolia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 117, 241-252.
- Henry, D. J., Guidotti, C. V. & Thomsin, J. A. (2005). The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanism. *American Mineralogist*, 90(2-3), 316-328.
- Irvine, T. N. & Baragar W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523-548.
- Kamacı, Ö. & Altunkaynak, Ş. (2020). The role of accreted continental crust in the formation of granites within the Alpine style continental collision zone: Geochemical and geochronological constrains from leucogranites in the Çataldağ Metamorphic Core Complex (NW Turkey). *Lithos*, 105347, 354–355.
- Karacık, Z., Yılmaz, Y., Pearce, J. A. & Ece, O. I. (2008). Petrochemistry of the south Marmara granitoids, northwest Anatolia Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 1181-1200.
- Karaoğlu, O. & Helvacı, C. (2014). Isotopic evidence for a transition from subduction to slab-tear related volcanism in western Anatolia, Turkey. *Lithos*, 192-195, 226-239.
- Krushensky, R. D. (1976). Neogene calc-alkaline extrusive and intrusive rocks of the Karalar-



- Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey. *Bulletin Volcanologique*, 39(2), 336-360.
- Lambert, R. J. & Holland, J. G. (1974). Yttrium geochemistry applied to petrogenesis utilizing calcium-yttrium relationships in minerals and rocks. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 38(9), 1393-1414.
- Langmuir, C. H., Vocke, R. D., Hanson, G. N. & Hart, S. R. (1978). A general mixing equation with applications to Icelandic basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, 37(3), 380-392.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lamere, J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen, H. & Woolley, A. R. (2002). *Igneous rocks: A classification and glossary of terms, recommendations of the international union of geological sciences, subcommission of the systematics of igneous rocks*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lindsley, D. H. (1983). Pyroxene thermometry. *American Mineralogist*, 68(5-6), 477-493.
- Lindsley, D. H. ve Andersen, D. J., 1983. A two-pyroxene thermometer. *Journal of Geophysical Research*, 88, 887-906.
- Luhr, J. F., Carmichael, I. S. E. & Varekamp, J. C. (1984). The 1982 eruptions of El Chicón Volcano, Chiapas, Mexico: Mineralogy and petrology of the anhydrite-bearing pumices. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23(1-2), 69-108.
- Mcdermott, F., Delfin, F. G., Defant, M. J., Turner, S. & Maury, R. (2005). The petrogenesis of volcanic from Mt. Bulusan and Mayon in the Bicol arc, the Philippines. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 150(6), 652-670.
- Morimoto, M. J., Fabries, A. K., Ferguson, I. V., Ginzburg, M. & Ross, F. A. (1988). Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, 535-550.
- Nachit, H., Ibhi, A., Abia, E. A. & Ohoud, M. B. (1985). Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neofomed biotites. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(16), 1415-1420.
- Okay, A. I. (2008). Geology of Turkey: a synopsis. *Anschnitt*, 21, 19-42.
- Okay, A.I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durant, B., Jolivet, F., Horvath, F. & Seranne, M. (Eds.), *The Mediterranean basin: Tertiary extension within the Alpine orogen. Geological Society Special Publication*, 156(1), 475-515.
- Okay, A. I. & Satır, M. (2000). Upper Cretaceous eclogite – facies metamorphic rocks from the Biga peninsula, northwest Turkey. *Turkish Journal Earth Sciences*, 9, 47-56.
- Okay, A. I., Tansel, I. & Tüysüz, O. (2001). Obduction, subduction and collision as reflected in the Upper Cretaceous–Lower Eocene sedimentary record of western Turkey. *Geological Magazine*, 138(2), 117-42.
- Okay, A. I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Metzger, R. & Akyüz, S. (1996). Paleo-and Neo-Tethyan events in Northwest Turkey: geological and geochronological constrains. In: Yin, A. & Harrison, T. M. (Eds.), *The tectonic evolution of Asia*, (p. 420-444). Cambridge University Press, Cambridge
- Özgenç, İ. & İlbeyli, N. (2008). Petrogenesis of the Late Cenozoic Eğrigöz Pluton in Western Anatolia, Turkey: Implications for magma genesis and crustal processes. *International Geology Review*, 50, 375-391.
- Pearce, J. A. (1983). The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In: Hawksworth, C. J. & Norry, M. J. (Eds.), *Continental basalts and mantle xenoliths* (pp. 230-249). Shiva, Nantwich.
- Pearce, J. A. (1996). A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D. A. (Eds.), *Trace element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulphide exploration: Winnipeg*. Geological Association of Canada, Short Course Notes 12, 79-113.
- Pearce, J. A. & Peate, D. W. (1995). Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review Earth Planet Sciences Letter*, 23, 251-285.
- Pearce, J. A., Bender, J. F., De Long, S. E., Kidd, W. S. F., Low, P. J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moor bath, S. & Mitchell, J. J. (1990). Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia Turkey.

- Journal of Volcanology Geotherm Research*, 44(1-2), 189-229.
- Pehlivan, Ş., Duru, M., Dönmez, M., Ilgar, A., Akçay, A. E., Erdoğan, K. & Özer, D. (2007). *Türkiye Jeolojisi Haritaları No:96, Balıkesir-İ 19 Paftası*. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Prelevic, D., Akal, C., Foley, S. F., Romer, R. L., Stracke, A. & Van Den Bogaard, P. (2012). Ultrapotassic mafic rocks as geochemical proxies for post-collisional dynamics of orogenic lithospheric mantle: the case of southwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Petrology*, 53(5), 1019-1055.
- Prelevic, D., Akal, C., Romer, R.L., Mertz-Kraus, R. & Helvacı, C. (2015). Magmatic response to slab tearing: constraints from the afyon alkaline volcanic complex, western Turkey. *Journal of Petrology*, 56(3), 527-562.
- Saatcı, E. S. & Aslan, Z. (2018). Petrography and petrology of the Yürekli (Balıkesir) volcanics: an example of post-collisional felsic volcanism in the Biga peninsula (NW Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 157, 103-120.
- Seghedi, I., Ersoy, Y. E. & Helvacı, C. (2013). Miocene-Quaternary volcanism and geodynamic evolution in the pannonian basin and the menderes Massif: a comparative study. *Lithos*, 180(6), 25-42.
- Seyitoğlu, G. & Scott, B. (1996). The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: Tectonic escape vs. backarc spreading vs. orogenic collapse. *Journal of Geodynamics*, 22(1-2), 145-153.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Saunders, A. D. & Norry, M. J., (Eds.), *Magmatism in the ocean basins*. *Geology Society London Special Publication*, 42, 313-345.
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241.
- Tischendorf, G., Gottesmann, B., Förster, H. J. & Trumbull, R. B. (1997). On Li-bearing micas: Estimating Li from electron microprobe analyses and an improved diagram for graphical representation. *Mineralogical Magazine*, 61(409), 809-834.
- Thirlwall, M. F., Smith, T. E., Graham, A. M., Theodorou, N., Hollings, P., Davidson, J. P. & Arculus, R. J. (1994). High field strength element anomalies in arc lavas; source or process? *Journal of Petrology*, 35(3), 819-838.
- Thompson, R. N., Morrison, M. A., Hendry, G. L. & Parry, S. J. (1984). An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach. *Philos Translating Society London*, A310, 549-590.
- Topuz, G. & Okay, A.I. (2017). Late Eocene-Early Oligocene two-mica granites in NW Turkey (the Uludağ Massif): Water-fluxed melting products of a mafic metagreywacke. *Lithos*, 268-271, 334-350
- Tulloch, A.J. & Challis, G.A. (2000). Emplacement depths of Paleozoic-Mesozoic plutons from western New Zealand estimated by hornblende-Al geobarometry. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 43, 555-567.
- Uchida, E., Endo, S. & Makino, M. (2007). Relationship between solidification depth of granitic rocks and formation of hydrothermal ore deposits. *Resource Geology*, 57(1), 47-56.
- Yılmaz, Y. (1989). An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. In Şengör, A. M. C. (Eds.), *Tectonic evolution of the Tethyan region* (pp. 159-189). Kluwer Academics, Hague, The Netherlands.
- Yılmaz, Y. (1990). Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia under compressional regime; a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44(1), 69-87.
- Yılmaz, Y., Genç, S. C., Karacık, Z. & Altunkaynak, Ş. (2001). Two contrasting magmatic associations of NW Anatolia and their tectonic significance. *Journal of Geodynamics*, 31(3), 243-271.
- Wilson, F. H. (1989). Geologic setting, petrology and age of Pliocene to Holocene volcanoes of the stepovak Bay area, western Alaska Peninsula. In Dover, J. H. & Galloway, J. P. (Eds.), *Geological studies in Alaska by the U.S. Geological Survey*. *United State Geological Survey Bulletin*, 1903, 84-95.

- Wones, D. R. (1989). Significance of the assemblage titanite+magnetite+quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, 74(7-8), 744-749.
- Zellmer, G. F., Annen, C., Charlier, B. L. A., George, R. M. M., Turner, S. P. & Hawkesworth, C. J. (2005). Magma evolution and ascent at volcanic arcs: Constraining petrogenetic processes through rates and chronologies. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 140, 171-191.
- Zhu, D. C., Pan, G. T., Mo, X. X., Liao, Z. L., Jiang, X. S., Wang, L. Q. & Zhao, Z. (2007). Petrogenesis of volcanic rocks in the Sangxiu Formation, central segment of Tethyan Himalaya: A probable example of plume–lithosphere interaction. *Journal of Asian Earth Science*, 29(2), 320-335.



**Termination of Little Ice Age in Northeastern Anatolia: A Multi-proxy Paleolimnology Study of Lake Aygır Sediments, (Kars, NE Anatolia)**

*Kuzeydoğu Anadolu'da Küçük Buzul Çağı'nın Sonu: Aygır Gölü Sedimanlarının Çoklu Proksi Paleo-Limnolojik İncelemesi (Kars, KD Anadolu)*

**Ahmet Evren Erginal<sup>1\*</sup> , Nurettin Yakupoğlu<sup>2</sup> , Çağlar Çakır<sup>3</sup> ,  
Abdullah Akbaş<sup>4</sup> , Serkan Kükrer<sup>5</sup> **

<sup>1</sup> Department of Geography Education, Faculty of Education, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

<sup>2</sup> Department of Geological Engineering, Faculty of Mines, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

<sup>3</sup> Department of Geography, Faculty of Letters, Akdeniz University, Antalya, Turkey

<sup>4</sup> Department of Geography, Faculty of Letters, Bursa Uludağ University, Bursa, Turkey

<sup>5</sup> Department of Geography, Faculty of Humanities and Letters, Ardahan University, Ardahan, Turkey

• Geliş/Received: 09.12.2021

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 21.03.2022

• Kabul/Accepted: 02.02.2022

• Baskı/Printed: 15.04.2022

Research Article/Araştırma Makalesi

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

**Abstract:** Sedimentary, geochemical and stable isotope analyses of a sediment core (core AY) recovered from Lake Aygır (NE Anatolia) provide evidence of the climatic shifts during the last ~500 yrs. Sediments in Lake Aygır are composed of silty clay with a modeled ~0.16 cm/yr sedimentation rate. Multi-proxy analyses of the downcore distribution of detritally-deposited proxy elements, total calcium carbonate, organic carbon and stable isotopes reveal climatic records of the Industrial Epoch (IE; 18th-19th centuries) and the termination of the Little Ice Age (LIA; AD 1350 to 1850), represented by fluctuating Total Organic Carbon (TOC), Ca, Sr and relatively low detrital precursors (Fe, Ti, K, Rb, Zr), indicating low chemical weathering and dry conditions. The upper part of the core (192 cal yrs BP to present), identified with high detrital input, contains an increasing trend of Fe, Ti, K, Rb, and Zr together with high  $\delta^{18}O$  and  $\delta^{13}C$  values, indicating warmer conditions during the IE.

**Keywords:** Lake Aygır, NE Anatolia, paleoclimate, sediment coring, stable isotope.

**Öz:** Aygır Gölü'nden (KD Anadolu) alınan sediman karotunun (AY karotu) sedimantolojik, jeokimyasal ve duraylı izotop analizleri son ~500 yıldaki iklim değişikliklerin kanıtlarını ortaya koymaktadır. Siltli kilden oluşan Aygır Gölü sedimanlarının modellenen sedimantasyon hızı ~0,16 cm/yıldır. Detritik olarak çökelmiş proksi elementlerin tabandan yüzeye dağılımına göre yapılan çoklu proksi analizlerine göre, toplam kalsiyum karbonat, organik karbon ve duraylı izotop verileri Küçük Buzul Çağı'ndan (KBÇ; 1350-1850 MS) Endüstriyel Dönem'e (ED, 18-19 yy) geçişi temsil eder ve bu dönem düşük ayrışma hızı ve kurak koşulları açıklayacak şekilde toplam organik karbon, Ca, Sr değerlerindeki düşüşle temsil edilir. Karotun üst kısımları ise (192 yıl öncesinden günümüze) kırıntılardaki artış ve yüksek Fe, Ti, K, Rb ve Zr konsantrasyonları yanı sıra yüksek  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^{13}C$  değerleri ile temsil edilir ve Endüstri Çağı'nın sıcak koşullarını açıklar.

**Anahtar Kelimeler:** Aygır Gölü, duraylı izotop, Kuzeydoğu Anadolu, paleoiklim, sediman karotu.

## INTRODUCTION

Multi-proxy-based paleolimnological imprints of lake sediments provide an insight into periodic changes in climate and associated shifts in the rate of rock weathering and sediment drift around the vicinity of lakes. In line with growing interest in the sedimentary record of lakes, the fingerprints of climatic changes in Anatolian lakes during the Late Quaternary have been addressed, such as in the lakes Tecer (Kuzucuoğlu et al., 2011), Sünnet (Ocakoglu et al., 2013), Sapanca (Leroy et al., 2010), Eski Acıgöl (Roberts et al., 2001; Jones & Roberts, 2008), Nar (Jones et al., 2006; England et al., 2008) and Gölhisar (Eastwood et al., 2007). Moreover, similar studies that determine the LIA have taken place in Poland (Gaşiorowski & Sienkiewicz, 2010), Taiwan (Wang et al., 2013), and Iceland (Ogilvie & Jónsson 2001). Paleoclimate studies accentuating the downcore distribution of proxy elements of detrital and authigenic origin have increased recently, such as in case studies of the lakes Küçükçekmece (Akçer Ön et al., 2011), Iznik (Ülgen et al., 2012), Hazar (Eriş, 2013; Eriş et al., 2018) and Van (Çağatay et al., 2014; Litt et al., 2014). Besides this, proxy elements are used to shed light on rational trends inferred from the ratios of Ca/Fe and Ca/Ti (Roeser et al., 2012; Çağatay et al., 2014; 2019) as well as Rb/Sr values (Erginal et al., 2019) and Mo/Al (Kükrer, 2018), allowing assessment of the climatically-controlled deposition of lake sediments over a certain period of time.

Results obtained from Lake Aygır were previously discussed by Kükrer (2018) in terms of ecological and toxic risk assessment of heavy metals. In this study, we provide a different perspective to indicate the most recent Holocene climatic changes by using multi-proxy parameters. Therefore, we demonstrate the climatic precursors of the LIA-IE transition in terms of geochemical aspects of the sediment core. On the basis of analyses of the downcore distribution of detritally-deposited proxy elements (Fe, Ti, Rb, Sr, Zr, K), as well as the content of total calcium carbonate, organic carbon and stable isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta$

$^{13}\text{C}$ ), we provide a better understanding of the termination of the Little Ice Age and a comparison with other Anatolian lakes regarding the near-bottom sediments of Lake Aygır.

## STUDY AREA

Lake Aygır, a volcanic barrier lake with a maximum depth of 30 meters, is located on the Erzurum-Kars-Ardahan Plateau in the Susuz district of Kars province (Figure 1 & 2). The lake has a surface area of 4.02 km<sup>2</sup> and is 2131 m above sea level. It has a length of 3.11 km and a width of 1.86 km (Figure 1 & 2). West of the lake consists of Upper Miocene-Pliocene volcanics and Pliocene andesites and pyroclastics (Deveciler et al., 1990; Aktimur et al., 1992; Rolland, 2017). According to the data of Susuz meteorology station, located 10 km east of the lake, the average temperature in the field is 4.9 °C. The total annual precipitation average is 483 mm, and depending on convectional air currents, the maximum precipitation falls in summer. Winter precipitation is in the form of snow, which covers the ground for about 4 months.

## MATERIALS and METHODS

### Sampling and analyses

Using a Kajak Sediment Core Sampler with 6 cm-diameter sampling tube, a 66 cm short core was recovered at 4 m water depth in the central part of the lake for multi-proxy analyses and dating (see also Kükrer, 2018) (Figs. 1,2). Preliminary results from the core have been published by Kükrer (2018), containing an ecological and toxic risk assessment of heavy metals in Lake Aygır sediments. The same sediment samples were used in this study to evaluate the most recent climatic changes. Using a Scheibler calcimeter, the CaCO<sub>3</sub> content of pulverized subsamples with a weight of 0.5 gr was determined (Schlichting & Blume, 1996). The TOC within another set of pulverized dry subsamples (about 0.2-0.5 gr) was measured using the modified Walkley-Black Titration Method (Gaudette et al., 1974).

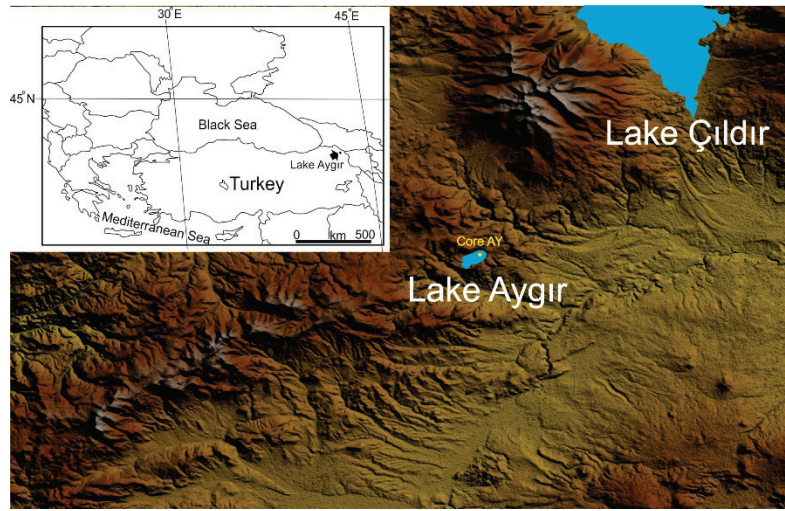


Figure 1. Location of Lake Aygır.

Şekil 1. Aygır Gölü'nün konumu.

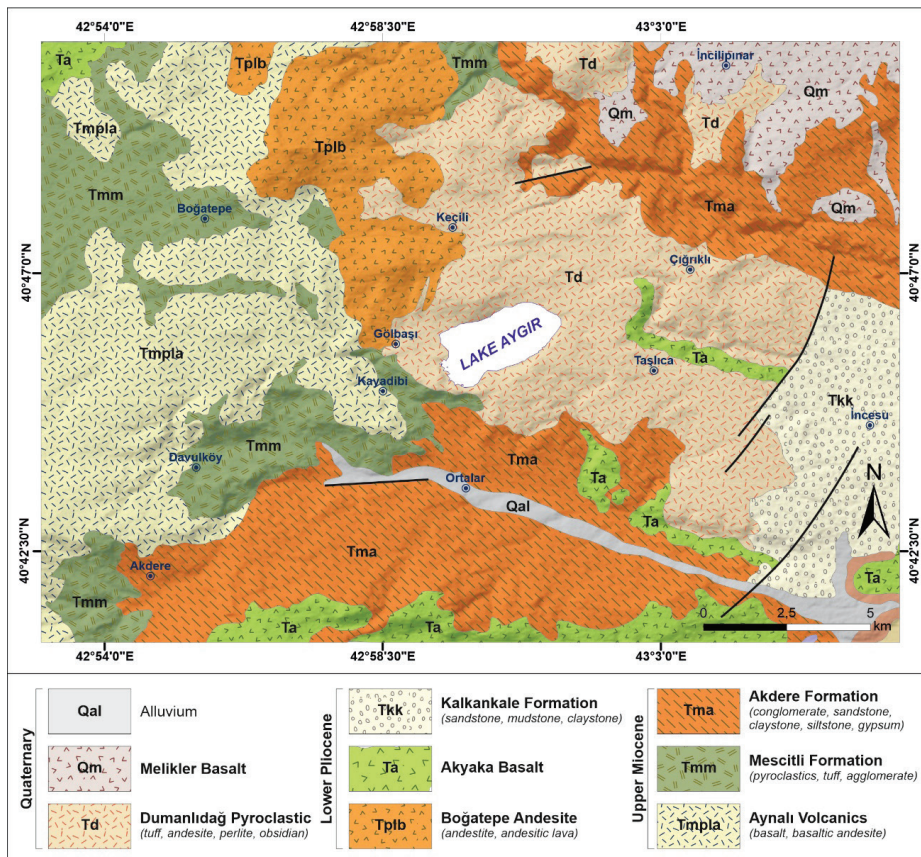
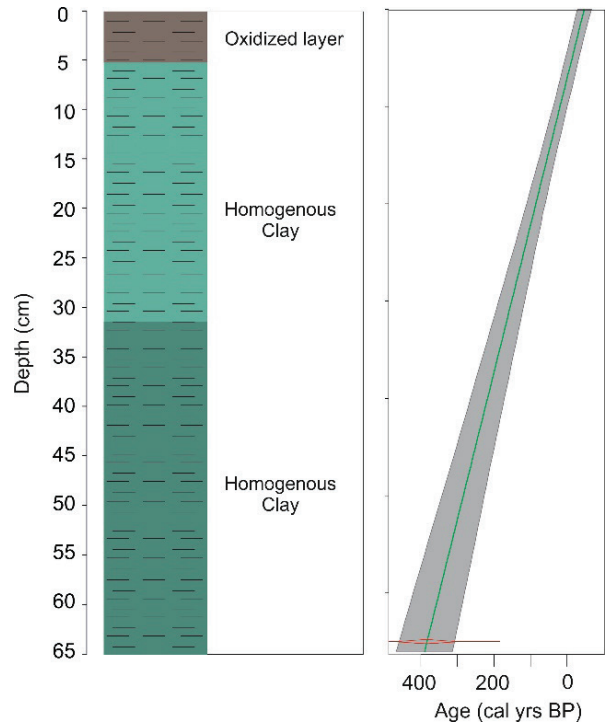


Figure 2. Geological map of the region (Aktimur et al., 1992). Note that Lake Aygır is surrounded by mainly volcanic and pyroclastic rocks.

Şekil 2. Bölgenin jeoloji haritası (Aktimur vd., 1992). Aygır Gölü genelde volkanik ve piroklastik kayalarla çevrilidir.

Stable oxygen and carbon isotope analyses of 33 samples were carried out in the Environmental Isotope Laboratory of the University of Arizona. For this end, carbonates of 0.5 gr sub-samples split at 1 mm were used. The  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  of carbonates were measured using an automated carbonate preparation device (KIEL-III) coupled to a gas-ratio mass spectrometer (Finnigan MAT 252). Powdered samples were reacted with dehydrated phosphoric acid under a vacuum at 70 °C. The isotope ratio measurement was calibrated based on repeated measurements of NBS-19 and NBS-18 and the precision was  $\pm 0.10\text{‰}$  for  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\pm 0.08\text{‰}$  for  $\delta^{13}\text{C}$  (1 sigma). The isotope values obtained are reported on the Vienna-Pee Dee Belemnite scale.

Accelerated Mass Spectrometry (AMS) radiocarbon dating of bulk organic carbon within the sample taken from 66 cm depth was carried out at Beta Analytic, Miami, USA. The acquired sample showed no diagenesis or reworking. According to the 2 sigma calibrated radiocarbon outcome, the 65 cm of core sediment was dated to cal yrs BP 505 to 425. The AMS  $^{14}\text{C}$  result was calibrated by using Calib v7.1 software (Stuvier & Reimer, 1993) with an IntCal20. $^{14}\text{C}$  calibration curve. The age-depth model of the studied core was produced by using an AMS  $^{14}\text{C}$  result (Figure 3). Recovery of the core was executed by using the gravity coring system. Therefore, the top of the core represents the most recent sedimentation. The age-depth model was produced by “clam” script on the R-studio platform (Blaauw, 2010). The constructed age-depth model has non-Bayesian, linear interpolated age-depth iterations, which were calculated at 95% Gaussian confidence interval.



**Figure 3. a)** Lithology and **b)** age-depth model of studied core.

**Şekil 3. a)** Litoloji ve **b)** Çalşıılan karotunun derinlik-yaş modeli.

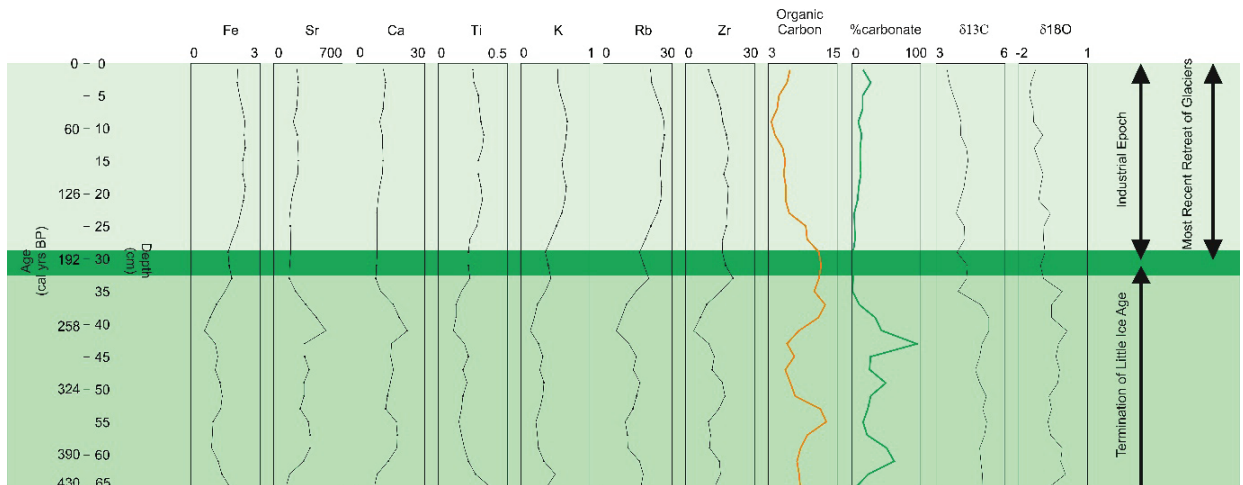
## RESULTS

Down-core distribution of the physical and chemical proxy data obtained from the Lake Aygır sediments allowed us to distinguish specific periods in terms of paleoclimatic records. In terms of organic carbon and calcium carbonate distribution in the studied core, a negative correlation exists. The  $\text{CaCO}_3$  distribution shows oscillation at depths between 66 cm and 46 cm and the values tend to increase with a seesaw pattern upward ( $r^2$ : 0.16). However, the  $\text{CaCO}_3$  reaching the maximum value of 94.3% in the 42-44 cm sampling interval shows a rapid decrease from this point to a depth of 34 cm and the amount of  $\text{CaCO}_3$  decreases to 1.22% ( $r^2$ : 0.90). There is a regular increase in the amount of  $\text{CaCO}_3$  from 34-36 cm deep to the surface ( $r^2$ : 0.80). Accordingly, the sampling level of 44 cm clearly represents the onset of a strong arid period.

The TOC concentration shows a progressive decrease up to a depth of 38 cm from the surface, beside an abnormal increase at near surface depth (0-4 cm), associated with recent anthropogenic inputs.

The oxygen and carbon isotope profiles also show two major trends. From the bottom to the sampling interval of 36-38 cm, the isotope curve is slightly oscillating in keeping with the  $\text{CaCO}_3$  and the maximum and minimum values for  $\delta^{13}\text{C}$  are 5.31 ‰ and 4.72 ‰ (V-PDB), respectively. From this depth, however, both values are 4.36 ‰ and 3.49 ‰ (V-PDB). Similarly, the  $\delta^{18}\text{O}$  values range from -0.72 ‰ to 0.12 ‰ (V-PDB) below the sampling depth of 36 cm. From this depth, the maximum and minimum values for  $\delta^{18}\text{O}$  are -0.1 ‰ and -1.51 ‰ (V-PDB), respectively. On the other hand,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values demonstrate a decreasing trend from bottom to top ( $r^2=0.72$  and 0.65, respectively). The tendency to decrease towards the surface is more pronounced from a depth of 40 cm.

The downcore distribution of proxy elements is also indicative of climatic changes during the deposition period. At the lowermost parts of the core between 65 and 55 cm, the detrital proxies (Rb, Zr, Ti, K, Fe) display a decreasing trend in contrast to Ca and Sr (Figure 4). The organic productivity can be established by correlating Ca and Sr values as well as the organic carbon distribution. At depths between 55-46 cm, detrital proxies have a gentle positive anomaly whereas Ca and Sr levels appear to be stable (Figure 4). Organic content along with the Ca and Sr values display a similar trend in the interval between 46-35 cm. Detrital inputs are most likely decreasing during this interval. The 35-30 cm interval shows a critical change in terms of core geochemical properties, where all detrital proxies start to increase at this key level. In the rest of the core, organic content proxies (Ca and Sr) exhibit a stable trend. However, there is a considerable growth in the amount of Fe, K, Ti, Rb and Zr in this interval up to 5 cm. The uppermost part of the core (5-0 cm) shows a decreasing trend in terms of all geochemical proxies due to water saturation of the upper sediments.



**Figure 4.** Downcore chemical and isotope parameter distributions. Fe, Ti, organic carbon and calcium carbonate data were obtained from Kükre (2018).

**Şekil 4.** Karot boyunca kimyasal ve izotop parametrelerinin dağılımı. Fe, Ti, organik karbon ve kalsiyum karbonat verileri Kükre. (2018)'den alınmıştır.



According to the elemental distribution, a normalization distribution (Mo/Al) have been used in this study in order to detect the anoxia (Kükrer, 2018). In terms of anoxia, higher values (up to 3-4) are very similar to the organic carbon concentration and carbonate ratio. In-between 60-50 cm, there is an increment of the Mo/Al ratio (up to 3). Thus, the 45-35 cm interval also has higher values (up to 3.5) (Kükrer, 2018).

According to the age-depth model (Figure. 3), the studied sediment core implies that two major climatic records were perceived in the Northern Hemisphere in the last ~450 years (Kükrer, 2018). One of the climatic records is the termination of the Little Ice Age period (~30 cm) (termination at ~192 cal yrs BP). The upper part of the core is represented by the Industrial Epoch, or the most recent retreat of the glacial period (~192 cal yrs BP to the present) (Figure 4).

## DISCUSSION

### Termination of LIA

Based on the age-depth model, the end of LIA covers the time period from ~430 cal yrs BP to ~192 cal yrs BP (covering the 16<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup> centuries). The end of LIA is presumably represented by increasing detrital input; however, termination of this event is generally detected by low lithogenic elemental distribution in Europe and Anatolia (Roberts et al., 2012; Kuzucuoğlu et al., 2011). The lithogenic component is produced by the surrounding volcanic rocks (Late Pliocene to Early Pleistocene basaltic lava flows; Sheth et al., 2015). Therefore, especially up to 30 cm in the study core, detrital elemental distribution has lower values compared to the rest of the core. This correlation effectively represents the accuracy of the age-depth model, as well as the ICP-MS results (Figure 4).

Similar observations have been detected on Lake Nar (Jones et al., 2006; Touchan et al., 2007) where the termination of LIA is well

represented by dry conditions. Such consistency is also documented in Lake Tecer (Kuniholm, 1990; White, 2011; Kuzucuoğlu et al., 2011). This climatic behaviour can be seen on detrital elemental proxies. Their decreasing trend indicates the drier conditions of Lake Aygır, which is surrounded by volcanic rocks. Moreover, the lake is encircled by steep mountains that cause sparse vegetation and low biological diversity (Anonymous, 2017). The fluctuations of the elemental profiles (66-30 cm) are not caused by such effects (Figure 4). Moreover, the termination of LIA has higher values of  $\delta^{13}\text{C}$ , which indicates lower vegetation in the vicinity. Thus, these  $\delta^{13}\text{C}$  values also support the inorganic source of the organic content (Kuniholm, 1990; McDermott, 2004; Fairchild et al., 2006).

Temperature fluctuations can be traced by using  $\delta^{18}\text{O}$  values. This also provides a good correlation between precipitation and evaporation. Comparing the  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  profiles, the oxygen isotope has higher values during the termination of LIA. These high values indicate drier and colder conditions (Cronin, 1999; Leng and Marshall, 2004; Jones & Roberts, 2008; Göktürk et al., 2011; Oçakoğlu et al., 2016). This is also supported by the depleted elemental distribution of the studied core (Figure 4).

### Industrial Epoch

The second major period observed in the core, at a depth of 31-0 cm, is the Industrial Epoch, which was deposited between ~192 cal years BP and recent times. Because the beginning of the Industrial Revolution was around 1850, this period has been previously documented as having wet and warm characteristics. In the studied core, we observed characteristic proxies in terms of the geochemical aspects. Detrital parameters (Fe, Ti, K, Zr, Rb) exhibit an increasing trend in this period, displaying an enriched catchment area in the lake region (Figure 2 & 4). Undoubtedly, more profuse melting of the snow in the vicinity

area provided more terrestrial input into the lake. This is supported by the lower values of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ , suggesting an augmentation of precipitation. Moreover, the retreat of the remaining glaciers provided a more nurturing environment for human productivity, which has caused the human-induced greenhouse effect (Le Treut et al., 2007; Danladi & Akçer-Ön, 2018). Similar circumstances have been seen in Anatolian lakes, showing warmer climatic conditions (Kadioğlu et al., 1997; Ülgen et al., 2012; Tudryn et al., 2013; Danladi & Akçer-Ön 2018). During this period, the overflowing and abundant detrital input prevented the preservation of organic carbon in the lake. An extremely low carbonate ratio indicates such a condition, along with the Ca & Sr profiles (Figure 4).

## CONCLUSION

Multi-proxy sedimentary records, including the TOC, carbonate percentage, elemental distribution of Zr, Rb, K, Ti, Ca, Sr and Fe, and the stable isotopes of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ , were investigated in order to provide the paleoclimatic history of the last ~500 yrs of Lake Aygır on the East Anatolian Plateau. A 66 cm-long sediment core was used to evaluate the silty clay content, having a 0.16 cm/yr sedimentation rate. Detrital elemental proxies show relatively low values during the Little Ice Age; however, the Industrial Epoch was identified by the high detrital content and low  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values. The LIA terminated at around ~192 cal yrs BP and the climate changed to the warmer conditions of IE. It is crucial to conduct further core recovery and geochemical analyses of Anatolian lakes in order to be more informed about the older climatic conditions that northeastern Anatolia experienced.

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Göl tabanında biriken sedimanların çoklu proksi analizleri Holosen'deki iklim değişiklikleri ve buna bağlı kaya ayrışma oranları ile ayrışma

sonucu açığa çıkan detritik unsurların göl tabanındaki çökme hızı hakkında çıkarımlar yapılmasını sağlar. Amaca göre göl tabanlarından alınan kısa veya uzun karotların fiziksel, kimyasal ve biyolojik proksileri yağışlı veya kurak evreler hakkında önemli bilgiler vermektedir. Göle taşınan kırıntıların tane boyu dağılımları, killi, karbonatlı ve tuzlu ara birimler içerip içermemeleri, manyetik duyarlık özellikleri, pH özellikleri, organik karbon içeriği, toplam  $\text{CaCO}_3$  içeriği,  $\text{CaCO}_3$  polimorfları yani kalsit-aragonit dağılımı, karbonatların izotop kimyası, iz element dağılımları, fosil polenler ve diatomlar çökme evresi boyunca değişen iklimsel ve çevresel koşulların hassas arşivlerini oluştururlar.

Bu çalışmada Kars ili Susuz ilçesinde Erzurum-Kars-Ardahan Platosu üzerinde yer alan Aygır Gölü paleoiklimsel proksiler açısından ele alınmıştır. Maksimum 30 metre derinliğe sahip bir volkanik set gölü olan Aygır Gölü 3,11 km uzunluğa, 1,86 km genişliğe ve 4,02 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip olup, deniz seviyesinden 2.131 m yüksektedir. Göl çevresi ağırlıklı olarak Üst Miyosen-Pliyosen volkanitler ve Pliyosen andezitlerden oluşur. Susuz meteoroloji istasyonu verilerine göre sahada yıllık ortalama sıcaklık 4,9 °C, yıllık toplam yağış ortalaması da 483 mm'dir. Yağışların büyük kısmı, konveksiyonel hava akımlarına bağlı olarak yaz mevsiminde düşer.

Aygır Gölü'nden Kajak Sediment Karot Örnekleyici kullanılarak alınan 66 cm uzunluk sığ karotta çoklu proksi verileri ile Kuzeydoğu Anadolu'da özellikle Küçük Buzul Çağı ve sonrasındaki iklimsel salınımların belirlenmesi amaçlanmıştır. 2 cm aralıkla dilimlenerek ayrılan 33 örnekte tabandan yüzeye doğru  $\text{CaCO}_3$ , Zr, Rb, K, Ti, Ca, Fe, toplam organik karbon (TOC),  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  izotop değerlerinin dağılışı belirlenmiş ve yaş verileri AMS radyokarbon tarihlendirmelerine göre değerlendirilmiştir.

Elde edilen veriler gölün yaklaşık son 500 yıllık geçmişteki paleoiklimsel tarihi ortaya

koymaktadır. Siltli kil içeriğine sahip karotta sedimantasyon hızı 0,16 cm/yıldır. Küçük Buz Çağındaki düşük değerlerin aksine, izleyen endüstriyel dönem çökelleri yüksek kırıntı içeriği ve düşük  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^{13}C$  değerleri ile temsil edilir. Yaş-derinlik modeline göre Küçük Buzul Çağı'nın sonu günümüzden yaklaşık 430 yıl ile 192 yıl öncesindeki zaman aralığına (16. ila 18. yüzyıllar) karşılık gelmektedir. Küçük Buz Çağı, günümüzden yaklaşık 192 yıl önce sona ermiş olmalıdır ve hemen ardından endüstriyel çağın daha sıcak koşulları egemen olmuştur. Nemli ve sıcak olan bu dönemde düşük  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^{13}C$  değerlerine karşın Fe, Ti, K, Zr, Rb değerlerindeki artış eğilimi bu dönemdeki ısınmayla birlikte çevredeki kar örtüsünün daha hızlı bir şekilde erimesi ve yağıştaki artış nedeniyle göle daha fazla karasal girdisi ile ilgili olmalıdır.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by the Research Foundation of Ardahan University (project number: 2015–12). We warmly thank Mr. Graham H. Lee for checking and proofreading the English in the earlier version of the paper.

## ORCID

Ahmet Evren Erginal  <https://orcid.org/0000-0002-3112-5258>

Nurettin Yakupoğlu  <https://orcid.org/0000-0003-2837-5771>

Çağlar Çakar  <https://orcid.org/0000-0002-1090-7146>

Abdullah Akbaş  <https://orcid.org/0000-0003-2024-0565>

Serkan Kükrer  <https://orcid.org/0000-0001-6924-3199>

## REFERENCES / KAYNAKLAR

Akçer-Ön S. (2011). *Küçükçekmece Lagünü, Yeniçağa, Uludağ Buzul ve Bafa Gölleri'nin (Batı Türkiye) Geç Holosen'deki İklim Kayıtları: Avrupa ve Orta Doğu İklim Kayıtları ile Karşılaştırılması* [Unpublished PhD thesis]. İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey.

Aktimur H. T., Tekirli, M.E., Yurdakul, M. E., Ürgün, B. M. ve Ercan, T. (1992). *1/100 000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No: 40 Kars-D36 Paftası. Ankara, Turkey: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.*

Anonymous (2017). 13th Regional Directorate of the Ministry of Forestry and Water Affairs. Available at: <http://bolge13.ormansu.gov.tr/13bolge> (accessed April 6, 2017).

Atalay, İ. (1994). *Türkiye Vegetasyon Coğrafyası*. Bornova, İzmir: E.Ü. Basımevi.

Blaauw, M. (2010). Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5, 512-518.

Çağatay M. N., Eriş, K. K., Makaroğlu, Ö., Yakupoğlu, N., Henry, P., Leroy, S. A. G. Uçarkuş, G., Sakıncı, M., Yalamaz, B., Bozyiğit, C. & Kende, J. (2019). The Sea of Marmara during Marine Isotope Stages 5 and 6. *Quaternary Science Reviews*, 220, 124-141. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.07.031>

Çağatay, M. N., Öğretmen, N., Damcı, E., Stockhecke, M., Sancar, Ü., Eriş, K. K. & Özeren, S. (2014). Lake level and climate records of the last 90 ka from the Northern Basin of Lake Van, eastern Turkey. *Quaternary Science Reviews* 104, 97-116. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.09.027>

Cronin, T. M., De Martino, D. M., Dwyer, G. S. & Rodriguez-Lazaro, J. (1999). Deep-sea ostracode species diversity: response to late Quaternary climate change. *Marine Micropaleontology*, 37(3-4), 231-249.

Danladi, I. B. & Akçer-Ön, S. (2018). Solar forcing and climate variability during the past millennium as recorded in a high-altitude lake: Lake Salda (SW Anatolia). *Quaternary International*, 486: 185-198.

Deveciler, E., Altun, İ., Canpolat, M., Karabalık, N., Keskin, H. et al. (1990). *Göle Dolayı'nın (Kars İli) Jeolojisi* (Rapor No: 9040). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Eastwood, W. J., Leng, M.J., Roberts, N. & Davis, B. (2007). Holocene climate change in the eastern Mediterranean region: a comparison of stable isotope and pollen data from Lake Gölhisar,

- southwest Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 22(4), 327-341. <https://doi.org/10.1002/jqs.1062>
- England, A., Eastwood, W. J., Roberts, C. N., Turner, R. & Haldon, J. F. (2008). Historical landscape change in Cappadocia (central Turkey): a palaeoecological investigation of annually laminated sediments from Nar lake. *The Holocene*, 18(8), 1229-1245.
- Erginal, A. E., Cagatay, M. N., Selim, H. H., Karabiyikoglu, M., Çakır, Ç., Yakupoğlu, N., Acar D., Akbaş, A. & Kaya, H. (2019). Multi-Proxy Sedimentary Records of Dry-Wet Climate Cycles During the Last 2 Ka from Lake Çıldır, East Anatolian Plateau, Turkey. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 42(1), 61-70. <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2019.42.5>
- Eriş, K. K. (2013). Late Pleistocene–Holocene sedimentary records of climate and lake-level changes in Lake Hazar, eastern Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, 302, 123-134.
- Eriş, K. K., Akçer-Ön S., Çağatay, M. N., Ülgen, U. B., Ön, Z. B., et al. (2018). Late Pleistocene to Holocene paleoenvironmental evolution of Lake Hazar, Eastern Anatolia, Turkey. *Quaternary International* 486, 4-16.
- Fairchild, I. J., Smith, C. L., Baker, A., Fuller, L., Spötl, C., Matthey, D., McDermott, F. & E.I.M.F. (2006). Modification and preservation of environmental signals in speleothems. *Earth-Science Reviews* 75(1-4), 105-153. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.08.003>
- Gašiorowski, M. & Sienkiewicz, E. (2010). 20th century acidification and warming as recorded in two alpine lakes in the Tatra Mountains (South Poland, Europe). *Science of the Total Environment*, 408(5), 1091-1101.
- Gaudette, H. E., Flight, W. R., Toner, L. & Folger, D. W. (1974). An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Research* 44(1), 249-253.
- Göktürk, O. M., Fleitmann, D., Badertscher, S., Cheng, H., Edwards, R. L. et al. (2011). Climate on the southern Black Sea coast during the Holocene: implications from the Sofular Cave record. *Quaternary Science Reviews* 30(19-20), 2433-2445. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.05.007>
- Jones, M. D. & Roberts, C. N. (2008). Interpreting lake isotope records of Holocene environmental change in the Eastern Mediterranean. *Quaternary international* 181(1), 32-38.
- Jones, M. D., Roberts, C. N., Leng, M. J. & Türkeş, M. (2006). A high-resolution late Holocene lake isotope record from Turkey and links to North Atlantic and monsoon climate. *Geology* 34(5), 361-364.
- Kadioğlu, M., Şen, Z. & Batur, E. (1997). The greatest soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change. *Annales Geophysicae* 15(11), 1489-1497.
- Kükrer, S. (2018). Vertical and horizontal distribution, source identification, ecological and toxic risk assessment of heavy metals in sediments of Lake Aygır, Kars, Turkey. *Environmental Forensics* 19(2), 122-133.
- Kuniholm, P. I. (1990). Archaeological evidence and non-evidence for climatic change. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences* 330(1615), 645-655.
- Kuzucuoğlu, C., Dörfler, W. & Kunesch, S. (2011). Mid- to Late-Holocene Climate Change in Central Turkey: The Tecer Lake Record. *The Holocene* 21(1), 173–188.
- Le Treut, H., Cubasch, U. & Allen, M. (2007). Historical overview of climate change science. In: Solomon S, Qin D, Manning M, et al. (Eds), *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, UK/New York: Cambridge University Press.
- Leng, M. J. & Marshall, J. D. (2004). Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives. *Quaternary Science Reviews* 23(7-8): 811-831.
- Leroy, S.A., Schwab, M. J. & Costa PJ (2010). Seismic influence on the last 1500-year infill history of Lake Sapanca (North Anatolian Fault, NW Turkey). *Tectonophysics* 486(1-4), 15-27.
- Litt, T., Pickarski, N., Heumann, G., Stockhecke, M. & Tzedakis, P.C. (2014). A 600,000 year long continental pollen record from Lake Van, eastern

- Anatolia (Turkey). *Quaternary Science Reviews* 104, 30-41.
- McDermott, F. (2004). Palaeo-climate reconstruction from stable isotope variations in speleothems: a review. *Quaternary Science Reviews* 23(7-8), 901-918.
- Ocakoğlu, F., Dönmez, E. O., Akbulut, A., Tunoğlu, C., Kır, O et al. (2016). A 2800-year multi-proxy sedimentary record of climate change from Lake Çubuk (Göynük, Bolu, NW Anatolia). *The Holocene* 26(2), 205-221.
- Ocakoğlu, F., Kır, O., Yılmaz, İ.Ö., Açıklım, S., Erayık, C. et al. (2013). Early to Mid-Holocene lake level and temperature records from the terraces of Lake Sünnet in NW Turkey. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 369, 175-184.
- Ogilvie, A. E. J. & Jónsson, T. (2001). "Little Ice Age" Research: A Perspective from Iceland. *Climatic Change*, 48(1), 9-52.
- Roberts, N., Moreno, A., Valero-Garcés, B. L., Corella, J. P., Jones, M. et al. (2012). Palaeolimnological evidence for an east–west climate see-saw in the Mediterranean since AD 900. *Global and Planetary Change* 84, 23-34.
- Roberts, N., Reed, J. M., Leng, M. J., Kuzucuoğlu, C., Fontugne, M., et al. (2001). The tempo of Holocene climatic change in the eastern Mediterranean region: new high-resolution crater-lake sediment data from central Turkey. *The Holocene* 11(6), 721-736.
- Roeser, P.A., Franz, S. O., Litt, T., Ülgen, U. B., Hilgers, A., et al. (2012). Lithostratigraphic and geochronological framework for the paleoenvironmental reconstruction of the last ~ 36 ka cal BP from a sediment record from Lake Iznik (NW Turkey). *Quaternary International* 274, 73-87.
- Rolland, Y. (2017). Caucasus collisional history: Review of data from East Anatolia to West Iran. *Gondwana Research* 49, 130–146.
- Sheth, H., Meliksetian, K., Gevorgyan, H., Israyelyan, A., Navasardyan, G. (2015). Intracanyon basalt lavas of the Debed River (northern Armenia), part of a Pliocene–Pleistocene continental flood basalt province in the South Caucasus. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 295, 1-15.
- Stuiver, M., Reimer, P. J. (1993). Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program. *Radiocarbon* 35(1): 215-230.
- Touchan R, Akkemik Ü, Hughes MK, Erkan N (2007). May–June precipitation reconstruction of southwestern Anatolia, Turkey during the last 900 years from tree rings. *Quaternary Research* 68(2): 196-202.
- Tudryn, A., Tucholka, P., Özgür, N., Gibert, E., Elitok, O., et al. (2013). A 2300-year record of environmental change from SW Anatolia, Lake Burdur, Turkey. *Journal of Paleolimnology* 49(4): 647-662.
- Ülgen, U.B., Franz, S. O., Biltekin, D., Çagatay, M. N., Roeser, P. A., et al. (2012). Climatic and environmental evolution of Lake Iznik (NW Turkey) over the last ~4700 years. *Quaternary International* 274, 88-101.
- Wang, L. C., Behling, H., Lee, T. Q., Li, H. C., Huh, C. A., Shiau, L. J., Chen, S. H. & Wu, J. T. (2013). Increased precipitation during the Little Ice Age in northern Taiwan inferred from diatoms and geochemistry in a sediment core from a subalpine lake. *Journal of Paleolimnology*, 49(4), 619-631.
- White, S. (2011). *The climate of rebellion in the early modern Ottoman Empire*. Cambridge, England: Cambridge University Press.



## **Geophysical Study to Identify Iron Mineralization Anomalies Using Terrestrial Magnetometry in the Chak-Chak Exploration Area, Iran**

**Ali Akbar Aali<sup>1</sup> , Aref Shirazi<sup>1</sup> , Adel Shirazy<sup>1\*</sup> , Shayan Khakmardan<sup>1,2</sup> ,  
Abbas Maghsoudi<sup>1</sup> , Ardeshir Hezarkhani<sup>1</sup> **

<sup>1</sup> Faculty of Mining Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran.

<sup>2</sup> École Nationale Supérieure de Géologie, University of Lorraine, Lorraine, France

• Geliş/Received: 10.12.2021 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 17.01.2022 • Kabul/Accepted: 21.02.2022  
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 23.03.2022 • Baskı/Printed: 15.04.2022

*Araştırma Makalesi/Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Abstract:** Mineral exploration is the underlying theme of industry and discoveries because humans have been exploring for minerals from the very beginning, based on their needs. This research aims to find promising areas of iron ore mineralization in Chak-Chak Exploration area of Yazd province, Iran. The study's range lies at a latitude of 32-33 degrees north and a longitude of 54-55 degrees east. This study collected data using terrestrial magnetometry at 6222 points in a 20 m x 10 m grid. Initially, these data were pre-processed, such as removing the magnetic field effect of the Earth's core. Subsequently, processes such as applying polarisation filters, trend surface correction, upward and downward conversions, vertical derivatives and analytical signals on the terrestrial magnetic data were performed. The Exploration range contains numerous peaks in the southwest and other summits in the northeast, according to the research findings. These anomalies are consistent with igneous rock units (rhyolites) and faults. Consequently, it may be stated that one of the most rapid and least costly methods of detecting iron anomalies is terrestrial magnetism, which produces satisfactory results.

**Keywords:** Chak-Chak, iron, magnetic field, mineralization, terrestrial magnetism.

### **INTRODUCTION**

In recent years, many methods have been used to explore for mineral deposits, by using geochemistry, geophysics and remote sensing (Shirazi et al., 2018a & 2018c; Shirazy et al., 2021b, 2021c & 2021e). One of the geophysical methods in the exploration of deposits is the magnetometric method (Khayer et al., 2021; Shirazy et al., 2021a & 2021d), and it has been used for many years to explore for economic minerals such as iron and oil. Study of the Earth's magnetic field has been carried out since William Gilbert (1544-1603). However, Johannes Diderik van der Waals (1837-

1923) was the first to determine the location of magnetic deposits with the help of changes in the Earth's magnetic field (Chelotti et al., 2009). Along with growing demand in the metals market and the increasing use of fossil fuels, geophysical exploration methods, including magnetometry, became very important. The reason for the importance of the magnetometric method is that the magnetometer can test a wide area at a lower cost (Shirazy et al., 2020a, 2020b & 2021d; Tian et al., 2010;).

The magnetometric method is used to identify subsurface properties of the Earth from the point

\* Correspondence / Yazışma: adel.shirazy@aut.ac.ir

of view of magnetic field anomalies (Nabighian et al., 2005; Shirazy et al., 2018a, 2018b & 2022). These anomalies originate from the magnetic properties of subsurface rock units. Although only a limited number of rock forms have magnetic properties, this limited number of minerals with magnetic properties has led to significant magnetic anomalies. Accordingly, magnetometry has many applications (Khosravi et al., 2022; Liu et al., 2017). This method has been used on a small scale for engineering and archaeological studies to identify metal objects, and on a large scale for geological studies. Magnetic measurements can be applied to the air, land and sea and have been used in various fields (Edelstein, 2007; Khayer et al., 2021).

In general, materials are divided into three categories regarding their presence in the magnetic field (Spaldin, 2010): diamagnetic, paramagnetic and ferromagnetic. Diamagnetic materials have negative self-adhesion. Paramagnetic materials have weak positive self-acceptance, and ferromagnetic materials have solid and positive self-acceptance. Iron oxides, which are ferromagnetic minerals, are the main target of magnetometric discoveries. Minerals with high magnetic properties affect the Earth's magnetic field. Protons or caesium vapours are some of the devices used to measure the Earth's magnetic field with nanotesla accuracy. The Earth's magnetic field is the sum of regional fields and local anomalies. Induction magnetism is obtained in the presence of a magnetic field according to Equation (1) (Currenti et al., 2007):

$$J=KH \quad (1)$$

In this sense, H refers to the magnetic field in terms of tesla, K represents the magnetic resistivity, a unitless parameter, and J is the induction magnet in ampere meters (Shirazi et al., 2018a & 2018b; Shirazy et al., 2021b & 2021c).

The leading cause of magnetic anomalies in rocks are dykes, faults, folds, sills, metamorphic

fundamental rocks and magnetite deposit masses. In general, all magnetic minerals lose their magnetic properties at roughly 600 degrees Celsius (Edelstein, 2007; Shirazy et al., 2020a & 2020b). About 90% of iron deposits comes from sedimentary deposit types, and the 10% remaining come from mafic, ultramafic and skarn igneous deposits. In igneous rocks, the ratio of hematite to magnetite is higher than other rocks and therefore, it is easily recognized by the terrestrial magnetometry method (Dobrin & Savit, 1988; Doodran et al., 2020; Khakmardan et al., 2020).

In the exploration of mineral deposits, magnetometry is often used as a direct measurement. When magnetic measurements are made directly for identifying magnetic minerals, non-magnetic minerals are also detected (Abubakar et al., 2015; Shirazy et al., 2021a, 2021b & 2021c). With the help of advanced tools, it is possible to measure very little of the magnetic field's magnitude in sedimentary rocks near the Earth's surface. The terrestrial magnetometric method is a type of magnetometric method. The terrestrial magnetometry is performed in small pre-defined areas. The distance between the measuring points in this method is between 10 and 100 meters. However, in areas with strong magnetic gradients, this distance is reduced. In order to apply the terrestrial magnetometer method, proximity to railways, cars, roads, fences, and anything else that might affect the local magnetic field should be avoided. Fluxgate and proton magnetometers are among the devices used to measure the Earth's magnetic field. Because advanced magnetometers do not require precise alignment, so a terrestrial magnetometric operation is always much faster than the gravimetry method (Minshull, 2003; Shirazi et al., 2018b, & 2018c; Shirazy et al., 2019 & 2021d).

Due to the importance of the magnetometric method in exploring for iron ore, the terrestrial magnetometry method was used to determine areas with iron anomalies in the area of Chak-

Chak Exploration area in Yazd province in this study. The study area is located to the north of Chak-Chak Exploration area and the southwest of Toot/Tut village. Access to the area consists of a 67 km asphalt road from Ardakan city to Toot village and then 8 km of dirt road between this village and the study area. The coordinates are between 250200 to 252400 m longitude and 3595300 to 3597000 m latitude, and the average height is 1730 meters in the UTM system. Figure 1 shows the roadmap for access to the study area. This study aims to find anomalous points and investigate the mineralization potential in this area using terrestrial magnetometric data. It is projected that the search for iron anomalies will continue throughout the exploratory stages.

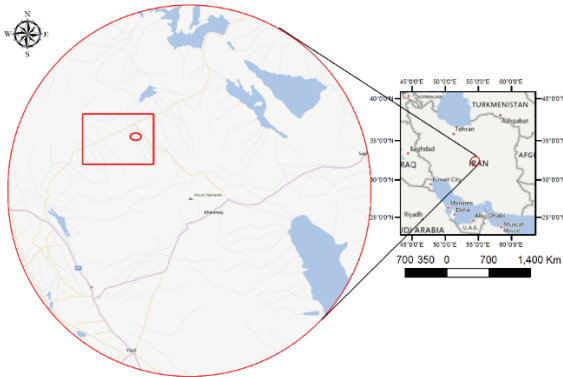


Figure 1. Geo-location of study area on Iran map.

### GEOLOGY of the EXPLORATORY AREA

The study area is located in Yazd province, Iran, around Chak-Chak Exploration area. Chak-Chak Exploration area is located 47 km east of Ardakan. The study area further covers new alluviums, altered rhyolites, weathered feldspars, and a few diabase outcrops. These rocks are mainly found with oxidative impurities. Diabase extrusions with iron oxide impurities and subvolcanic rocks such as quartz monzonite can be seen in some parts of the area. Andesitic tuffs and weathered

rhyolites cover the vast area. Silica veins with low to medium thickness are present in the western regions of the area. The texture of the stones in the area is microporphyry. In the region's rocks, there are metallic minerals such as pyrite, chalcopyrite, hematite, iron hydroxide and titanium oxide (Alahgholi et al., 2018; Company, 2018; Khakmardan et al., 2018; Shirazi et al., 2018d). A geological map of the exploratory area is shown in Figure 2.

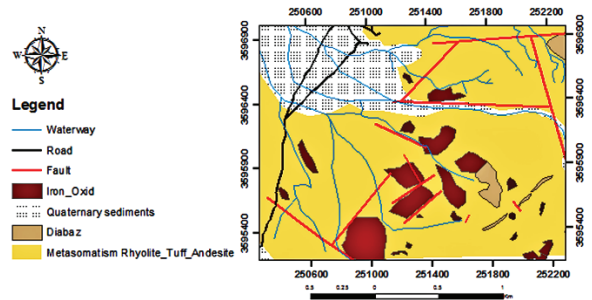


Figure 2. Geological map of study area.

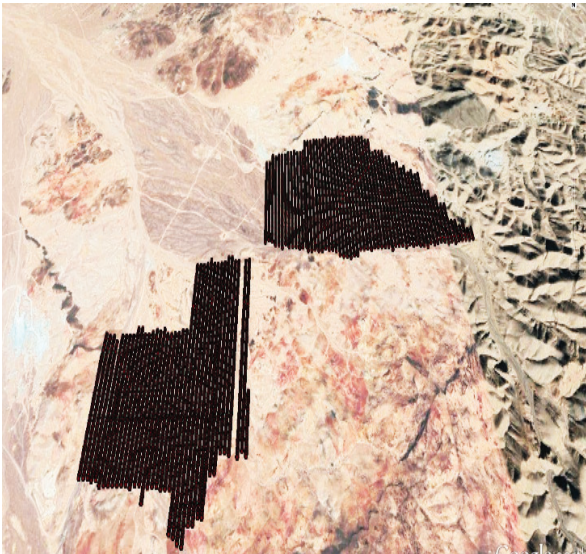
The study regions of the Exploration area is located in the Ziroo Formation (Ghorbani, 2013b). Lithologically, this formation has pyroclastic, volcanic and volcanoclastic rocks. Based on stratigraphic observations, the age of rock units in this range has been estimated as Lower Precambrian. The study area is composed of metamorphic volcanic and volcanoclastic rocks to the extent of rhyolite and rhyolite tuff. Metamorphic black clastic rocks are also observed in the study area. Alluvial sediments in the form of basins and old alluvial fans cover some parts of the area. The age of alluvial sediments is within the Quaternary era (Company, 2016; Ghorbani, 2013a; Shirazy et al., 2018a, 2018b & 2021b).

### NETWORK GRID DESIGN

According to the tendency of geological structures in the area and previous studies, as well as some



excavated trenches and the employer’s opinion, the measurement grid network was designed with a north-south profile, as can be seen in Figure 3. In this area, 6222 points in a network with dimensions of 20 by 10 meters were measured by Yaghoot Zafar Yazd Cooperative Company during two stages in the author’s presence. A distance of 20 meters between pick-up profiles and 10 meters between pick-up points was considered appropriate for each profile. The reason for choosing these dimensions for the selected grids in the networks was the presence of small masses of iron under the sediments, which were searched using this network with maximum sensitivity.

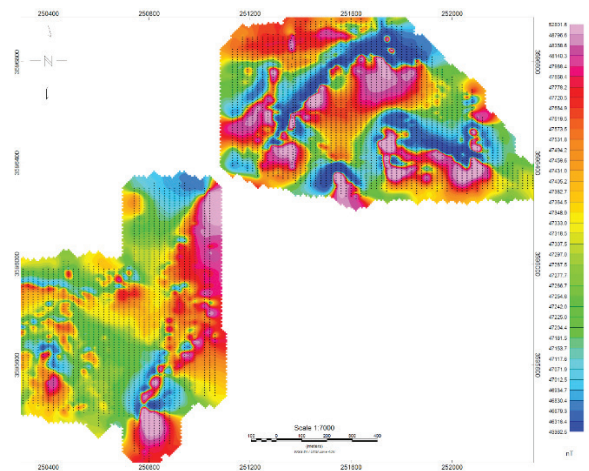


**Figure 3.** Pick-up designed grid for magnetometric data in study area.

This project’s magnetic data measurement was conducted with a Proton Precession magnetometer GSM-19T, the latest model of the company GEM in Canada (Bao-xian, 2013). Unlike a fluxgate magnetometer, these types of magnetometers can only measure the magnitude of the Earth’s total magnetic field. The cylindrical tank, which is filled with a liquid saturated with hydrogen atoms and wrapped around a coil, forms the sensitive

part of the device. With its many advantages and the use of proton precision technology, this device has made many advances in Earth sciences. This device has high precision selectivity in magnetic anomaly separation with a magnetic resolution of 0.01 nanotesla.

Figure 4 shows the measurement network grid in the Exploration area and a magnetic map of the entire range. Data measurement was performed on two different ranges. According to Figure 4, the minimum magnetic field strength in one range is 43362 nanotesla, and the maximum magnetic field strength is 52801 nanotesla. The maximum change in the magnetic field of the other range is 9439 nanotesla.



**Figure 4.** View of measurement grid in range with magnetometric map of entire range.

## DATA PREPROCESSING

Data processing was performed using Geosoft Oasis montaj 6.4.2 software. The magnetic value at the base station must be measured before each reading to correct the magnetic data. In the next step, the magnetometer is placed on the base point, and another device does the daily reading of the stations. After making the measurements, the data is discharged from the device and forms databases

in the software. This data is used to correct and process the data.

The first step in preprocessing terrestrial magnetometric data is the daily correction. Daily changes have a periodicity and intermittently affect phenomena, such as tides. The maximum range of daily change effects is 50 nanotesla per day. These changes can be eliminated in several ways. The second preprocessing operation is latitude and longitude correction. One of the critical points in magnetometric data is that latitude and longitude are not very effective in the measurement of data. The vertical gradient of the total field varies from an approximate maximum of 0.1 gamma per foot at the Earth's poles to a minimum of 0.005 gamma per foot at the magnetic equator. The variation of the magnetic field between the equator and the poles is more than ten gamma. Therefore, there is no need for magnetic corrections related to latitude.

On the other hand, due to the location of Iran, the magnetic changes along the geographical longitude is negligible, and therefore, there is no need to make this correction. Height correction is the third preprocessing step on the terrestrial magnetometric data. Topography can have a significant effect on terrestrial magnetometric data. This correction in the exploration of ferromagnetic minerals, where the field changes are substantial, is not required, but should be considered in cases where small amounts of magnetic field influence decisions. In this project, the amount of the topographic effect on the magnetic data was insignificant, so this correction was not performed. Finally, the effect of the Earth's magnetic field must be normalized. To prepare magnetic field anomaly maps, one must first calculate the effects of the magnetic field on the Earth's core by considering the international geomagnetic reference field (IGRF) values and subtracting them from the data. The result of this operation is the residual values

related to the anomalies in the Exploration area. Then, in order to prepare the anomaly map, the total magnetic field data of the range is networked.

The entire magnetic field map of the study area after daily correction is presented in Figure 5. In order to remove the Earth's core magnetic field effect, the IGRF effect was calculated and reduced in the exploratory range where the magnetometric data was collected. The IGRF effect map and the entire magnetic field map of the study area, after removing the IGRF effect, are presented respectively in Figures 6 and 7. According to Figure 7, the area has several maxima in the southwest (anomalies A, B, C and D) and other peaks in the northeast (anomalies E, F, G, H, and I). These anomalies correspond to the igneous rock units (rhyolites) and faults of the Exploration area. A dipole is located in the central part of the range, which is unreliable due to incomplete data, and must be processed and interpreted after measurement of the surrounding data (anomaly D).

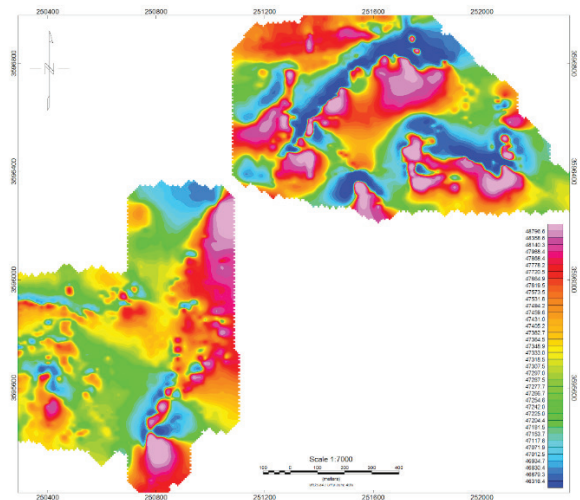
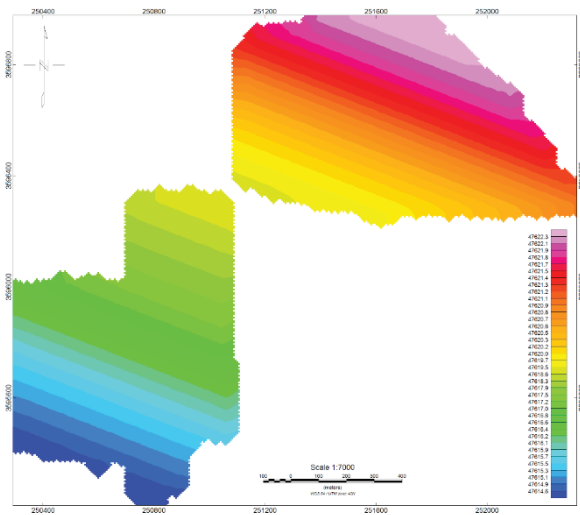
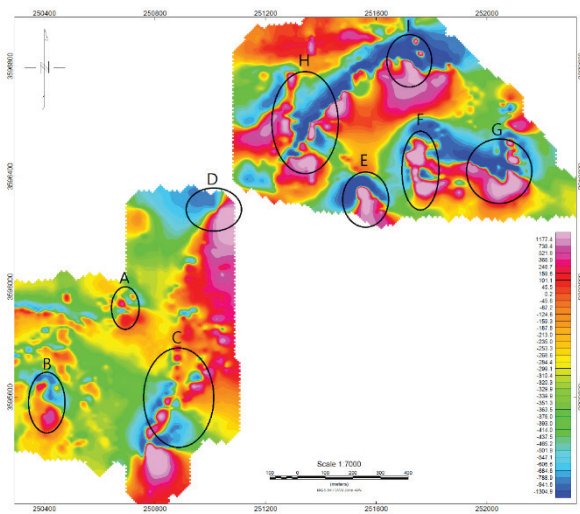


Figure 5. Magnetometric field map of whole range (TMI).



**Figure 6.** Map of magnetic field of whole Earth (IGRF Effect) in the range.



**Figure 7.** Total magnetic field map of range after removing IGRF effect.

### Terrestrial Magnetometric Data Processing

After preparing the total magnetic field map of the area, and after removing the IGRF effect, it is necessary to perform the processing of this data. The first step in processing data is to apply a polarization filter. The polarisation filter or

converter transmits the magnetic field from a magnetic latitude at which the Earth's magnetic field vector is inclined to the magnetic pole, where the magnetic field is vertical. As a result of applying this filter, the asymmetric shape of the magnetic anomaly is converted to a symmetrical shape concerning the source that creates it, causing the anomaly to be correctly located on the deposit mass and determining its slope. The map obtained by applying the polarization filter on the entire magnetic field map is presented in Figure 8 after removing the IGRF effect. According to the map, besides the maxima and minima that can be seen on the map, it can be said that anomalies A, B and C have a slope to the north, anomaly D to the northwest, and anomalies E, F, G, H and I have a slope to the northeast.

The nature of magnetic anomalies is bipolar and the origin of the anomaly is located approximately in the middle of these two poles. This phenomenon is one of the factors complicating the interpretation of magnetic maps. To solve this problem, a reduction to the pole filter (RTP) is provided. At the North Pole, the magnetic vector enters the Earth vertically, which causes the positive pole to grow and be located just above its originator, and the negative pole to decompose and move to anomalous margins. Due to the presence of the magnetic dipole, the anomalous position with the maximum values cannot indicate the position of the anomalous mass on the Earth's surface. For this purpose, the residual map was reduced to the pole, taking into account the deviation angle of 2.9 degrees and the inclination angle of 50 degrees for this area.

Then, the surface trend filter was used. This filter is used to obtain the remaining anomaly. This method uses the fitting of polynomials with different degrees on the measured data. The principle of this filter is based on a surface that has the best compliance with the measured values. This level is considered as regional effects. The remaining magnetic anomalies are obtained after

subtracting these values from the observation data. This filter was applied to the polarisation magnetic field map. The residual anomaly maps resulting from the trends (levels) in grades 1 to 3 are shown in Figures 9, 10 and 11.

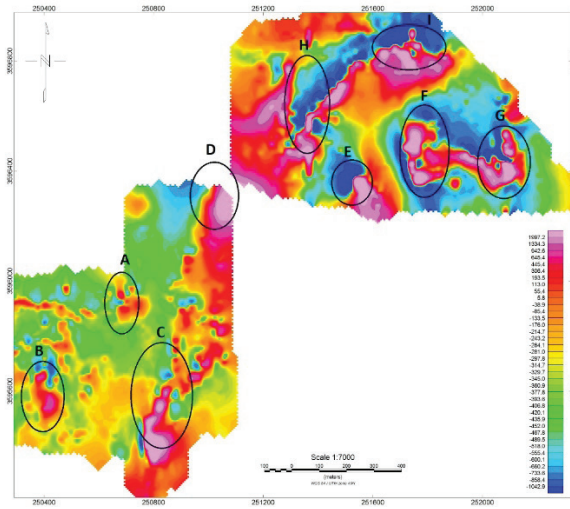


Figure 8. Total magnetic field map after applying polarization filter.

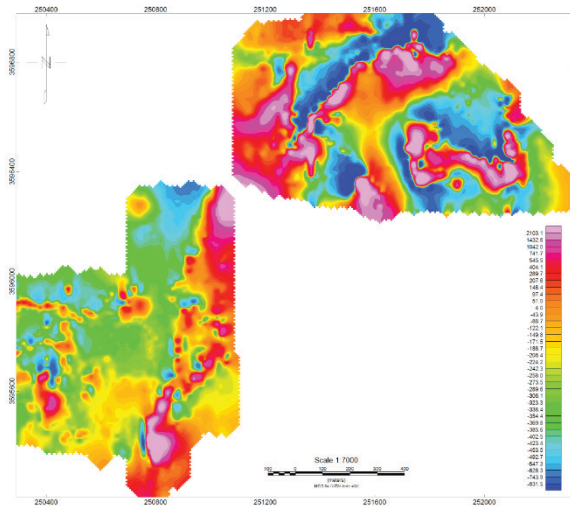


Figure 9. Residual anomaly maps resulting from elimination of first-order surface trend.

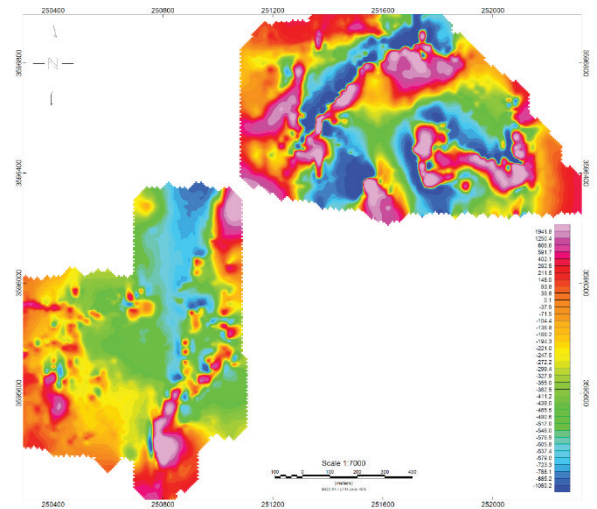


Figure 10. Remaining anomaly maps resulting from elimination of quadratic surface trend.

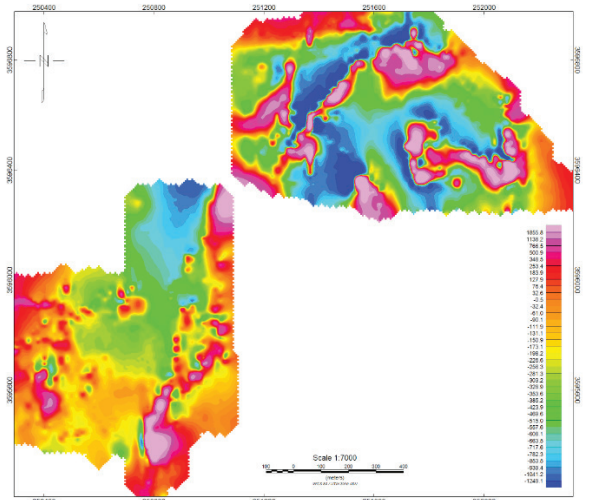


Figure 11. Remaining anomaly maps resulting from elimination of third-degree surface trend.

According to the resulting maps, which are not very different and only the expansion of the minima and maxima is slightly different, the area anomalies can be adapted to the map resulting from eliminating the first-order surface trend; because it is more consistent with the rest of the results. Therefore, this map can be used to interpret and diagnose the remaining anomalies.

The first-degree surface trend map is in full compliance with geological formations such as lithology units and faults. Therefore, the first-degree surface trend was used in the interpretation and diagnosis of residual anomalies. Applying the upward continuation filter is the next step in the data processing. Separating local anomalies from regional ones is one of the essential tasks in processing and analyzing magnetic data. The upward continuation process is a mathematical transformation of the measured data that attenuates anomalies with short wavelengths. In other words, the upward continuation filter weakens the effect of superficial anomalies. Therefore, it can be used as a suitable tool to separate short-wavelength local anomalies from long-wavelength regional anomalies. In the upward continued filtration method, it is essential to choose the optimal height of the field; because a height less than the optimal value causes the remaining effect of local anomalies in the data, and in contrast, a height higher than the optimal value causes a double attenuation effect of regional anomalies in the data. Upward continued filtration is applied to the data of the Kahrang range for altitudes from zero to 200 meters, with a step of 10 meters on the polarisation map of the Kahrang range. Some upward continued filtration maps are shown in

Figures 12 and 13. According to these maps, local anomalies in this area are highly magnetic in the centre of the range; they also show a low value in the northeast and southwest of the area and can be considered local anomalies.

According to the above figures, there are not many changes in the exploration area of the northeastern region, and when the change in height is more than 90 meters, the anomalous effect of the areas becomes more evident.

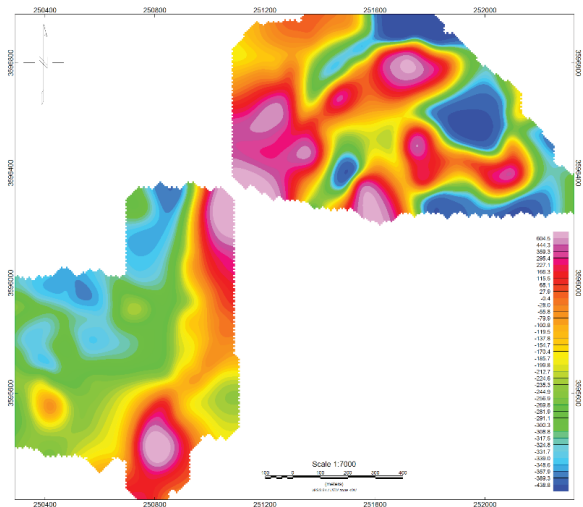


Figure 12. Upward extension, 50 m.

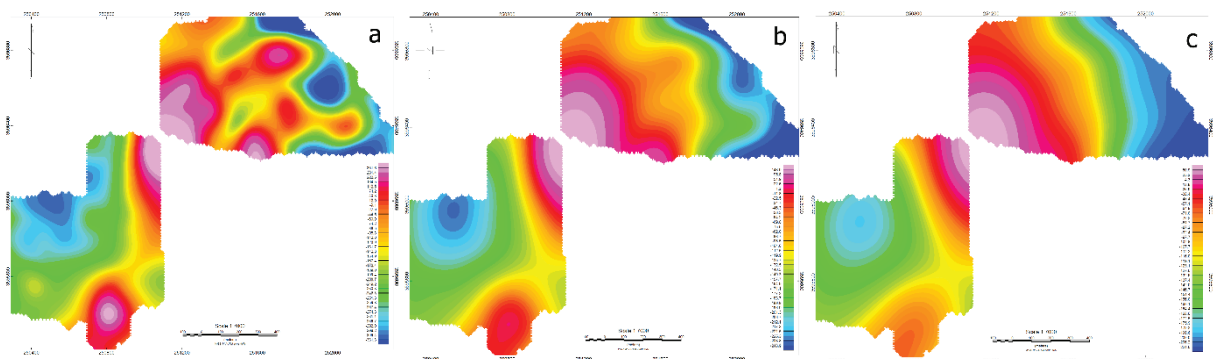
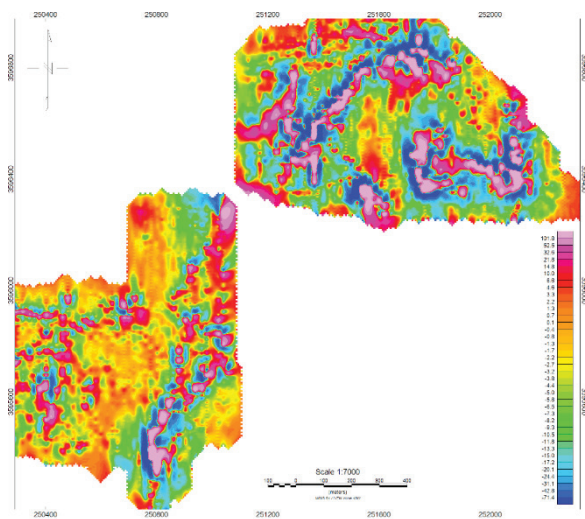


Figure 13. Upward extension of a) 90 meters, b) 200 meters, c) 300 meters.

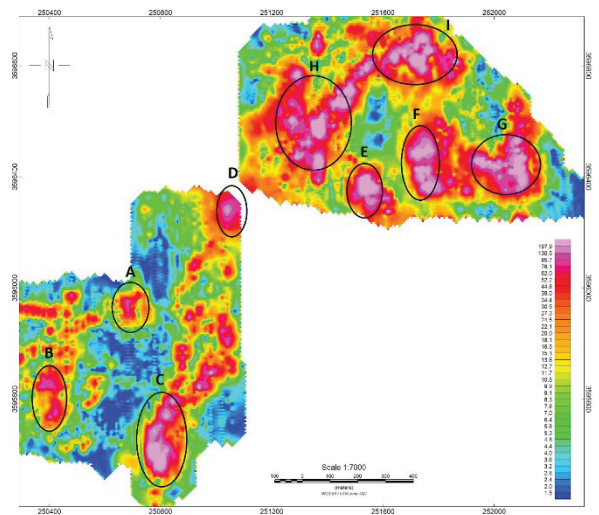
Then, a vertical derivative filter was applied. The vertical derivative filter is one of the essential tools in determining the edges of anomalies and the boundaries of geological zones. This filter was also applied to the polarisation magnetic field map. Vertical derivative maps of the first and second-order were also prepared. The second-order derivative was omitted due to high noise. Figure 14 shows the vertical derivative of first-order. As seen in the first-order vertical derivative map, surface anomalies and noise levels are low, and the range of anomalies is somewhat well defined and their boundaries well defined. However, in the second-order vertical derivative map, noise and turbulence have increased, and it is impossible to separate the anomalies.



**Figure 14.** Map of applying first-order vertical derivative filter on range data.

In the last step, an analytical signal filter was applied to the data. This filter is entirely independent of the rocks' magnetization direction and the Earth's magnetic field. As a result, each object with the same geometrical properties has the same analytical signal. The peak of this filter is usually located directly above the edge of wide objects and above the centre of narrow objects. As a result, the geometry of magnetic

masses can be mainly understood with this filter. This filter is applied to the polarisation magnetic field map. The analytical signal map is shown in Figure 15. As can be seen, the maximum values on this map are seen in the northeast, southwest and centre. By comparing the analytical signal map with the polarisation filter map, it appears that the anomalies F, G, H, and I are continuous in the northeast.



**Figure 15.** Map resulting from application of analytical signal filters on regional data.

Based on the obtained shapes, it can be said that the processing performed on the terrestrial magnetometric data by the polarisation filters method, surface trend filter, upward continuation, vertical derivative, and analytical signal method led to the discovery of anomalies A to I in the two desired Exploration area. Due to the homogeneous dipoles in the remaining magnetic map, iron mineralization probability (possibility) in this range is high. From the upward continuation derivative on the magnetic map, the remaining base anomalies were approximately identified.

## CONCLUSION

This section summarises the results of the conducted research in the study area:

After removing the effect of IGRF in the terrestrial magnetometric data, it was found that the Exploration area has several peaks in the southwestern and northeastern regions of the range. These anomalies correspond to igneous rock units (rhyolites) and faults in the area.

Applying a polarization filter on the terrestrial magnetometric data determined that anomalies A, B and C slope in the northern direction and anomaly D in the northwest direction. The anomalies E, F, G and H, and H and I, slope to the northeast.

Applying an analytical signal filter on the terrestrial magnetometric data determined that the anomalies F, G, H, and I are continuous in the northeast.

Applying the upward continuation filter on the terrestrial magnetometric data determined that the anomalies are concentrated in the centre part of the area. In the northeast and southwest part, the area of anomalies is local.


According to the geological map of the area and the anomalies identified in the reduction to the pole (RTP) map, a close relationship between mineralization and faults can be found in the northeast of the area. Also, the relationship between lithology units and the occurrence of magnetite vein samples on the surface has been interpreted, and anomalies identified in the southwest of the area.

## ORCID

Ali Akbar Aali  <https://orcid.org/0000-0001-7420-5525>

Aref Shirazi  <https://orcid.org/0000-0001-7623-301X>

Adel Shirazy  <https://orcid.org/0000-0001-7756-3205>

Shayan Khakmardan  <https://orcid.org/0000-0003-4359-9538>

Abbas Maghsoudi  <https://orcid.org/0000-0003-1683-9209>

Ardeshir Hezarkhani  <https://orcid.org/0000-0002-1149-3440>

## REFERENCES

- Abubakar, R., Muxworthy, A., Sephton, M., Southern, P., Watson, J., Fraser, A., & Almeida, T. (2015). Formation of magnetic minerals at hydrocarbon-generation conditions. *Marine and Petroleum Geology*, 68, 509-519.
- Alahgholi, S., Shirazy, A., & Shirazi, A. (2018). Geostatistical studies and anomalous elements detection, Bardaskan Area, Iran. *Open Journal of Geology*, 8(7), 697-710.
- Bao-xian, Y. (2013). Data sharing between different proton magnetometer [J]. *Inner Mongolia Coal Economy*, 5.
- Chelotti, L., Acosta, N., & Foster, M. (2009). Cátedra de Geofísica Aplicada. *Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina*.
- Company, K. (2016). *Gravimetric studies and combining the results with magnetometric studies of the Hoz Vali iron ore range*.
- Company, Y. Z. Y. M. C. (2018). *Kahrang Iron Ore Mine Exploration Report*.
- Currenti, G., Napoli, R., Carbone, D., Del Negro, C., & Ganci, G. (2007). Inverse modeling in geophysical applications. In *Applied And Industrial Mathematics In Italy II* (pp. 279-290). World Scientific.
- Dobrin, M. B., & Savit, C. (1988). *Introduction to Geophysical Prospecting*. McGraw-Hill Book Co. New York.
- Doodran, R. J., Khakmardan, S., Shirazi, A., & Shirazy, A. (2020). Minimalization of Ash from Iranian Gilsonite by Froth Flotation. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 9(1), 1-13.
- Edelstein, A. (2007). Advances in magnetometry. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 19(16), 165217.
- Ghorbani, M. (2013a). *Economic geology of Iran* (Vol. 581). Springer.
- Ghorbani, M. (2013b). A summary of geology of Iran. In *The economic geology of Iran* (pp. 45-64). Springer.
- Khakmardan, S., Doodran, R. J., Shirazy, A., Shirazi, A., & Mozaffari, E. (2020). Evaluation of Chromite Recovery from Shaking Table Tailings by Magnetic Separation Method. *Open Journal of Geology*, 10(12), 1153-1163.
- Khakmardan, S., Shirazi, A., Shirazy, A., & Hosseingholi, H. (2018). Copper oxide ore leaching ability and cementation behavior, mesgaran deposit in Iran. *Open Journal of Geology*, 8(09), 841.

- Khayer, K., Shirazy, A., Shirazi, A., Ansari, A., Nazerian, H., & Hezarkhani, A. (2021). Determination of Archie's Tortuosity Factor from Stoneley Waves in Carbonate Reservoirs. *International Journal of Science and Engineering Applications (IJSEA)*, 10, 107-110.
- Khosravi, V., Shirazi, A., Shirazy, A., Hezarkhani, A., & Pour, A. B. (2022). Hybrid Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (AHP) Model for Porphyry Copper Prospecting in Simorgh Area, Eastern Lut Block of Iran. *Mining*, 2(1), 1-12.
- Liu, H., Dong, H., Liu, Z., Ge, J., Bai, B., & Zhang, C. (2017). Construction of an Overhauser magnetic gradiometer and the applications in geomagnetic observation and ferromagnetic target localization. *Journal of Instrumentation*, 12(10), T10008.
- Minshull, T. (2003). Kearey, P., Brooks, M. & Hill, I. 2002. An Introduction to Geophysical Exploration, ix+ 262 pp. Oxford: Blackwell Science. *Geological Magazine*, 140(3), 366-366.
- Nabighian, M. N., Grauch, V., Hansen, R., LaFehr, T., Li, Y., Peirce, J. W., Phillips, J. D., & Ruder, M. (2005). The historical development of the magnetic method in exploration. *Geophysics*, 70(6), 33ND-61ND.
- Shirazi, A., Hezarkhani, A., Shirazy, A., & Shahrood, I. (2018a). Exploration Geochemistry Data-Application for Cu Anomaly Separation Based On Classical and Modern Statistical Methods in South Khorasan, Iran. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 7, 39-44.
- Shirazi, A., Hezarkhani, A., Shirazy, A., & Shahrood, I. (2018b). Remote sensing studies for mapping of iron oxide regions, South of Kerman, Iran. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 7(4), 45-51.
- Shirazi, A., Shirazy, A., & Karami, J. (2018c). Remote sensing to identify copper alterations and promising regions, Sarbishe, South Khorasan, Iran. *International Journal of Geology and Earth Sciences*, 4(2), 36-52.
- Shirazi, A., Shirazy, A., Saki, S., & Hezarkhani, A. (2018d). Geostatistics studies and geochemical modeling based on core data, sheytoor iron deposit, Iran. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 6, 124-133.
- Shirazy, A., Shirazi, A., Heidarlaki, S., & Ziiai, M. (2018a). Exploratory Remote Sensing Studies to Determine the Mineralization Zones around the Zarshuran Gold Mine. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 7(9), 274-279.
- Shirazy, A., Shirazi, A., & Hezarkhani, A. (2018b). Predicting gold grade in Tarq 1: 100000 geochemical map using the behavior of gold, Arsenic and Antimony by K-means method. *Journal of Mineral Resources Engineering*, 2(4), 11-23.
- Shirazy, A., Shirazi, A., Ferdossi, M. H., & Ziiai, M. (2019). Geochemical and geostatistical studies for estimating gold grade in tarq prospect area by k-means clustering method. *Open Journal of Geology*, 9(6), 306-326.
- Shirazy, A., Ziiai, M., & Hezarkhani, A. (2020a). Geochemical Behavior Investigation Based on K-means and Artificial Neural Network Prediction for Copper, in Kivi region, Ardabil province, Iran. *Iranian Journal of Mining Engineering*, 14(45), 96-112.
- Shirazy, A., Ziiai, M., Hezarkhani, A., & Timkin, T. (2020b). Geostatistical and remote sensing studies to identify high metallogenic potential regions in the Kivi area of Iran. *Minerals*, 10(10), 869.
- Shirazy, A., Hezarkhani, A., Timkin, T., & Shirazi, A. (2021a). Investigation of Magneto-/Radio-Metric Behavior in Order to Identify an Estimator Model Using K-Means Clustering and Artificial Neural Network (ANN) (Iron Ore Deposit, Yazd, Iran). *Minerals*, 11(12), 1304.
- Shirazy, A., Shirazi, A., & Nazerian, H. (2021b). Application of Remote Sensing in Earth Sciences—A Review. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 10, 45-51.
- Shirazy, A., Shirazi, A., Nazerian, H., & Hezarkhani, A. (2021c). Investigation of Geochemical Sections in Exploratory Boreholes of Mesgaran Copper Deposit in Iran. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, 9(8), 2364-2368.
- Shirazy, A., Shirazi, A., Nazerian, H., Khayer, K., & Hezarkhani, A. (2021d). Geophysical study: Estimation of deposit depth using gravimetric data and Euler method (Jalalabad iron mine, Kerman



- province of Iran). *Open Journal of Geology*, 11(8), 340-355.
- Shirazy, A., Ziiai, M., & Hezarkhani, A. (2021e). Geochemical behavior investigation based on k-means and artificial neural network prediction for titanium and zinc, Kivi region, Iran. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 332(3), 113-125.
- Shirazy, A., Hezarkhani, A. , Shirazi, A. , Khakmardan, S. & Rooki, R. (2022). K-Means Clustering and General Regression Neural Network Methods for Copper Mineralization probability in Chahar-Farsakh, Iran. *Geological Bulletin of Turkey*, 65(1), 79-92. <https://doi.org/10.25288/tjb.1010636>
- Spaldin, N. A. (2010). *Magnetic materials: fundamentals and applications*. Cambridge University press.
- Tian, W.-f., Hao, J.-J., Yan, J.-y., Li, C.-z., & Zhao, X.-w. (2010). Application of synthetic geophysical methods to deep exploration of Hanxing-type iron deposit. *Progress in Geophysics*, 25(4), 1442-1452.



## **Göl Çökellerinde Polen Analizine Dayalı Paleoklim Rökonstriksiyonu İçin Yerbilimci Bir Yaklaşım; Sorunlar ve Çözümler**

*A Geoscientist Approach to Palaeoclimate Reconstruction Based on Pollen Analysis of Lake Deposits: Problems and Solutions*

**Güldem Kamar**

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080, Tuşba/Van/Türkiye*

• Geliş/Received: 03.02.2022 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 22.03.2022 • Kabul/Accepted: 23.03.2022  
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 30.03.2022 • Baskı/Printed: 15.04.2022

*Araştırma Makalesi/Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Göller, polen analizlerinin ve paleoklim araştırmalarının ideal olarak yapılabilirdiği, organik malzeme bakımından zengin çökeller içermektedir. Birçok organizmaya yaşam alanı sunan göller, polenlerin en iyi korunabildiği ortamlardır ve göl çökelleri, iklimsel ve ortamsal değişimlerin korunduğu bir arşiv özelliği sunmaktadır. Polen analizlerine dayalı palaeoklim rökonstrüksiyonu yapmak için, çalışma alanının jeolojik, biyolojik ve arkeolojik açıdan detaylı bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, polen analizi üzerinden paleoklim rökonstriksiyonu yapmak isteyen araştırmacılara metodolojik bir perspektif sunmaktır. Çalışma kapsamında önerilen yöntem ile paleoklim çalışmalarında, bölgenin jeolojik yapısı, volkanik aktivitesi, arkeolojik geçmişi ve göl tabanının yapısal unsurlarının polen diyagramlarındaki değişimlere olan etkileri ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, bugüne kadar, birbirine yakın mesafeli göllerde (Doğu Anadolu platosu yüksek rakım gölleri) ve Van Gölü'nün taraçalarında yapılan çalışmalardan elde edilen veriler bu farklılığın ortaya konması açısından volkanik aktivite, insan etkisi, çökel hızı ve göl tabanının yapısal özellikleri başlıkları altında irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, paleoklim rökonstriksiyonu yapmadan önce, öncelikli olarak; istif paketlerinin tanımlanması, yerel bitkisel değişimler ve güncel flora, göl tabanının yapısal unsurları, insan etkisi ve volkanizma ayrı başlıklar halinde araştırılmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğu Anadolu, İnsan etkisi, Paleoklim rökonstriksiyonu, Polen analizi, Van Gölü.

**Abstract:** Lakes contain sediments rich in organic material where pollen analysis and palaeoclimate studies can ideally be carried out. Lakes provide a habitat for many organisms, where the pollen grains are best preserved, and lake sediments also offer an archive where climatic and environmental changes are preserved. In order to make a palaeoclimatic reconstruction based on pollen analysis, the study area needs to be investigated in detail from a geological, biological, and archaeological point of view. This study aims to present a methodological perspective to researchers who want to conduct paleoclimate reconstruction through pollen analysis. The geological structure of the region, its volcanic activity, archaeological history and the effects of the structural elements of the lake floor on the changes in the pollen diagrams are described in detail by the proposed method of this study.

For this purpose, the data from studies carried out in the lakes at a close distance to each other (Eastern Anatolian plateau high altitude lakes) and the terrace deposits of Lake Van were examined under the headings of volcanic activity, human impact, sedimentation ratio and structural characteristics of the lake floor to reveal the differences. According to the results, before performing a paleoclimate reconstruction, identification of the deposit packages, local vegetative changes and current flora, the structural elements of the lake floor, human impact and volcanism should be investigated first of all under separate headings.

**Keywords:** Eastern Anatolia, Human impact, Lake Van, Palaeoclimate reconstruction, Pollen analysis.

## GİRİŞ

Polen analizine dayalı paleoiklim rökonstrüksiyonu, dünyada çok yaygın olarak yapılmakta, ülkemizde de özellikle son yıllarda artarak yoğunlaşmıştır (van Zeist ve Woldring, 1978; Wick vd., 2003; Litt vd., 2009, 2014; Kaplan, 2010; Ülgen vd., 2012; Karlıoğlu Kılıç vd., 2018; Kamar, 2018a; Kamar, 2018b; Biltekin, 2018; Biltekin vd., 2018; Karlıoğlu Kılıç vd., 2018; Karlıoğlu Kılıç ve Ersin, 2019; Ocakoğlu ve Akkiraz, 2019; Biltekin vd., 2021; Kamar, 2021; Akkiraz vd., 2022). Holosen’de oluşan çökeller üzerinde de araştırma imkanı sağlaması ile birlikte, göl çökelleri Kuvaterner iklim değişimlerinin belirlenebilmesi için önemli bir iklimsel arşiv niteliğindedir. İzotop analizlerine göre daha düşük maliyetli olması nedeniyle, paleoiklim çalışmalarında tercih edilen ilk parametre olması bakımından da önemlidir. Van Gölü’nün derin karot örnekleri (Litt vd., 2014; Pickarski vd., 2015) ve Urmia (İran) Gölü’nden (Djamali vd., 2008) elde edilen polen diyagramları sonuçlarına göre, bölge birçok buzul ve buzul-arası dönem kayıtlarını göl çökellerinde saklamaktadır. Kuvaterner buzul ve buzul-arası dönemleri, AP (arboreal (odunsu polen) ve NAP (non-arboreal (odunsu olmayan polen) polen yüzdelerinin çevrimsel olarak artış ve azalışları ile karakterize edilmektedir (Litt vd., 2014). Van Gölü polen diyagramı sonuçları, duraylı oksijen izotopları ile desteklenmiş ve belli AP/NAP değişimleri ile denizel izotop eğrileri değişimlerinin uyumlu olduğu belirtilmiştir (Litt vd., 2014).

Bu çalışmanın amacı, polen analizleri ile paleoiklim rökonstrüksiyonu yapmak için izlenecek yol haritasının çizilmesi, hem jeolog ve özellikle hem de jeolog olmayan ancak polen analizi üzerinden paleoiklim rökonstrüksiyonlarını yorumlamak isteyen araştırmacılara, yöntem bakımından metodolojik bir yaklaşım sunmaktır. Bu yaklaşımla, volkanizma, sedimantasyon ve stratigrafinin, polen diyagramlarını doğru yorumlayabilmek için önemine dikkat

çekmektir. Bu kapsamda, küresel ölçekli iklim değişikliklerinin kayıtlarını, göl çökellerinde ararken, bölgenin genel jeolojisi, volkanizma, bitki örtüsündeki yerel değişimler, insan etkisi ve göl tabanlarındaki yapısal unsurların (fay, bindirme vb. gibi) polen diyagramlarındaki değişimlerle beraber nasıl yorumlanacağı ve iklimsel yorum yapmadan önce belirlenmesi ve dikkat edilmesi gerekli konu başlıklarının ortaya konmasıdır.

## ÇALIŞMA ALANI

Bu bölümde çalışma alanının jeolojik evrimi, bitki örtüsü ve iklim bilgisi verilmiştir. Yöntemde belirlenen konu başlıkları, volkanlarla çevrili bir arazide bulunan yüksek rakım göllerinden (Şekil 1A) bugüne kadar elde edilen veriler ışığında geliştirilmiştir. Bu nedenle bu çıkarımların yapılarak yöntemsal yaklaşımın geliştirildiği alan tüm özellikleriyle tanıtılmıştır.

Doğu Anadolu Platosu, Anadolu ve Arap kıtalarının Bitlis Kenet Kuşağı boyunca çarpışması ile orta Miyosen’de, Türkiye’de başlayan Neotektonik dönem sonrasında (Şengör ve Kidd 1979) yükselerek oluşmuştur. Yaklaşık 12-13 milyon yıl (Serravaliyen) önce Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışması sonucunda deniz seviyesinden 2 km yükseklikte, yaklaşık 150.000 km<sup>2</sup> genişlikte bir plato ortaya çıkmıştır (Şengör ve Kidd, 1979; Keskin, 2007; Şengör vd., 2008). Doğu Anadolu bu çarpışmanın sonucunda yükselmiştir ve bu yükselme halen devam etmektedir (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör vd., 2008). Doğu Anadolu platosunda irili ufaklı gölleri barındıran Van Gölü Havzası, volkano-sedimenter ve ofiyolitik birimleri barındırmaktadır. Van Gölü’nün batı, kuzey ve kuzeybatı bölümleri ağırlıklı olarak Nemrut, Süphan, Tendürek, Etrüsk ve Girekol volkanlarına ait volkanik ve volkanoklastik kayalar ile örtülüdür (Keskin, 2003; Özdemir vd., 2006; Oyan vd., 2007; Şengör vd., 2008). Gölün güney kısmında, Bitlis Masifine ait metamorfikler yer almaktadır (Yılmaz, 1971;

Şengün, 1984, Göncüoğlu ve Turhan, 1985; Oyan, 2004), doğu kısımda ise ofiyolitik melanj ve sedimanter kayaçlar bulunmaktadır (Acarlar vd., 1991; Kempe vd., 2002; Üner, 2003, (Şekil 1B).

Doğu Anadolu Platosu'nun, iklimini etkileyen, farklı basınç sistemleri ve hava kütlelerinin etkisi altında yer alan ve iklimsel değişimlerden çabuk etkilenen bir lokasyonda bulunmaktadır (Şekil 2A) (Akçar ve Schlüchter, 2005). Türkiye'de karasal iklim, Akdeniz iklimi, Marmara (geçiş) iklimi ve Karadeniz iklimi tipleri ayırt edilmiştir (Şekil 2B) (Atalay, 1997). Doğu Anadolu ise kış mevsiminin soğuk ve uzun, yaz mevsiminin ise serin geçtiği, düşük rakımlı alanlarda ise yaz mevsiminde sıcaklığın yüksek olduğu karasal bir iklime sahiptir.

Doğu Anadolu bölgesinin kuzeydoğu kesiminde *Pinus sylvestris* ormanları (Kars'da bulunan Allahuekber dağları) kuzey ve kuzeybatı yamaçlarında, 1500 m'den 2800 m'ya kadar olan kesimlerinde yayılım göstermektedir. Bu ormana düşük oranda *Populus tremula*, *Rubus ideaus*, *Rosa pulverulanta*, *Acer platanoides* ve *Salix caprea* gibi ağaç ve çalı formunda bazı türler eşlik etmektedir. Doğu Anadolu'da *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. infectoria*, *Q. petraea*, *Q. libani*, *Q. brantii*) meşe ormanları geniş yayılım alanına sahiptir. Nemrut Dağı'nda 1600-1700 m yükseklikler arasında *Quercus robur* yayılış göstermektedir. Doğu Anadolu bölgesinde meşe ormanlarının yanı sıra *Betula pendula* (Avrupa-Sibiryaya elementi) ormanları Nemrut Dağı'nda, Ağrı, Kop ve Bingöl dağlarında yayılım göstermektedir. Bu orman örtüsünün yanı sıra Doğu Anadolu bölgesinde çalı ve step vejetasyonu da yaygındır. Ova steplerinde *Limonium meyeri*, *Tamarix parviflora*, *Carex divisia*, *Typha latifolia*, *Salix alba*, *Hippophae rhamnoides*, *Plantago lanceolata*, *Prunella vulgaris*, *Polygonum bistorta*, *Ephedra distachia*, *Ephedra major* gibi bitkiler yer almaktadır. Dağ steplerinde ise 2600-2700 m'ye

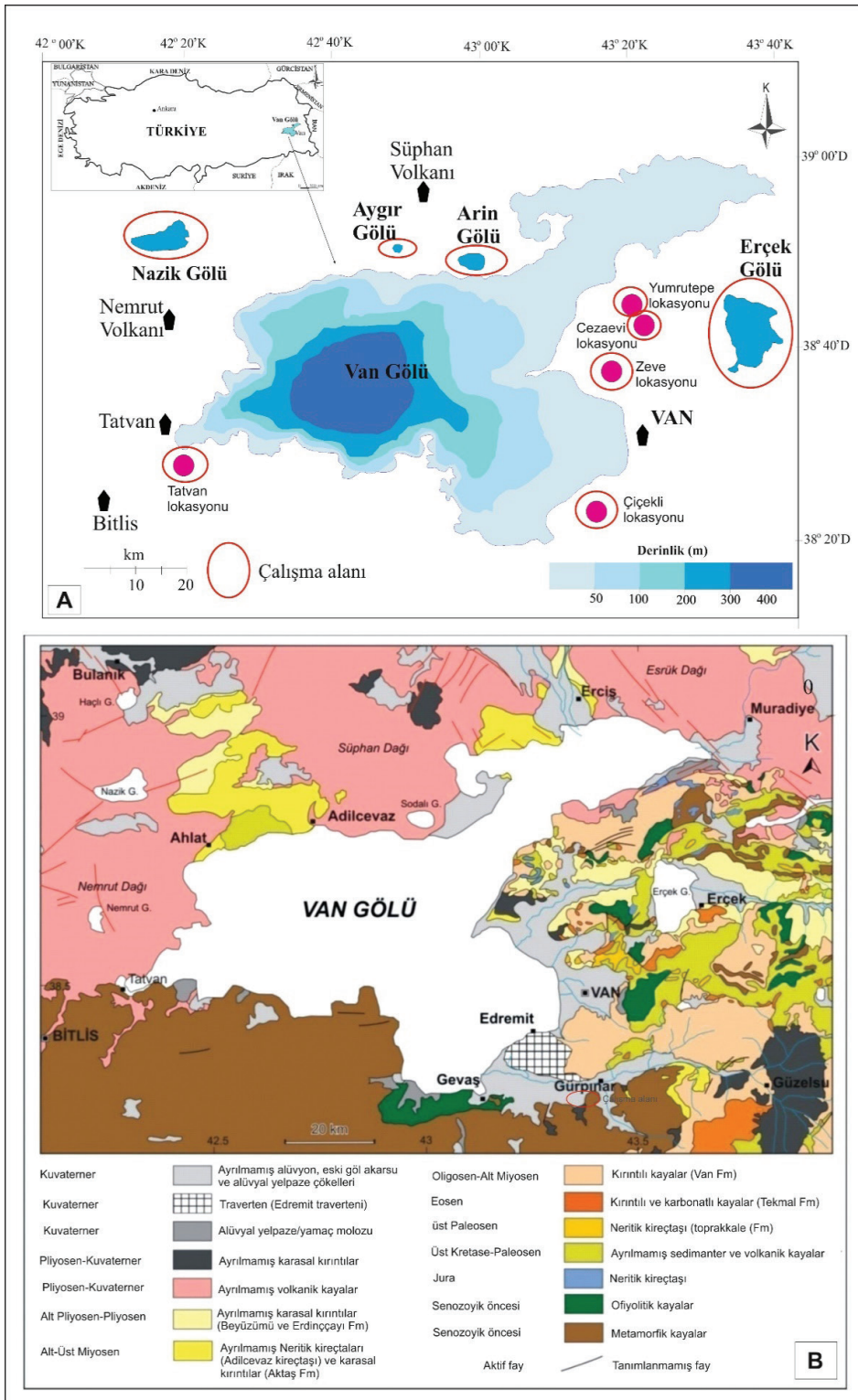
kadar *Acantholimon kotschyi*, *Artemisia tauriaca*, *Centaurea virgata* gibi türler yer bulunur. Vadi kenarlarında 1300-2200 m yüksekliklerde *Rumex scutatus* ile *Centranthus longiflorus* toplulukları geniş yayılıma sahiptir (Tatlı, 2004). Çalışma alanını çevreleyen alanlar ise Doğu Anadolu meşe ormanı, Doğu Anadolu ova bozkır, Doğu Anadolu yüksek dağ bozkır, Doğu Anadolu yüksek dağ çayırı ve Doğu Anadolu dağ bozkır fitocoğrafik alanları ile çevrilidir (Şekil 2C) (Eken vd., 2006).

## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, Van Gölü'nün Yumrutepe, Çiçekli, Zeve, Cezaevi ve Tatvan'da bulunan taraçalarından el örnekleri (Şekil 3) ve Nazik, Aygır, Erçek ve Arın göllerinden gravite karotiyer ile alınan karot örnekleri incelenmiştir (Şekil 4). Alınan örneklerin lokasyon, su derinliği, çalışılan örnek sayısı ve örnek alma yöntemi Çizelge 1'de özetlenmektedir.

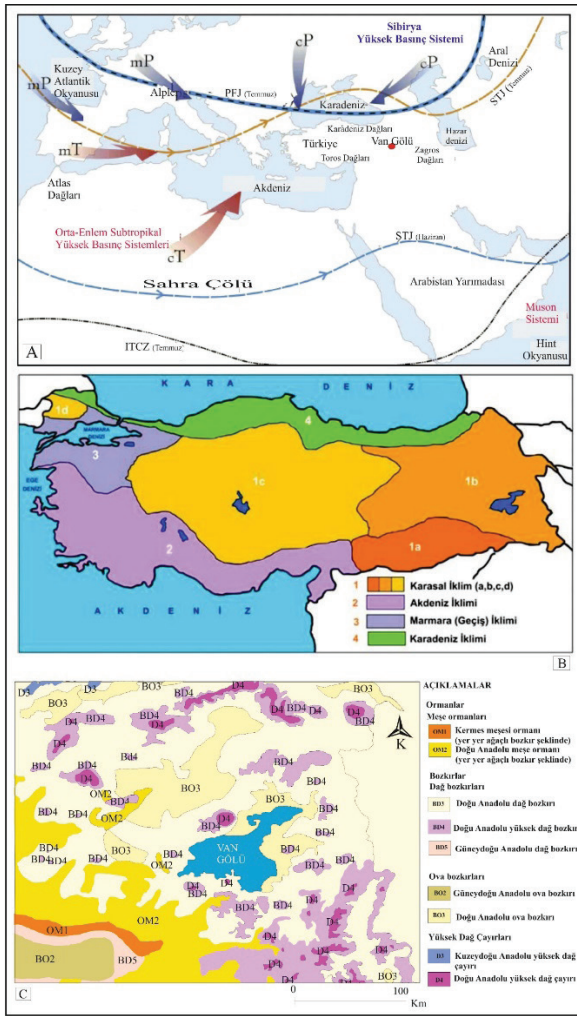
Örnekler, iklimsel değerlendirmeleri yapılmadan önce, elde edilen polen diyagramlarını doğru yorumlayabilmek için aşama aşama belli konu başlıklarında; litolojik, stratigrafik, sedimantolojik ve palinolojik olarak incelenmiştir. Örneklerin içerdiği tefra seviyelerinden dolayı, bölgenin volkanik aktivitesinin bitki örtüsüne etkisi, polen taşınımı, bölgedeki insan etkisi için bölgenin arkeolojik geçmişi ve bunların polen diyagramlarıyla uyumu başlıkları altında irdelenmiştir.

Örnekler, incelenmek üzere standart palinolojik örnek hazırlama yöntemine göre hazırlanmıştır (Ediger, 1986). Yapılan inceleme ve arazi çalışmaları sonuçlarından elde edilen veriler ışığında öncelikli olarak volkanik arazilerde ve arkeolojik yerleşim alanlarına yakın yerlerde bulunan göller için, bir yöntem yaklaşımı yapılmış ve yeni bulgular elde edilmiştir.



Şekil 1. A) Çalışma alanı, B) Çalışma alanının jeoloji haritası (Alan vd., 2011'den alınmıştır).

Figure 1. A) Study area. B) Geological map of study area (taken from Alan et al., 2011).



**Şekil 2. A)** Van Gölü havzası ve Polar Ön Jet (PFJ), Alt Tropikal Jet (STJ) ve İntertropikal Konverjans Zonu (ITCZ)'nin Akdeniz Bölgesi'nde kış ve yaz aylarındaki ortalama konumları ve şematik olarak konumlandırılmış Doğu Akdeniz Bölgesi'nde iklimi etkileyen alçak basınç ve yüksek basınç sistemleri (cP; karasal soğuk hava kütleleri (continental polar air masses), mP; denizel soğuk hava kütleleri (marine polar air masses), mT; denizel sıcak hava kütleleri (marine tropical air masses), cT; karasal sıcak hava kütleleri (continental tropical air masses)) (Akcar ve Schlüchter, 2005 ve Litt vd., 2009'dan alınmıştır), **B)** Türkiye'nin iklim bölgeleri (Atalay, 1997'den alınmıştır), **C)** Çalışma alanı ve çevresinin güncel bitki örtüsü haritası (Eken vd., 2006'dan alınmıştır).

**Figure 2. A)** Lake Van Basin and Polar Front Jet (PFJ), Subtropical Jet (STJ), Intertropical Convergence Zone (ITCZ) in winter and summer in Mediterranean Region, and High-Pressure System that influences the climate of Eastern Mediterranean Region. cP: Continental Polar Air Mass; mP: Marine Polar Air Mass; mT: Marine Tropical Air Mass; cT: Continental Tropical Air Mass (taken from Akcar and Schlüchter, 2005 and Litt et al., 2009). **B)** Climatic zones of Turkey (taken from Atalay, 1997). **C)** Recent vegetation map of study site and surroundings (taken from Eken et al., 2006).

**Çizelge 1.** Çalışılan alanların adı, örnek alma yöntemi ve incelenen örnek sayısı

**Table 1.** Name of studied site, sampling method, water depth and length of deposit, and number of samples examined.

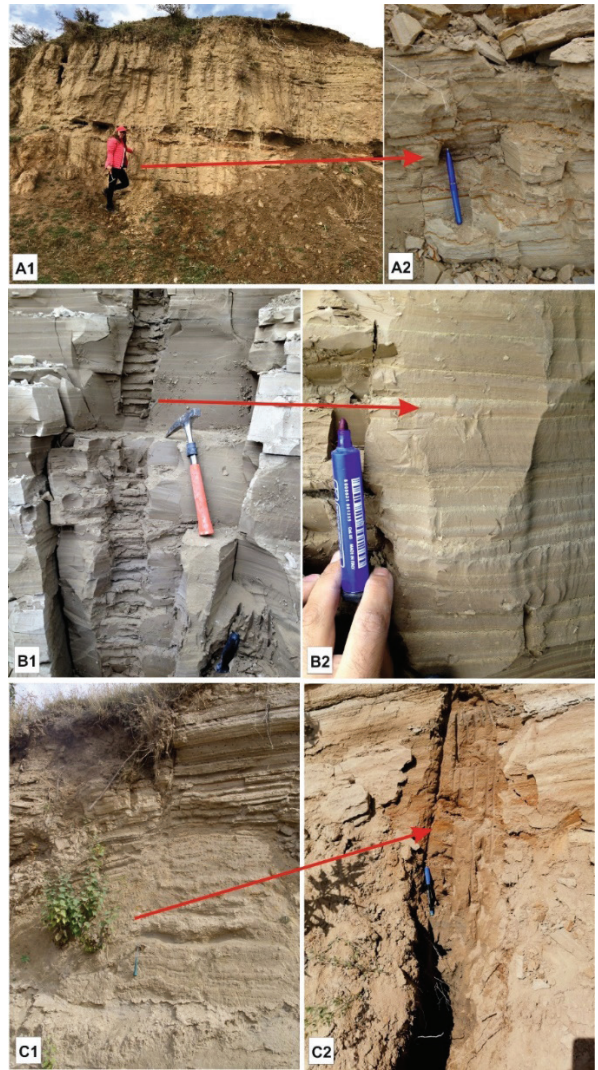
Karot/lokasyon adı	Örnek alma yöntemi	Su Derinliği-İstif uzunluğu	Örnek sayısı
N11 (Nazik Gölü)	Gravite karotiyer	9 metre	8 örnek (55 cm karot uzunluğu)
A4 (Arin Gölü)	Gravite karotiyer	2 metre	8 örnek (40 cm karot uzunluğu)
A6 (Aygır Gölü)	Gravite karotiyer	12 metre	9 örnek (60 cm karot uzunluğu)
E12 (Erçek Gölü)	Gravite karotiyer	32 metre	16 örnek (132 cm karot uzunluğu)
Yumrutepe	El örneği	4 metre	72 örnek
Zeve	El örneği	2 metre	10 örnek
Cezaevi	El örneği	2 metre	5 örnek
Çiçekli	El örneği	5 metre	10 örnek
Tatvan	El örneği	4 metre	20 örnek

## SONUÇLAR ve TARTIŞMA

### Litoloji ve Stratigrafi

Bu çalışmada kapsamında, incelenen karotlar ve taraça istifleri göl çökellerine aittir. Çiçekli, Yumrutepe, Zeve, Tatvan ve Cezaevi bölgelerinde bulunan taraçalara ait istiflerde yapılan çalışmalara göre, altta derin göl çökelleri ile başlayarak üste doğrusığ göl çökellerine geçiş yapan istifler tanımlanmıştır. Bu taraçaların alt bölümlerinde yer alan laminalı ritmik sedimanlar palinolojik çalışma için uygun bir litolojik görüntü sunmaktadır ve istiflerin bu ritmik laminalı kil ve kil silt ardışıklı kısımları örneklenmiş ve palinolojik olarak incelenmiştir (Şekil 3). Yumrutepe lokasyonundan 72 örnek, Çiçekli lokasyonundan 10 örnek, Zeve lokasyonundan 10 örnek, Cezaevi lokasyonundan 5 örnek, Tatvan lokasyonundan 20 örnek incelenmiştir. İnceleme sonuçlarına göre, Yumrutepe lokasyonunda örneklerin hiçbirinde herhangi bir organizma kalıntısına rastlanmamıştır (polen, alg, fitolit, mantar sporu vb. gibi). Çiçekli lokasyonundan alınan örneklerden hazırlanan kesitlerde, bir kesit içinde birkaç tane polen ve organik malzeme kalıntısı bulunmuştur ancak bu içerik palinolojik bir analiz yapmaya yetersiz olduğundan bu örnekler de palinolojik olarak incelenememiştir. Benzer şekilde Zeve, Cezaevi ve Tatvan lokasyonlarından alınan örneklerde de sayıca az polen tanımlanmış ancak sayımı gerçekleştirilememiştir. Taraça örneklerinde birkaç tane bulunan polen tanelerinin, çökel içerisinde başka bir birimden taşınarak gelmiş olabileceği düşünülmüştür (sebebinizi yazınız). Van Gölü taraçalarına ait bu lokasyonlardaki istifler, litolojik olarak palinolojik çalışmaya çok uygun olsa da, çökelme koşulları fosilleşmesine uygun olmamış olabilir. Ya da, bu istiflerde fosilleşen polenler daha sonra maruz kaldıkları çevresel koşullar nedeniyle yok olmuş olabilirler. Taraça çökellerinden alınan örneklerin inceleme sonucuna göre, palinolojik çalışmaların ideal olarak yapılabildiği göl çökellerinde, litoloji uygun olmasına rağmen, palinolojik çalışma yapmamıza uygun miktarda ve içerikte palinomorf

fosilleşmemiş olabilir. Bu nedenle, litolojisi uygun olsa dahi, mostralarda çalışırken, istifi temsil eden noktalardan seyrek olarak örnekleme yaparak, önce palinomorf içeriğinin kontrol edilmesi ve daha sonra palinolojik çalışmaya uygun ise ayrıntılı örnekleme yapılarak çalışılması önerilmektedir. İstifin litolojisi ve stratigrafik özelliklerinin uygun olması palinolojik çalışma yapmaya uygun olduğunu göstermemektedir.



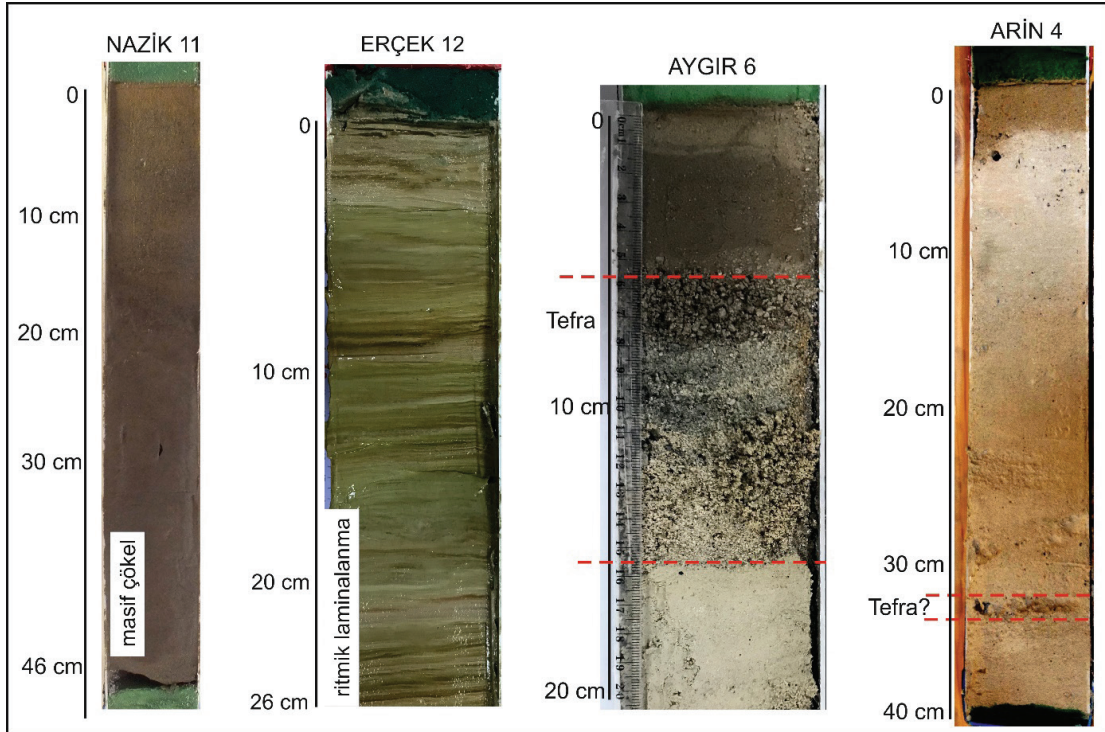
**Şekil 3.** A1 ve A2) Çiçekli lokasyonu, B1 ve B2) Yumrutepe lokasyonu, C1 ve C2) Tatvan lokasyonu.

**Figure 3.** Close-up details from three locations: A1 & A2) Çiçekli; B1 & B2) Yumrutepe; and C1 & C2) Tatvan.

Karot örneklerinin bazıları da taraça örnekleri gibi ritmik laminalı tortul içermektedir. Arin Gölü A4 karotu piroklastik malzeme, kum ve ince çakıllı seviyeler içermektedir. Aygır Gölü A8 karotu, açık koyu renkli tabakalar, killi, karbonatlı ve piroklastik malzeme içeren seviyeler barındırmaktadır. Nazik Gölü N6 karotu masif kahverengi renkte ve tane boyunda herhangi bir yapı içermeyen göl çamuru içermektedir. Erçek 12 karotu ise, tüm karot boyunca ritmik laminalı tortullar yer almaktadır (Şekil 4).

Van Gölü Havzası'ndaki göller, mevsimsel çökelmeye bağlı ritmik laminalı tortullar, volkanik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerde düşüş veya yeniden işlenmiş tefra çökelleri, derecelenme gösteren çökeller, kayma göçme çökelleri, türbiditik çökeller, fosilli seviye gibi farklı çökel paketleri içermektedir. Ancak bu çalışma ile

elde edilen bulgulara göre, göl tabanında farklı alanlardan alınan karot örneklerinde göl tabanında çökelmiş malzemenin tamamen farklı litolojide ve stratigrafik dizilimde olduğu belirlenmiştir. Van Gölü Havzası'nda yer alan göllerin bazılarında, yukarıda sayılan litolojik istif paketlerinin tümü (Van Gölü) (Kaplan 2010), bazılarında laminalı ritmik sedimantasyon ve tabaklanma (Erçek G., Arin G.) (Kamar, 2018a, Kamar, 2021) ve bazılarında da tamamen aynı görüntüde ve renkte çökel içerdiği (Nazik G.) (Kamar, 2018b) belirlenmiştir. Bu çalışmada incelenen karot örnekleri, önceki çalışmalar (Kaplan, 2013; Kamar, 2018a; Kamar, 2018b; Öner, 2019; Kamar, 2021) ile litolojik ve stratigrafik olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, bu çalışmada elde edilen litolojik ve stratigrafik bulgular önceki çalışmalar ile uyumlu değildir.



Şekil 4. Nazik, Erçek, Aygır ve Arin göllerine ait karot örnekleri ve karotlarda gözlenen masif çökel, ritmik laminalanma ve tefra çökelleri.

**Figure 4.** Core samples from Nazik, Erçek, Aygır and Arin lakes. Massif deposits, rhythmic lamination and tephra deposits are observed in the core samples.



Birbirine yakın mesafede konumlanmış olmalarına rağmen, jeolojik olarak farklı birimlerle çevrili olmaları ve malzeme taşınmasını sağlayan beslenme havzalarının farklılığı bu istiflerin farklı olmasını sonuçlamıştır. Aygır gölü çökellerinde yapılan çalışmaya göre karot örneğinin birkaç cm'lik kısmının yaklaşık olarak 16000 yaşına karşılık geldiği belirlenmiştir (Öner, 2019). İstif paketleri, çökel hızı farklılıkları nedeniyle, farklı yaşlara erişebilmektedir. Bu nedenle, farklı yerlerden örnekleme yapmak ve mümkün ise sismik araştırma yaparak, onun sonucuna göre örnek alınacak yerin belirlenmesi en ideal olanıdır. Bu şekilde daha yaşlı çökellere ulaşma olanağı bulunmaktadır.

Polen analizi yapılacak istifte, ayrıca bu verilerin desteklenmesi için, izotop analizleri ve jeokimyasal analizlerin yapılması tüm verilerin birlikte değerlendirilmesiyle birlikte, antropojenik etkinin olduğu süreçlerde iklimsel veriye ulaşmayı daha da kolaylaştıracaktır. Bunun için, örneklerde duraylı oksijen izotoplarının ( $\delta^{18}\text{O}$ ) değişimleri, elementel analiz sonuçları ve polen diyagramları beraber değerlendirilmesi özellikle paleoiklim değişimlerinin tespit edilmesi ve göl kimyası hakkında daha yüksek çözünürlüklü veriye ulaşmayı sağlar. Duraylı oksijen izotopu değerleri ile polen diyagramının AP ve NAP değerlerinin uyumlu olduğu belirtilmiştir (Litt vd., 2009).

### **Göl Tabanının Yapısal Özellikleri ve Sedimentasyon Hızı**

Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, birbirine yakın mesafelerden alınan karot örneklerinde, göl tabanının yapısal özellikleri ve çökelme hızlarının farklı olmasından kaynaklı olarak, farklı istif paketleri çökelmiştir. Bu çalışmada incelenen Arin 4 karotu ile önceki çalışmalar (Kamar, 2018a) karşılaştırılmış ancak litolojik olarak bir benzerlik tanımlanmamıştır. Bu çalışma ve önceki çalışmalara göre, Aygır Gölü'nden elde edilen verilerde, karotlarda tanımlanan tefra

seviyesi farklı seviyelerde tespit edilmiştir ya da bazı karotlarda tanımlanmamıştır. Erçek ve Nazik Gölü örneklerinde ise, önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında (Kamar, 2018b; Kamar, 2021), karotun litolojik içeriği benzerdir ancak polen diyagramları arasında farklılık vardır.

Göl tabanının yapısal özellikleri de, aynı gölde farklı alanlardan alınmış istif paketlerinin korele edilememesine ve farklı yaş aralıklarında istif paketleri içeren çökellerden örnek alınmasına neden olabilmektedir. Anadolu ve Arabistan plakalarının çarpışmasından sonra başlayan süreç bölgede birçok fay sisteminin oluşmasına da neden olmuştur. Faylar göl tabanlarında da oluşarak, tabandaki çökellerin ilksel konumlarını kaybetmesine neden olmaktadır. İdeal olan, göl tabanlarında jeofizik araştırmalar yaparak, göl tabanının yapısal özellikleri hakkında fikir sahibi olduktan sonra örnek almaktır. Ancak bu çalışmaları yapma imkanının olmadığı durumlarda, göl tabanı mümkün olduğunca çok örnekleyerek, normal-ters fay zonlarından örnekleme yapmak ihtimalini düşürülebilir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, sığ ve küçük göllerde çalışırken, göl tabanında birbirine yakın mesafelerde farklı çökel paketlere ulaşma olasılığı bulunmaktadır. Ulaşılan sonuçlar bu istif paketlerinde polen diyagramlarında da görece farklılıklar olabileceğini çökelmede kesiklikler olabileceğini göstermiştir (Kamar, 2021). Bu nedenle paleoiklim amaçlı çalışma yapmak üzere göl tabanının farklı su derinlikleri ve farklı alanlarından örnekleme yapmanın yüksek çözünürlüklü veriye ulaşmayı kolaylaştıracağı belirlenmiştir.

Göl araştırmalarına yeni başlayan bilim insanları, göl tabanından örnekleme yapıldığı anda, çökelmiş en genç malzemeye ulaşacaklarını ve göl tabanındaki malzemenin ilksel konumunu koruduğunu düşünüyor olabilirler. Ancak, göl tabanında depolanan tortullar, fay oluşumları, jeotermal etkiler, magmatizma vb. etkiler

nedeniyle ilksel konumda olmayabilir. Örneğin, göl tabanında meydana gelen normal bir fay oluşumunun, taban bloğundan örnek alındığında, tavan bloğunda (aşağı doğru hareket eden blok) çökelmiş en genç malzemeyi karot örneğinde görmek mümkün değildir. Böyle bir durumda, farklı yerlerden alınmış karot örneklerinin birkaçının çalışılması gerekmektedir. Karotları oluşturan istifler arasında litolojik olarak uyumsuzluk gözlenirse dahi (örneğin; ritmik sedimentasyonun devamlı olduğu iki farklı karot örneği) polen analizi sonuçları farklı olacaktır. Elde edilen verilere göre, bu çalışmanın yapıldığı alanlar gibi, faylı göl tabanlarında ya da birçok fay sisteminin arasında yer alan göllerde, paleoklim araştırması yapmak için farklı alanlardan alınan karot örneklerinin polen diyagramlarının hazırlanması önerilmektedir.

Karot örnekleri alınırken, karot uzunluğuna da bağlı olarak, çökellerin birkaç yüz ya da birkaç bin yıla ulaşabileceği öngörülür. Ancak bu her göl sistemi için farklılık göstermektedir. Aygır Gölü'nde yapılan çalışmaya göre, bir metreye ulaşmayan istifte radyokarbon tarihlendirmesine göre 10000 yılı aşkın istif paketine erişilmiştir (Öner, 2019). Benzer şekilde sedimentasyon hızının yüksek olduğu alanlarda metrelerce istif birkaç yüz yılda çökelmiş olabilir. Sedimentasyon hızı, aynı göl içerisinde farklı su derinliklerinde ve farklı alanlarda da çeşitlilik göstermektedir. Tortul çökme hızını tespit edemediğimiz için, gölün muhtelif su derinliklerinden ve farklı alanlarından örnekleme yapmak çökme hızının yavaş olduğu yaşlı birimlere ulaşmayı kolaylaştırır. Günümüzde çökme hızı bazı izotop analizleri ile ( $^{210}\text{Pb}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ ) belirlenebilmektedir. Ancak bu izotopların yarılanma ömürlerinden dolayı, karotun sadece üst seviyelerinde ölçülebilir oluşu, alt seviyelerdeki sedimentasyon hızının tüm istif boyunca aynı olup olmadığı bilinemez. Bu nedenle, mümkün olduğunca sık aralıklı en uygun yaşlandırma analizi ile bir yaş modeli oluşturmak daha doğru veriye ulaşmayı sağlayacaktır.

Göl tabanlarının jeofizik araştırma sonuçları Van Gölü (Çukur vd., 2013, Çukur vd., 2016) ve Erçek Gölü (Toker vd., 2017; Toker ve Tur, 2018) tabanlarının faylı yapısını ayrıntılı olarak ortaya koymaktadır. Yöntem olarak, mümkünse karot almadan önce, göl tabanının yapısal özelliklerinin belirleneceği jeofizik araştırmalar yapılmalı, eğer böyle bir imkan yoksa, dere ağızlarına uzak mesafelerden belli doğrultularda olacak şekilde veya kareleme yapılarak örnek alınmalı ve göl tabanının farklı alanlarına ait polen diyagramları elde edilmelidir.

### **Volkanizma**

Volkanik arazilerde yer alan göllerde veya maar göllerinde palinolojik araştırma yaparken örnek yeri seçimi önemlidir. Volkanik arazilerde ve piroklastik malzeme ile çevrili alanlarda yer alan, Arin Gölü gibi sığ göllerde, göllerin kıyıya ve beslenme havzası ağzına yakın bölümlerinde yeniden işlenerek göl tabanına taşınan piroklastik malzeme miktarının, gölün diğer alanlarına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum, Arin Gölü için, Süphan Volkanına yakınlığı ile ilişkilendirilmiştir. Aygır Gölü karotunda tanımlanan tefra seviyesi de yine Süphan volkanının püskürme ürünleri ile ilişkilendirilmiştir. Aygır Gölü'nde yapılan çalışmaya göre, göl tabanındaki farklı lokasyonlarda farklı çökme grupları tanımlanmıştır (Öner, 2019). Bu çalışma sırasında edinilen bilgiye göre, piroklastik malzeme veya tefra çökellerinin bulunduğu istiflerden, örnek alımı sırasında sorun yaşanabilmektedir. Yapılan örnek alma çalışmaları sırasında, piroklastik malzemenin bol olarak bulunduğu, Aygır Gölü ile Arin Gölü'nün sığ kesimlerinde birçok noktadan örnek alınamamış, boru kırılmış veya maksimum 20-30 cm uzunluğunda örnek alınmıştır. Bu durum, göl tabanlarında bazı noktalardan örnek almayı ve tortullara ulaşmayı zorlaştırmıştır. Bu nedenle, volkanik arazilerde yer alan göllerden örnek alırken gravite karotiyer yerine piston karotiyer

kullanmanın daha uygun olacağı öngörülmektedir. Piston karotiyer mekanizması gereği, çökelen piroklastik malzeme örneklenmeye daha uygundur. Çalışılan istifler içerisinde Aygır ve Arin Gölü karotunda tefra seviyeleri ve karot boyunca da bol miktarda piroklastik malzeme tanımlanmıştır (Şekil 4). Bu karotların piroklastik malzeme içermeyen seviyelerinde de palinolojik çalışma yapmaya uygun miktarda palinomorfaların fosilleşmediği belirlenmiştir. Ancak Aygır ve Arin göllerinin farklı yerlerinden alınan örnekler içerisinde palinolojik çalışmalar yapılmıştır (Kamar, 2018a; Öner, 2019). Nazik Gölü karotunda piroklastik malzeme tespit edilememiştir. Erçek Gölü karotunda ise kül boyutunda bir seviye tefra çökeli bulunmaktadır.

Çalışma alanında yer alan volkanların püskürme ürünleri, volkana yakın göllerde tortula ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Tefra çökelleri, volkanizmanın aktif olarak görüldüğü alanlarda, volkandan çıkan püskürmeli malzemenin miktarına bağlı olarak metrelerce kalınlıkta ve her boyutta (kül-lapilli) olabilmektedir. Tefra çökelleri, sığ göllerde göl su seviyesi değişimlerine neden olacak boyutta çökebilir. İklim analizi yapmak istediğiniz bir gölde metrelerce çökelmiş bir piroklastik malzeme, polen analizi yapmayı zorlaştırır. Tefra çökelleri içinde polen taneleri fosilleşemez ve sedimane erişmek için daha derin sondaj yapılması gerekliliği doğabilir. Ayrıca, örnek alınırken iri boyutlu tefra çökelleri, boruların kırılmasına neden olmaktadır ve örnek alımı gerçekleştirilemez. Jeofizik araştırmalar yapmak olanaklı ise, göl tabanlarında biriken bu malzemelerin belirlenmesi de mümkündür. Belirlenmesi durumunda malzemenin ince olarak çökeldiği alan polen analizi için seçilebilir. Eğer jeofizik inceleme imkanı yoksa, farklı lokasyonlardan örnek alınmasının denenmesi gerekmektedir.

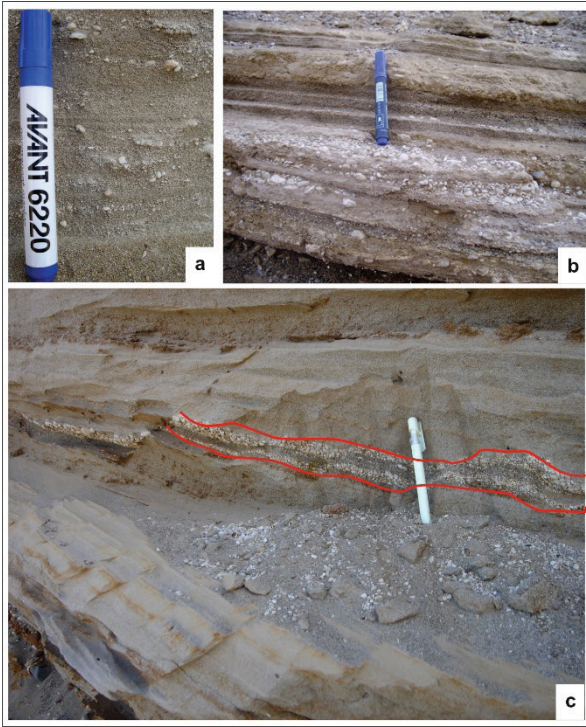
Volkanik alanlarda oluşmuş göllerde, volkanlarla ilgili çalışmaların literatür araştırmasına katılması, göl tabanında karşılaşılabilecek istif

paketlerindeki olası tefra çökelleri hakkında bilgi verebilmektedir. Volkanizma şiddetine bağlı olarak, geniş alana yayılması ve bitki örtüsünü tamamen kaplayarak ve/veya yakarak tahrip etmesi sonucunda, polen diyagramlarında bazı taksalarda ve polen konsantrasyonlarında değişimler gözlemlenebilir. Bu değişimlerin, küresel ölçekli iklim değişimi ile ilgili olup olmadığını araştırmadan önce, bölgenin volkanizması ile ilgili ayrıntılı bir literatür analizi yapılmalıdır. Ayrıca, çalışma alanı çevresinde arazi çalışmaları yapılmalıdır ve ilk kez çalışılacak arazilerde göl tabanında birikmiş olma olasılığı bulunan piroklastik malzeme ile ilgili bilgiye bu şekilde ulaşılabilir. Nitekim bu çalışma kapsamında taraçalar örneklenirken, derin göl çökellerinin içinde sığ göl ve delta çökelleri ile ara katkılı bir şekilde çökelmiş piroklastik malzemeler de tespit edilmiştir (Şekil 5). Arazi çalışmalarında piroklastik malzemenin depolandığı istiflerin gözlenmesi, benzer çökellerin göl tabanında da depolanmış olabileceği ihtimalini göstermektedir. Böylelikle, iklimsel değişimle ilgili olmayan yerel/bölgesel vejetasyon değişimlerinin volkanizma ile ilgisi araştırılmış olur.

Bu çalışmada, yoğun piroklastik malzeme içeren karot çökellerinde Arin ve Aygır Gölü karotlarında, palinolojik çalışma yapmaya yeterli miktarda palinomorf bulunamamıştır.

### **İnsan Etkisi ve Yerel Güncel Bitki Örtüsü**

Yerel bitki örtüsü değişimleri, polen diyagramlarında ani değişimlere neden olabilir. Özellikle, tarım ve hayvancılığın yoğun olduğu Holosen devrinde oluşmuş bir istifte çalışırken, yerel ölçekli bitki örtüsü değişiminin, insan kaynaklı olup olmadığı araştırılmalıdır. İnsanlar, yöredeki bitki örtüsünü her zaman yok ederek değiştirmezler, bazen de ekim yapma ve hayvan otlatma gibi tarımsal faaliyetler bitki örtüsünde değişimlere neden olurlar.



**Şekil 5. a) ve b)** Van Gölü taraçasının üst seviyesinde gözlenen, eski göl-akarsu çökelleri ile birlikte çökelmiş piroklastik malzeme, **c)** Eski göl çökellerinin arasında gözlenen tefra çökelleri (kırmızı çizgi ile belirtilen seviye).

**Figure 5. a) and b)** Pyroclastic material observed in upper part of Lake Van terrace deposits, together with palaeo-lake and stream deposits. **c)** Tephra deposit between palaeo-lake deposits (level shown with red lines).

Polen diyagramlarında insan etkisi antropojenik göstergeler başlığı altında tanımlanmıştır (Behre, 1981). *Cerealia*-tip, *Rumex*, *Plantago lanceolata* gibi bazı polenlerin polen diyagramlarındaki varlığı, antropojenik göstergeler olarak yorumlanmıştır. Ancak, Avrupa'daki durumun aksine, Yakın Doğu'da (İran-Turan flora bölgesine dahil alanlarda) örneklerde tanımlanan cereal-tip (tahıl polenleri) polenlerin varlığı, doğal olarak bulunuşun yanı sıra tarım yapıldığının bir göstergesi olarak da değerlendirilebilir yorumu yapılmıştır (Behre, 1981). *Plantago lanceolata*, *Juglans*, *Sanguisorba minor*, *Rumex*, *Cannabis*,

*Urtica*, *Centeurea solstitialis*-tip gibi polenlerin varlığı insan etkisini göstermektedir (Bottema, 1975; Behre, 1981; Bottema, 1986; İnceoğlu ve Pehlivan, 1986; Behre, 1990; Bottema, 1995; Roberts, 1998; Eastwood vd., 1999; Roberts vd., 2001; Wick vd., 2003).

Antropojenik etkiyi yorumlamadan önce, bölgenin arkeolojik geçmişi, geçmiş uygarlıkların yerleşim merkezlerinin çalışma alanına mesafesi araştırılmalıdır. Ayrıca, bölgedenin etnobotanik (Türkçesi) geçmişi, bölge halkının ilaç, boya malzemesi, erzak vs. olarak kullandığı bitkiler ve bunların tarihsel geçmişi ile ilgili araştırma yapılmalıdır. Yöreden yöreye değişen bu etkilerden dolayı, her bölge için ayrı değerlendirme yapmak, polen diyagramlarını yorumlarken, insan etkisi hakkında doğru yorum yapabilmeyi olanaklı kılacaktır. Örneğin, bu çalışmanın altyapısını oluşturan göllerin bulunduğu alanda, Van Gölü çevresinde antropojenik gösterge olarak tanımlanan birçok bitki (tahıl polenleri, *Plantago lanceolata*, *Rumex* gibi) doğal yayılışlı olarak bulunmaktadır. Diğer yandan, ilk başta tahrip edilme gibi algılanan insan etkisi, bitki yetiştiriciliği ile de karşımıza çıkabilmektedir. Van Gölü havzasındaki köylerde, bir ailede çocuklar doğduğunda, her doğan çocuk için bir kavak ağacı dikme geleneği de, insan etkisinin bir parçasıdır.

Polen diyagramlarında, farklı flora bölgelerinde yapılan çalışmalar baz alınarak, o çalışmalarda bazı polenlerin antropojenik gösterge olarak kabul edilip, yorumlanmasındansa, çalışma alanı kendi içinde değerlendirilmeli, arkeoloji, etnobotanik ve yakın geçmiş için sanat tarihi çalışmaları literatür araştırmasına katılmalıdır.

Van Gölü karotlarından elde edilen polen analizi sonuçlarına göre, polen diyagramlarında İran-Turan elementi olmayan bitki polenleri tanımlanmış (*Olea* ve *Castanea*) ve bunların varlığı, Doğu Akdeniz ve Karadeniz bölgesinden taşınma şekilde açıklanmıştır (Wick vd., 2003).

Oysa bu bitkiler Van Gölü'ne yakın alanlarda ve doğal yayılımlı olduğu belirtilmiştir (Bıçakçı vd., 2009; Yaltırık, 1975; Seçmen vd., 2004; Donner vd., 2007). Benzer şekilde yapılan arazi çalışmalarında Akdeniz flora bölgesi elementi olan *Colutea cilicica* bitkisinin Reşadiye civarında doğal olarak yaşadığı belirlenmiştir (Kaplan, 2010). Polen taşınımı yorumu yapılmadan önce, güncel florada yer alan bitkilerin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir. Bunun için, biyoloji bölümlerinde yapılan, flora tanımlamaya yönelik tezler, makaleler, kitaplar ve hatta herbaryumlar polen diyagramı yorumlanmadan önce mutlaka detaylı olarak araştırılmalıdır.

Van Gölü çökel karotları boyunca elde edilen  $\mu$ -XRF ağır metal profillerinin 1960'lardan bu yana göle olan antropojenik girdileri olarak yorumlanmış ve son 30-60 yılda Zn, Pb, Ni ve Co metallerinin önemli ölçüde arttığı saptanmıştır. Ayrıca bunun 1960 yıllarında başlayan önemli tarımsal ve endüstriyel kirlenmenin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır (Barlas Şimşek, 2015).

Karotlarda yapılan çalışmalar ve arazi gözlemleri sonucu, çalışma alanlarının birçoğunda, hayvancılık başta olmak üzere yerel olarak ağaçlandırma ve çevre düzenlemelerinin bu bölgede vejetasyon üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. İnsan etkisinin varlığı araştırılırken, bölgeler kendi içinde değerlendirilmeli ve bulgular yerel olarak yorumlanmalıdır. Gerek Türkiye'de ve gerek de dünyanın birçok yerinde polen diyagramlarındaki bazı bitkiler antropojenik gösterge olarak kullanılmıştır (Eastwood vd., 1999; Karlıoğlu vd., 2016; Biltekin vd., 2021) v. Burada dikkat edilmesi gereken husus, geçmişte yaşayan uygarlıkların her birinin coğrafik koşullara bağlı olarak değişen etkisidir. Örneğin, orman vejetasyonun hakim olduğu bir alanda Poaceae polenlerinden cereal tip olanların varlığı tarımın varlığına işaret ediyorken, bu çalışmadaki gibi step alanlarında yapılan çalışmalarda cereal tip polenlerin varlığı direkt olarak tarıma işaret etmez. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara

göre, her bölge kendi vejetasyon yapısı içinde değerlendirilmeli ve antropojenik polenlerin varlığı yerel olarak tanımlanmalıdır.

### **EXTENDED SUMMARY**

*This study aimed to establish an asystematic approach for the palaeoclimate reconstruction of lake sediments, based on pollen analysis. With this aim, high altitude lakes from Eastern Anatolia which had active volcanism during Quaternary were selected for the study area. In order to develop this methodological approach, core samples from four different lakes in the study area were investigated in terms of volcanism, human impact, sedimentation ratio, and lake bottom structural features.*

*Different lake deposits contain varying sedimentary records originating from the different geological settings, drainage basin, deposition rate, archeological settings, and local floral changes. Lithological and stratigraphical features and even the pollen in the core samples from different lakes are not comparable with each other. These incomparable sediment and pollen records may be the result of volcanic activity and human impact rather than climatic change. It is necessary to investigate the local/regional volcanism, archaeological database, sedimentation ratio, stratigraphic features, etc. before commenting on pollen diagrams to understand the reasons for the changes.*

*Structural features of the lake bottom are one of the most essential parameters for different pollen diagrams in the same lake. Normal fault systems, sediment ridges, and other structural changes or deformations at the bottom of lakes can cause different sediment ages in the same lake. Even though a detailed geophysical investigation is the ideal method to understand the structure of the deposits at the bottom, it is impossible to define the age of the sediments without dating or*


constructing pollen diagrams. This is why we need to examine all the data parameters together.

Human impact can cause significant abrupt changes in pollen diagrams, especially Holocene deposits. However, it is not always easy to determine or separate the results from human impact. To understand the reason for changes in the pollen diagram clearly, anthropogenic indicators should be defined and classified according to the study site. People have different effects on the vegetation, such as cultivation, grazing, afforestation, or the extinction of forests. Therefore, the archeological history of the study site needs to be examined in detail in order to understand the influence of past communities around the study site.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın göl çökelleri ile ilgili kısmı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından MİM-B-075 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Arazi çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı, Doç. Dr. Serkan Üner'e, jeoloji yüksek mühendisi Banu Öner'e ve jeoloji mühendisi Erdal Baran'a teşekkür ederim.

## ORCID

Güldem Kamar  <https://orcid.org/0000-0003-4712-5997>

## KAYNAKLAR / REFERENCES

Acarlar, M., Bilgin, E., Elibol, E., Erkal., T., Gedik, İ., Güner, E., Hakyemez, Y., Şen, A. M., Oğuz, M. F. ve Umut, M. (1991). *Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin Jeolojisi* (Rapor No:9469). MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüt Dairesi Yayını (yayımlanmamış).

Akcar, N. & Schlüchter, C. (2005). Paleoglaciations in Anatolia: a schematic review and first results. *Eiszeitalter und Gegenwart. Quaternary Science Journal* 55, 102–121.

Akkiraz, M. S., Nazik, A., Özgen Erdem, N. & Durak, S. D. (2022). First micropalaeontological record from the early and middle Eocene Mamuca Formation of the Dümrek Basin, western Central Anatolia, Turkey: Biostratigraphy, depositional history and palaeoclimate. *Journal of Asian Earth Sciences*, 224 (2022), Article 105036.

Alan, H., Bozkurt, E., Çağlan, D., Dirik, K., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., & Topal, T. (2011). *Van Depremi (Tabanlı-Edremit) Raporu Kasım 2011*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, No 110. Ankara, 60 pp. [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/1461f966ce57540\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/1461f966ce57540_ek.pdf)

Atalay, İ. (1997). *Türkiye Coğrafyası*. Ege Üniversitesi Yayınları.

Barlas Şimşek, F. (2015). *Late Holocene high resolution multi-proxy climate and environmental records from Lake Van* [Unpublished PhD Thesis]. İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü 176 p.

Behre, K. E. (1990). Some reflections on anthropogenic indicators and the record of prehistoric occupation phases in pollen diagrams from the Near East. In S. Bottema, G. Entjes-Nieborg & W. van Zeist, (Eds.), *Man's Role in the Shaping of the Eastern Mediterranean Landscape* (219-230).

Behre, K. E. (1981). The interpretation of anthropogenic indicators from pollen diagrams. *Pollen et Spores*, 23, 225–245.

Bıçakçı, A., Altunoğlu, M. K., Tosunoğlu, A., Çelenk, S., Canitez, Y., Malyer, H. ve Sapan, N. (2009). Türkiye'de Oleaceae familyasına ait allerjenik *Olea* (zeytin ağacı) ve *Fraxinus* (dişbudak ağacı) polenlerinin havadaki dağılımları. *Astım Alerji İmmünoloji*, 7, 133-146.

Biltekin, D. (2018). Late Pleistocene-Holocene environmental change in eastern Turkey: multi-proxy palaeoecological data of vegetation and lake-catchment changes. *Journal of Quaternary Science*, 33(5), 575-585.

Biltekin, D., Eriş, K. K., Çağatay, M. N., Akçer-Ön, S. & Akkoca, D. B. (2018). Late Pleistocene-Holocene environmental change in eastern Turkey: a multiproxy palaeoecological data of vegetation and lake-catchment changes. *Journal of Quaternary Science*, 33(5) 575-585.

- Biltekin, D., Eriş, K. K. & Bulut, S. (2021). Anthropogenic influences and climate changes in Lake Hazar (eastern Turkey) during the Late Holocene. *Quaternary International*, 583, 70–82.
- Bottema, S. (1975). A Pollen Diagram from the Syrian Anti Lebanon. *Paleorient* 3, 259-268.
- Bottema, S. (1986). A Late Quaternary Pollen Diagram From Lake Urmia (Northwest Iran). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 47, 241-261.
- Bottema, S. (1995). Holocene vegetation of the Van area: palynological and chronological evidence from Söğütü, Turkey. *Vegetation History and Archaeobotany*, 4, 187-193.
- Çukur, D., Krastel, S., Demirel-Schlüter, F., Demirbağ, E., Imren, C., Niessen, F. & Toker, M. (2013). Sedimentary evolution of Lake Van (Eastern Turkey) reconstructed from high-resolution seismic investigations. *International Journal of Earth Sciences*, 102, 571-585.
- Çukur, D., Krastel, S., Tomonaga, Y., Schmincke, H.-U., Sumita, M., Meydan, A.F., Çağatay, M.N., Toker, M., Kim, S.-P. & Kong, G.-S. (2016). Structural characteristics of the Lake Van Basin, eastern Turkey, from high-resolution seismic reflection profiles and multibeam echosounder data: geologic and tectonic implications. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 106, 239-253.
- Djamali, M., de Beaulieu, J.-L., Shah-Hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Amini, A., Akhiani, H., Leroy, S.A.G., Stevens, L., Alizadeh, H., Ponel, P. & Brewer, S. (2008). An Upper Pleistocene long pollen record from the Near East, the 100 m-long sequence of Lake Urmia, NW Iran. *Quaternary Research*, 69, 413-420.
- Donner, J. & Çolak, A. H. (Editör) (2007). *Türkiye Bitkileri yayılış Haritaları*. 2. 975-6221-22-4, İstanbul.
- Eastwood, W. J., Roberts, N., Lamb, H. F. & Tibby, J. C. (1999). Holocene Environmental Change in Southwest Turkey: a palaeoecological record of lake and catchment-related changes. *Quaternary Science Reviews*, 18, 671-695.
- Ediger, V. Ş. (1986). Sieving techniques in palynological sample processing with special reference to the MRA system. *Micropaleontology*, 32(3), 256-270.
- Eken, G., Bozdoğan, M., İsfendiyaroğlu, S., Kılıç, D. T., & Lise, Y. (Editörler) 2006. *Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları*. Doğa Derneği, Ankara.
- Göncüoğlu, M. C. ve Turhan, N. (1985). *Bitlis Metamorfik kuşağı orta bölümünün temel jeolojisi*. Rapor no 7707). M.T.A. Raporu.
- İnceoğlu, Ö. ve Pehlivan, S. (1987). İç Anadolu Bölgesindeki Tuz Gölü Kuvaterner Tabakalarında Palinolojik Bir Araştırma. *DOĞA TU Botanik D.* 56-85.
- Kamar, G. (2018a). Palynology of Lake Arin (Eastern Anatolia, Turkey) deposits and its relation with water level change of Lake Van: Preliminary findings. *Quaternary International*, 486, 83-88.
- Kamar, G. (2018b). Nazik Gölü (Bitlis, Türkiye) Güneybatısından Alınan N3 Karotunun Palinolojik İlk Bulguları. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(3), 291-296.
- Kamar, G. (2021). Holocene Palynology and Pollen-Based Palaeoclimate Reconstruction of Lake Erçek (Eastern Anatolia); Short-Term Climatic Fluctuations and their Relation with Global Palaeoclimatic Change; Results of Cores E1 and E10. *Geological Bulletin of Turkey*, 64 (3), 253-266. <https://doi.org/10.25288/tjb.927117>
- Kaplan, G. (2010). *Van Gölü Kuzey Havzası'nın Geç Holosen Palinolojisi* [Yayımlanmamış Doktora tezi]. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 234s.
- Kaplan, G. (2013). Palynological analysis of the Late Pleistocene terrace deposits of Lake Van, eastern Turkey: Reconstruction of paleovegetation and paleoclimate. *Quaternary International*, 292, 168-175.
- Karlıoğlu Kılıç, N., Caner, H., Rauh, N. K., Akkemik, Ü., Köse, N. & Conor E. M. (2016). Palynological evidence for human occupation in western Rough Cilicia South West Turkey. *Quaternary International*, 401, 109–122.
- Karlıoğlu Kılıç, N., Caner, H., Erginal, A. E., Ersin, S., Selim, H. H. & Kaya, H. (2018). Environmental changes based on multi-proxy analysis of core sediments in Lake Aktaş, Turkey, Preliminary results. *Quaternary International*, 486, 89–97.
- Karlıoğlu Kılıç, N. & Ersin, S. (2019). Determination of Late Holocene Vegetation of Lake Aktaş and

- Its Surrounding Area by Palynological Analysis. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, 72(1) 100-106.
- Kempe, S., Landmann, G., & Müller, G. (2002). A floating varve chronology from the last glacial maximum terrace of Lake Van/Turkey. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 126, 97-114.
- Keskin, M. (2003). Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letter*, 30(24), 8046-8050.
- Keskin, M. (2007). Eastern Anatolia: A hot spot in a collision zone without a mantle plume. *GSA Special Paper*, 430, 695-722.
- Litt, T., Krastel, S., Sturm, M., Kipfer, R., Örcen, S., Heumann, G., Franz, S. O., Ülgen, U. B. & Niessen, F. (2009). 'PALEOVAN', International Continental Scientific Drilling Program (ICDP): site survey results and perspectives. *Quaternary Science Reviews*, 28, 1555-1567.
- Litt, T., Pickarski, N. & Heumann, G. (2014). A 600,000 Year Long Continental Pollen Record from Lake Van, Eastern Anatolia (Turkey). *Quaternary Science Reviews*, 104, 30-41.
- Ocañoğlu, F., Akkiraz, M. S. (2019). Lower Pleistocene to Holocene terrestrial record from the Eskişehir Graben (Central Anatolia): Paleoclimatic and morphotectonic implications. *Quaternary International*, 510(2019) 88-99.
- Oyan, V. (2004). *Bölük yazı-Hizan (Bitlis Masifi) Çevresindeki Na-Feldispat Oluşumlarının Jeolojik Özellikleri ve Ekonomik Önemi* [Yayımlanmamış, Yüksek Lisans tezi]. Y.Y.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Oyan, V., Ünal, E., Tolluoğlu, A.Ü. & Keskin, M. (2007). Volcanostratigraphic and Petrologic Properties of the Etrüsk Stratovolcano, SE Turkey. *The 2nd International Scientific Conference of Young Scientists and Students, "New Directions of Investigations in Earth Sciences"* (pp. 63-64). October 08-09, Baku, Azerbaijan.
- Öner, B. (2019). Aygır Gölü (Doğu Anadolu, Türkiye) Taban Çökellerinin Palinolojisi [Yayımlanmamış, Yüksek Lisans tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A. Ü. & Güleç, N. (2006). Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolia High Plateau): The most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, 226, 189-211.
- Pickarski, N., Kwiecien, O., Djamali, M. & Litt, T. (2015). Vegetation and environmental changes during the last interglacial in eastern Anatolia (Turkey): a new high-resolution pollen record from Lake Van. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 435, 145-158.
- Roberts, N. (1998). *The Holocene*, Second Edition. Blackwell, USA. 316 p.
- Roberts, N., Reed, J. M., Leng, M. J., Kuzucuoğlu, C., Fontugne, M., Bertaux, J., Woldring, H., Bottema, S., Black, S., Hunt E. & Karabıyıköğlu, M. (2001). The Tempo of Holocene Climatic Change in the Eastern Mediterranean Region: New High-Resolution Crater-Lake Sediment Data From Central Turkey. *The Holocene*, 11(6), 721-736.
- Seçmen, Ö., Gemici, Y., Görk, G., Bekat, L. & Leblebici, E. (2004). *Tohumlu Bitkiler Sistematiği*, 7. baskı. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi No:16. 394 s.
- Şengör, A. M. C. & Kidd, W. S. F. 1979. Post collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376.
- Şengör, A. M. C., Özeren, S., Keskin, M., Sakınç, M., Özbakır, A. D., & Kayan, I. (2008). Eastern Turkish high-plateau as a small Turkish type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic type orogens, *Earth sciences Reviews*, 90, 1-48.
- Şengün, M. (1984). *Bitlis Masifi Tatvan güneyinin jeolojik/petrografik incelenmesi* [Yayımlanmamış, Doktora tezi]. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tatlı, A. (2004). *Türkiye Vegetasyonu*, 2. Baskı. Kütahya. 142 s.
- Toker, M., Pınar, A. & Tur, H. (2017). Source mechanisms and faulting analysis of the aftershocks in the Lake Erçek area (Eastern



- Anatolia, Turkey) during the 2011 Van event (Mw 7.1): implications for the regional stress field and ongoing deformation processes. *Journal of Asian Earth Science*, 150, 73–86.
- Toker, M. & Tur, H., (2018). Structural patterns of the Lake Erçek Basin, Eastern Anatolia (Turkey): evidence from single-channel seismic interpretation. *Marine Geophysical Research*, 39, 567-588.
- Ülgen, U. B., Franz, S. O., Biltekin, D., Cagatay, M. N., Roeser, P. A., Doner, L. & Thein, J., (2012). Climatic and environmental evolution of Lake İznik (NW Turkey) over the last similar to 4700 years. *Quaternary International*, 274, 88-101.
- Üner, S. (2003). *Van Gölü Doğusu (Beyüzümü-Göllü Dolayı) Pliyo-Kuvaterner Yaşlı Karasal Çökellerin Sedimentolojisi* (Yayımlanmamış, Yüksek Lisans tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wick, L., Lemcke, G. & Sturm, M. (2003). Evidence of Late glacial and Holocene climatic change and human impact in eastern Anatolia: high resolution pollen, charcoal, isotopic and geochemical records from the laminated sediments of Lake Van. *The Holocene*, 13, 665-675.
- van Zeist, W. & Woldring, H. (1978). A pollen profile from Lake Van: A Preliminary Report. In: E.T. Degens, F. Kurtman (Eds.), *The Geology of Lake Van*, (115-123).
- Yalıtık, F. (1975). Türkiye’de Garig Vegetasyonunun Floristik Kompozisyonu. *Biyoloji Dergisi*, 24, 28-40.
- Yılmaz, O. (1971). *Etude Petrographique et Geochronologique de la region de Cacas* [Yayımlanmamış, Doktora tezi]. Univ. Grenoble, Fransa.



**Moralli Deresi Sisteminin Kuvaterner Yaşlı Tortullarının Tane Boyu Dağılımı ve Depolanma Ortamları (Tuşba, Van, Türkiye)**  
*Grain Size Distribution and Depositional Environment of Quaternary Sediments in Moralli Stream System (Tuşba, Van, Turkey)*

**Gül Şen<sup>\*1</sup> , Türker Yakupoğlu<sup>1</sup> **

<sup>1</sup> *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080, Tuşba, Van Türkiye*

• Geliş/Received: 24.12.2021 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 07.04.2022 • Kabul/Accepted: 13.04.2022  
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 17.04.2022 • Baskı/Printed: 15.04.2022

*Araştırma Makalesi/Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Bu çalışmada Van ili sınırları içinde, Van Gölü'nün doğusunda yer alan Moralli Deresi kanalındaki ve civarındaki Kuvaterner yaşlı akarsu-göl tortullarının tane boyu dağılımı belirlenerek, depolanma ortamlarındaki hidrokinamik enerjinin aşınma, taşınma ve depolanma sürecindeki etkisinin ortaya çıkarılmasının yanı sıra tortul fasiyeslerin tanımlanması, depolanma ortamları ve çökme ortamının jeomorfolojik özelliklerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Tortulların tane boyu dağılım eğilimini belirlemek için derenin kaynak alanından başlanarak, Van Gölü'ne döküldüğü yere kadar belirli aralıklarla alınan toplam 42 adet tortul numunesine tane boyu analizi yapılmıştır. Akarsu kaynak alanından alınan tortulların tane boyları çoğunlukla 0,42-0,25 mm arasında, akarsu yatağının akış aşağı kısımlarından alınan tortulların tane boylarının ise 0,125-0,037 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Akarsu tortullarının ortalama tane boyu ince kum-çok ince kum boylarında, boylanma parametresi genel olarak kötü boylanma sınıfında, yamukluk derecesi çoğunlukla kuvvetli negatif çarpık, tepelenme derecesi ise platikurtik olarak tespit edilmiştir. Delta düzlüğünden alınan tortul numunelerinin tane boyları 4,75-0,25 mm, delta kanallarından alınan tortul numunelerinin tane boyları 1,00-0,25 mm, delta önü alanından alınan tortul numunelerinin tane boyları ise 0,074-0,037 mm arasında dağılım göstermiştir. Delta düzlüğü tortullarının ortalama tane boyu kaba kum sınıfında, kötü boylanmalı, pozitif çarpık ve mezokurtik özelliklerinde, delta kanalı tortullarının ortalama tane boyu orta-ince kum sınıfında, kötü boylanmalı, pozitif çarpık ve platikurtik özelliklerinde, delta önü tortullarının ortalama tane boyu çok ince kum sınıfında, orta boylanmalı, negatif çarpık ve leptokurtik özelliklerinde olduğu belirlenmiştir. Kıyı tortullarının tane boylarının ise ağırlıklı olarak 1-0,42 mm aralığında olduğu belirlenmiştir. Kıyıda özellikle düşük enerjinin etkili olduğu kıyı önü alanında 0,074-0,037 mm boyundaki ince taneleri içeren tortullar bulunmaktayken, akıntı kanalı ve kıyı kırınım alanlarında ise >4,75 mm boyundaki çakıl tanelerini içeren tortulların çökeldiği saptanmıştır. Van Gölü kıyı tortullarının ortalama tane boyu dağılımı çok kaba kum, kaba kum ve orta kum boylarında olup, orta-iyi ve orta boylanma, simetrik-pozitif çarpıklık ve leptokurtik parametreleriyle temsilidir.

Bu çalışma kapsamında yapılan sedimantolojik analizler sonucu elde edilen tane boyu ve istatistik parametre verileriyle Moralli Deresi'nin hidrokinamik enerjisinin kum-silt-kil boyu taneleri taşıyabilecek potansiyelde, Van Gölü'nün dalga enerjisinin ise çakıl ve kum boyu taneleri taşıyabilecek potansiyelde olduğu ve akaçlama ağı havzasında depolanmış tortul tane boyunun akış aşağıya doğru incelendiği ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, Van Gölü su seviyesinde iklimsel değişikliklerden kaynaklı yükselmeler ve alçalmaların oluşturduğu akarsu, delta ve gölsel kıyı depolanma ortamlarında çökelen tortulların fasiyesleri tanımlanmış olup, tektonik ve hidrokinamik aktivitelerden kaynaklanan jeomorfolojik unsurlar (kıyı oku, kıyı dili, kıyı bariyeri, göl ve akarsu taraçası) belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akarsu-göl tortulları, depolanma ortamları, Kuvaterner, Moralli Deresi, tane boyu analizi, Van Gölü.

**Abstract:** *This study aimed to determine the grain size distribution trend of the Quaternary aged fluvio-lacustrine sediments of the Moralli Stream system, which is located within the borders of Van province to the east of Lake Van, and to reveal the effects of hydrodynamic energy on the erosion, transportation and depositional processes. Moreover, it aimed to define the sedimentary facies and geomorphological characteristics of the depositional environment. In order to determine the grain size distribution trends of the sediments, a grain size analysis was carried out by using a total of 42 sediment samples taken from the source area of the Moralli Stream in the area where it spills into Lake Van. It was determined that the grain size of the sediments taken from the stream source area was dominantly between 0.42-0.25 mm, and the grain size of the sediments taken from the downstream parts of the channel bed was between 0.125-0.037 mm. The mean grain size of the fluvial sediments is fine-very fine, the sorting parameter is generally in the poorly sorted class, the skewness degree is strongly negatively skewed, and the degree of kurtosis was determined as platykurtic. The grain size of the sediment samples taken from the delta plain is 4.75-0.25 mm, the grain size of the sediment samples taken from the delta channels is 1.00-0.25 mm, and the grain size of sediment samples taken from the delta front ranged between 0.074-0.037 mm. The delta plain sediments is a coarse sand with poor sorting, positively skewed and mesokurtic, the delta channel sediments is medium-fine sand with poor sorting, positively skewed and platykurtic, and the delta front sediments is very fine sand with moderate sorting, negatively skewed and leptokurtic. The grain size of the beach sediments was determined in the range of 1-0.42 mm. While sediments contained fine grains of 0.074-0.037 mm in size in the coastal area, especially in the low-energy foreshore area, it was determined that sediments containing >4.75 mm in size pebbles were deposited in the rip channel and shore break areas. The mean grain size of the beach sediments of Lake Van is very coarse sand and coarse-medium sand size, and is represented with moderate, moderate-well sorting, symmetric-positive skewness and leptokurtic parameters. With the grain size and statistical parameter data obtained as a result of the sedimentological analyses carried out within the scope of this study, the hydrodynamic energy of Moralli Stream has the potential to carry sand-silt-clay size grains, and the wave energy of Lake Van has the potential to transport gravel and sand-size grains. Moreover, it was found that the sediment's grain size decreased downstream in the drainage basin. In addition, the facies of sediments deposited in fluvial, delta and lacustrine environments formed by the rise and fall of the water level of Lake Van due to climatic changes were defined and geomorphological structures (coastal arrows, coastal spits, beach barriers, lake and river terraces) emerging from tectonic and hydrodynamic activity were determined.*

**Keywords:** *Depositional environments, fluvio-lacustrine sediments, grain size analysis, Lake Van, Moralli Stream, Quaternary*

## GİRİŞ

Sedimentolojinin temel hedeflerinden biri, sedimanter istiflerdeki tane boyu dağılımlarından yararlanılarak sedimanların depolanma ortamları ile ilgili çıkarımlarda bulunabilmektir (McLaren, 1981). Ayrıca, tane boyu dağılımı ve tane boyu istatistiksel parametreleri ile tortulun taşınma yolları ve taşıma yönü belirlenebilmektedir (Gao vd., 1994). Tortul tane boyu dağılımı, bir tortulun oluştuğu hidrolik koşullar hakkında oldukça kesin bilgi vermektedir (Dade ve Friend, 1998). Her yıl akarsular aracılığıyla karadan okyanuslara tortul taşınmakta olup, tortulların çoğunlukla nehir deltasında, kıta sahanlığında ve kıyı boyunca biriktiği tespit edilmiştir (Syvitski vd., 2003). Akarsular, su döngüsünün önemli bir parçası

olmakla birlikte yeryüzünü şekillendirerek (Erinç, 2012), hem tortul taşıma ajanı olarak çalışmakta hem de depolanma ortamları oluşmasını sağlamaktadır (Kazancı vd., 2011). Akarsu kanalının şekli ise akarsuyun hidrodinamik enerjisiyle pekişmemiş tortulları aşındırması, taşınması ve depolanması gibi çevresel faktörleri yansıtmaktadır. Hidrolik enerji ve tortul tane boyu arasındaki ilişkiler, taşınma ve depolanma mekanizmalarıyla yakından ilişkili olmakla birlikte eski akarsu birikintilerinin yorumlanması için de önemlidir (Dade ve Friend, 1998). Bu bağlamda, daha önce detaylı bir şekilde araştırılmamış olan Moralli Deresi, yüksek potansiyelde sedimentolojik ve jeomorfolojik verilere sahiptir. Bu çalışmada, Moralli Deresi kanalı ve çevresinde depolanan Kuvaterner yaşlı akarsu tortulları ile

derenin Van Gölü'ne döküldüğü alanda depolanan kıyı tortullarının tane boyu dağılımı belirlenerek, depolanma ortamlarındaki hidrodinamik enerjinin aşınma, taşınma ve depolanma sürecindeki etkisinin ortaya çıkarılmasının yanısıra tortul fasiyeslerin tanımlanması, depolanma ortamı özelliklerinin ve jeomorfolojik unsurların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

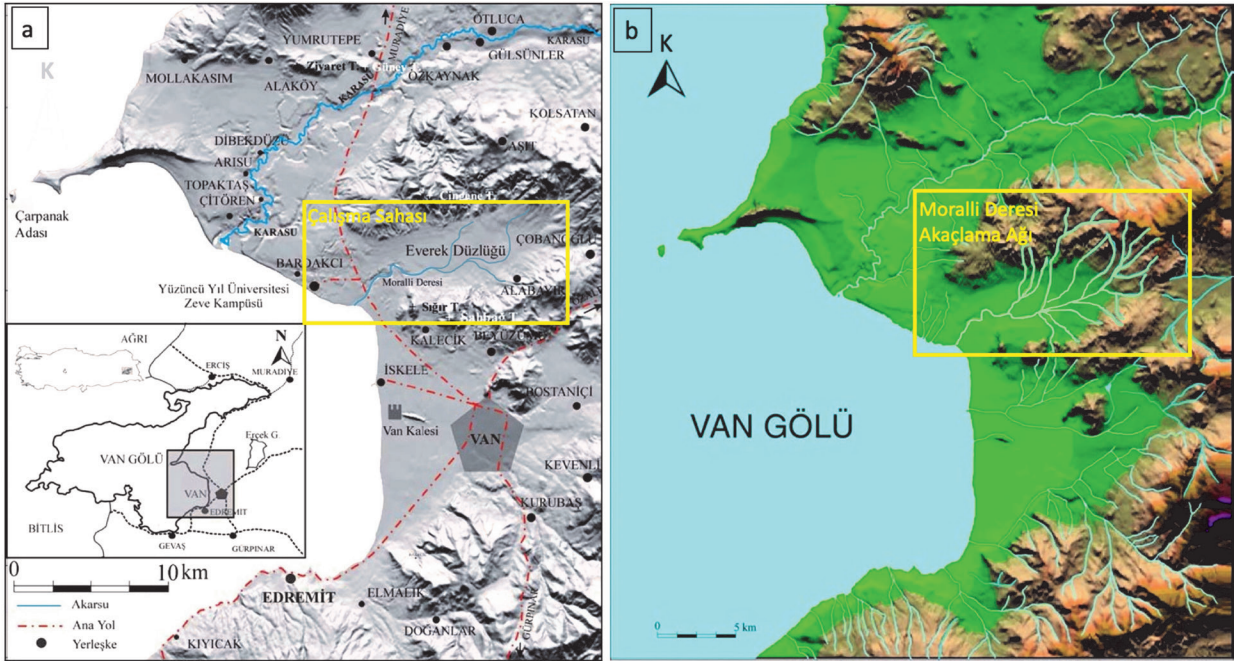
## JEOLJİK ve JEOMORFOLOJİK KONUM

Çalışma sahası Van Gölü doğusunda, Van ili K50-c4 paftası içerisinde, yaklaşık 30 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamakta ve doğuda Çobanoğlu Köyü, batıda Van Gölü ve Bardakçı Köyü ve güneyinde Kalecik Köyü ile sınırlanmaktadır. Çalışma kapsamındaki Moralli Deresi'ne ait yer bulduru haritası ve akaçlama ağı haritası sırasıyla Şekil 1a ve Şekil 1b'de verilmiştir. Moralli Deresi, Ağazul

Tepe'nin güneyinden doğan Beyaztaş ve Tekmal Dereleri ve Kavran Tepe çevresinden doğan Osmangöl ve Katar dereleriyle Everek düzlüğünün orta kesimlerinde birleşmektedir (Şekil 2). Batıya doğru gidildikçe, diğer kaynakları da alarak Van Gölü'ne dökülmektedir.

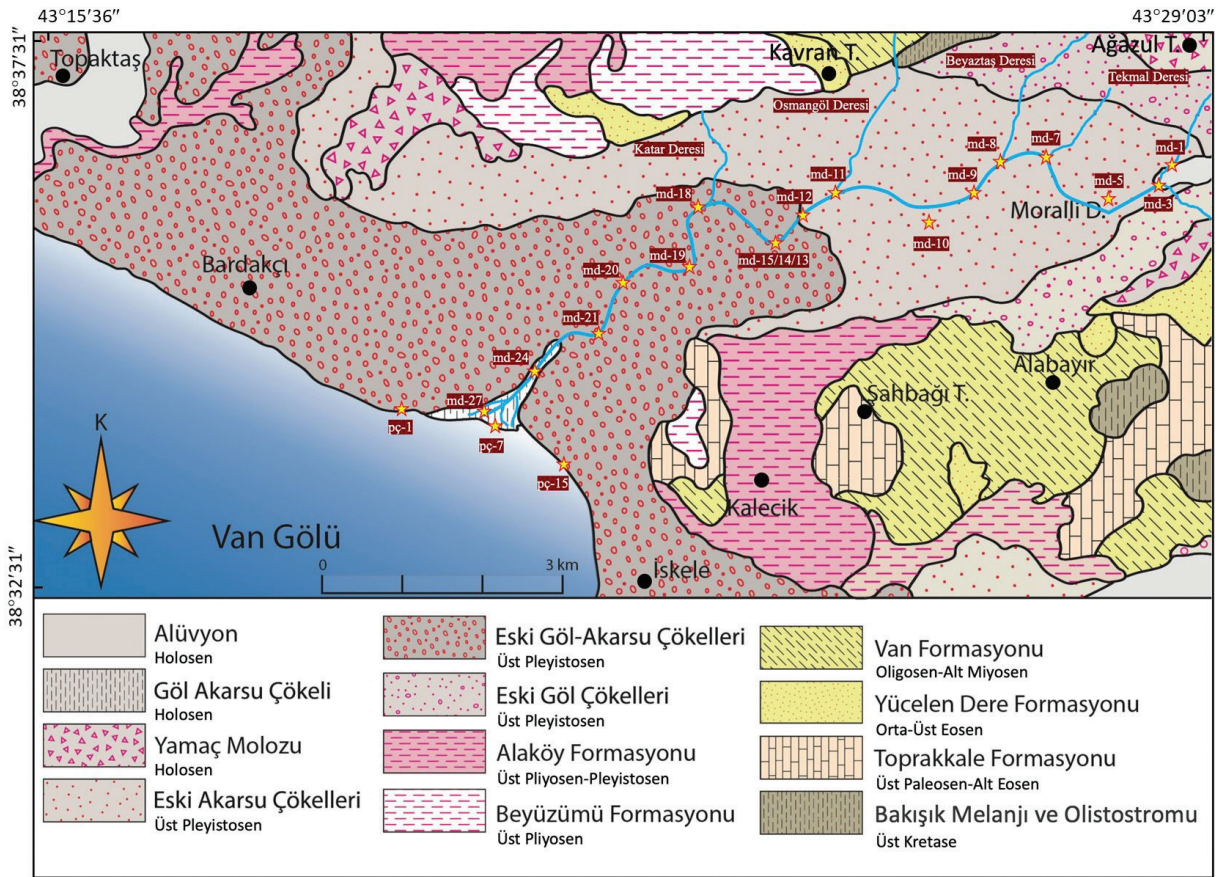
## Bölgesel ve Yerel Tektonik Özellikler

Türkiye'deki iki büyük transform fay sisteminin (DAFZ ve KAFZ) birlikte bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesi'nin jeomorfolojisi, yoğun olarak tektonizma, iklimsel değişiklikler ve zengin akarsu akaçlama sistemleri kontrolünde şekillenmektedir. Çeşitli jeomorfolojik unsurlara ve sedimanter havzalara sahip olan Doğu Anadolu Bölgesi, morfo-sedimanter çalışmalar için oldukça ilgi çekici özelliktedir.



Şekil 1. a) Çalışma alanının yer bulduru haritası, b) Çalışma alanının akaçlama ağı haritası (Özkaymak, 2003'ten değiştirilerek hazırlanmıştır).

Figure 1. a) Location map of the studied area, b) Drainage area map of the studied area (modified from Özkaymak, 2003).



**Şekil 2.** Çalışma alanının jeoloji haritası (Sümengen, 2008'den değiştirilmiştir).

**Figure 2.** Geology map of the studied area (modified from Sümengen, 2008).

Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki Aras (Saber vd., 2020; Avşin ve Aras, 2021; Fazelpoor vd., 2021; Utlı ve Ghasemlounia, 2021), Dicle (Dengiz, 2010; Nicoll, 2010; Muhaimed vd., 2017; Husain, 2021), Fırat (Jotheri vd., 2016; Sissakian ve Al-Ansari, 2019; Lazim vd., 2020; Kadhim ve Kadhim, 2020), Kura (Mikhailov vd., 2003; Vincent vd., 2010; von Suchodoletz vd., 2016) gibi önemli akarsular yanlarında belirtilen araştırmacılar tarafından jeomorfoloji bağlamında incelenmiştir ve bölgedeki flüvyal jeomorfolojik unsurların tektonik aktiviteler kontrolünde geliştiğine değinilmiştir. Van Gölü'nün doğusunda yer alan ve Van Gölü'ne dökülen Bendimahi (Zorer, 2006; Reimer vd., 2009; Bulum, 2015; Üçler, 2019; Üner, 2019), Engil (Alaeddinoğlu

vd., 2016; Üner, 2018; Akköprü vd., 2019), Karasu (Kuzucuoğlu vd., 2010; Akın vd., 2013; Christol vd., 2013) ve Zilan (Çiftçi vd., 2008; Akköprü ve Christol, 2019) gibi büyük akarsular gerek jeolojik gerekse jeomorfolojik açıdan, yanlarında belirtilen çalışmalarda incelenmiştir. Ayrıca, diğer büyük akarsuların yer aldığı bölgeye yakın alanda, nispeten onlardan daha küçük bir menderesli akarsu olan Moralli Deresi bulunmaktadır. Moralli Deresi'nin bulunduğu arazideki jeomorfolojik unsurlar ile akarsu akaçlama ağı, Alaköy Bindirme Fayı (Okuldaş ve Üner, 2013; Yalçın vd., 2013) ve Everek Bindirme Fayı (Koçyiğit, 2013; Dicle ve Üner, 2017; Kamar, 2021) kontrolünde şekillenmektedir.

## Litostratigrafi

Van Gölü Havzası, Paleozoyik'ten günümüze kadar farklı yaşlara ait kayaç gruplarını içermektedir (Arni, 1938; Kıraner, 1959; Degens vd., 1984; Aksoy, 1988; Acarlar vd., 1991, Üner, 2003). Çalışma alanında ise yaşlıdan gence doğru Üst Kretase Bakışık melanji ve olistrostromu (Şenel vd., 1984), Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlı Toprakkale Formasyonu (Balkaş vd., 1980; Acarlar vd., 1991), Orta-Geç Eosen yaşlı Yücelendere Formasyonu (Şenel vd., 1984; Acarlar vd., 1991), Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Van Formasyonu (Perinçek, 1978; Balkaş vd., 1980; Şenel vd., 1984; Şenel, 1987; Acarlar vd., 1991; Yılmaz, 2017; Kazak, 2019; Korkmaz, 2020), Geç Pliyosen yaşlı Beyüzümü Formasyonu (Kutman vd., 1978; Acarlar vd., 1991; Üner vd., 2003), Geç Pliyosen-Pleyistosen yaşlı Alaköy Formasyonu (Acarlar vd., 1991), Üst Pleyistosen eski göl tortulu, eski göl-akarsu tortulu ve eski akarsu tortulu ile son olarak da Holosen yaşlı yamaç molozu, göl-akarsu tortulu ve alüvyon (Sümengen, 2008) birimleri bulunmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 3).

## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında öncelikle, çalışma alanındaki sedimanter kayaçların tanımlanması, sedimanter yapıların belirlenmesi, tortul örnekleme yapılması ve çalışma alanındaki jeomorfolojik unsurların tespit edilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma materyalini, Moralli Deresi'nin kaynak noktasından başlanarak sistematik şekilde dere yatağındaki pekişmemiş yüzey tortullarından alınan örnekler ile Moralli Deresi'nin Van Gölü'ne döküldüğü kıyı alanındaki pekişmemiş yüzey tortullarından alınan numuneler oluşturmaktadır. Dere yatağında depolanmış tortulların tane boyu dağılımını belirleyebilmek için dere kanalının sol yakasında depolanmış akarsu ile temaslı tortullardan, yüzeyden dibe doğru yaklaşık 5 cm kalınlıktaki alandan küçük aktarıcı kürek kullanılarak toplamda on bir adet numune alınmıştır.

SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KUVATERNER	HOLOSEN	Holosen tortulları	>20	Alüvyon	Alüvyon Eski göl-akarsu tortulları Yamaç döküntüsü
		Pleyistosen tortulları	150	Eski akarsu tortulları Eski göl-akarsu tortulları Eski göl tortulları	Eski akarsu tortulları Eski göl-akarsu tortulları Eski göl tortulları
	ALAKÖY	100	Kumtaşı, kilitaşı, marn, pomza ardalması	Kumtaşı, kilitaşı, marn, pomza ardalması	
NEOJEN	PLİYÖSEN	Beyüzümü	100	Çakiltası, kumtaşı, kokinalı kireçtaşı	Çakiltası, kumtaşı, kokinalı kireçtaşı
		Van	350	Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kilitaşı ardalması	Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kilitaşı ardalması
PALEOJEN	EOSEN	Yücelendere	200	Marn, kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı vb.	Marn, kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı vb.
		Toprakkale	150	Neritik kireçtaşı	Neritik kireçtaşı
KRETASE	GEÇ KRETASE	Bakışık Melanji	400	Bakışık melanji ve olistrostromu: Serpantin, harzburjit, dunit, gabro, kireçtaşı vb.	Bakışık melanji ve olistrostromu: Serpantin, harzburjit, dunit, gabro, kireçtaşı vb.

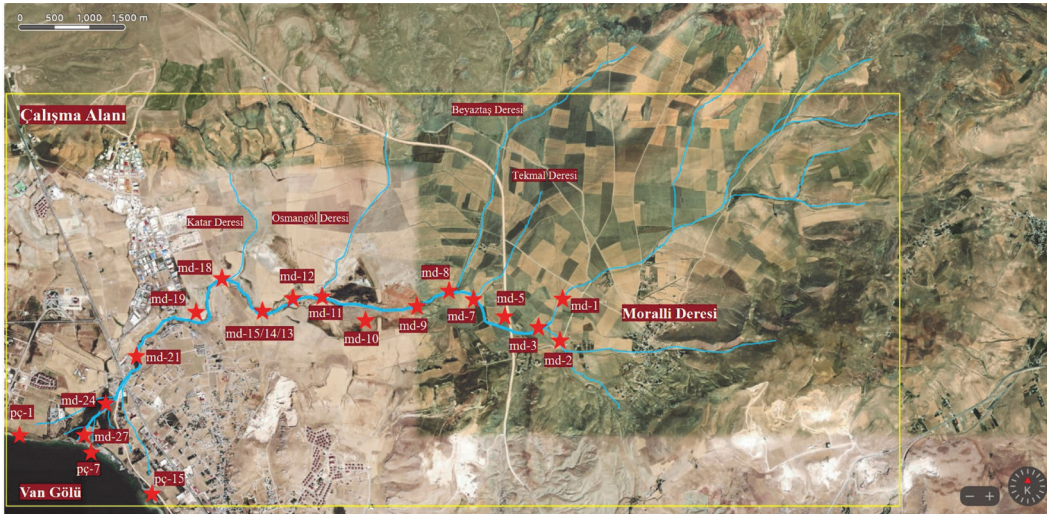
Şekil 3. Çalışma alanının stratigrafik kesiti (Acarlar, 1991; Kamar, 2005; Sümengen, 2008'den değiştirilmiştir).

Figure 3. Stratigraphic section of the studied area (modified from Acarlar, 1991; Kamar, 2005; Sümengen, 2008).

Belirlenen örnekleme aralığı haricinde Moralli Deresi kanalına tortul taşıyan Tekmal, Osmangöl, Beyaztaş ve Katar derelerinin, Moralli Deresi'yle birleştiği alanlardaki pekişmemiş yüzey tortullarından dört adet, kanal içindeki tortul birikim alanlarından olan nokta tümseklerin pekişmemiş yüzey tortullarından üç adet ve taşkın düzlüğü alanlarındaki pekişmemiş yüzey

tortullarından üç adet numune alınmıştır. Kıyı alanından on beş adet tortul numunesi, kıyı çizgisi zonundan, kıyı çizgisinin karaya doğru olan tarafından (kıyı önü) olmak üzere yüzeyden dibe doğru yaklaşık beş santimetrelilik kalınlıktaki bir alandan küçük aktarıcı kürek aracılığı ile alınmıştır. Dere kanalı ve kıyıda yaklaşık 100 m aralıklarla örnekleme yapılmıştır. Deltadan aynı metotla altı adet tortul numunesi alınmıştır. Toplamda kırk iki

adet 2 kg ağırlığında örnek alınmış, örnek alınan noktaların koordinatları GPS ile belirlenmiş ve Google Earth haritası üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4). Örnekleme yapılan noktalardan bazıları jeoloji haritasına işlenmiştir ve koordinatları Çizelge 1’de sunulmuştur. Laboratuvar çalışması kapsamında örnekleme yapılan tortulların tane boyu analizi yapılmıştır.



Şekil 4. Tortul numunelerinin alındığı yerleri gösteren Google Earth haritası.

Figure 4. Google Earth map showing locations of the sediment samples.

Çizelge 1. Moralli Deresi ve Van Gölü kıyı alanından alınan tortul numunelerine ait GPS verileri.

Table 1. GPS data of sediment samples taken from the Moralli Stream and coastal area of Lake Van (Şen, 2015).

Lokasyon	Numune No	Koordinatlar (K;D)
Moralli Deresi Kaynak Alanı	md-1	38,57306; 43,37417
Moralli Deresi Kaynak Alanı	md-2	38,5825; 43,37583
Moralli Deresi Kaynak Alanı	md-3	38,57778; 43,37278
Taşkın Düzlüğü	md-10	38,57722; 43,35806
Tekmal Deresi Birleşim Alanı	md-7	38,57833; 43,36667
Beyaztaş Deresi Birleşim Alanı	md-8	38,57639; 43,36444
Osmangöl Deresi Birleşim Alanı	md-11	38,57611; 43,34194
Nokta Tümseği	md-13/14/15	38,575; 43,33778
Katar Deresi Birleşim Alanı	md-18	38,56111; 43,32694
Delta Düzlüğü	md-21	38,56472; 43,30917
Delta Dağıtım Kanalı	md-24	38,55583; 43,30472
Delta Önü	md-27	38,55639; 43,30306
Göl Kıyısı	pç-1	38,5575; 43,29167
Göl Kıyısı	pç-7	38,55611; 43,30278
Göl Kıyısı	pç-15	38,55278; 43,30972

## Tane Boyu Analizi

Sedimanter tane boyu analizi Folk (1974) yöntemi izlenerek yapılmıştır. Toplam 42 adet tortul numunesi öncelikle laboratuvar koşullarında kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra ise kuruyan numunelerden 200 gr cam beherlere aktarılmış ve fırında 100 °C sıcaklıkta 1 gün boyunca bekletilerek nemden tamamen arınacak şekilde kurutulmuştur. Analiz için hazırlanan elek takımı, en altta tava olacak şekilde alttan üste doğru sırasıyla 0,074<0,125<0,250<0,420<1<2<4,75 mm elek açıklıklarına sahip eleklerden oluşturulmuştur. Kurulan elek takımı elektrikli-titreşimli elek sallayıcısına yerleştirilmiş ve en üstteki eleğe (4.75 mm) 100 gr numune dökülmüştür. Numune konulduktan sonra elek sallayıcısı 10 dakika boyunca çalıştırılmıştır. Analiz sonlanınca eleklerin içindeki farklı tane boylarındaki numuneler hassas terazide tartılarak ağırlıkları saptanmış ve örnek ağırlıkları yüzdeye çevrilmiştir. Bu çalışmada tane boyu sınıflaması için Udden (1914) ve Wentworth (1922) tane boyu ölçeğinden yararlanılmıştır. Araziden alınan tortul örnekleri üzerinde yapılan elek analizi sonucu elde edilen veriler kullanılarak örneklerin içinde bulunan çakıl, kum, silt ve kilin kümülatif yüzde grafikleri çizilmiştir. Elde edilen aritmetik ölçekli kümülatif frekans eğrilerinden, tane boyu istatistik parametrelerinde kullanılmak üzere gerekli  $\Phi$  ( $\Phi$ ) değerleri okunmuştur. Tane boyu grafiklerinden okunan  $\Phi$  değerleri mm'ye çevrilerek kullanılmıştır ( $\Phi = -\log_2 d$ ;  $d = \text{mm}$  tane çapı). Tane boyu istatistik parametrelerinin hesaplanmasında ortalama tane boyu ( $M_z$ ) (1), boylanma ( $S_i$ ) (2), yamukluk ( $S_{ki}$ ) (3) ve tepelenme ( $K_G$ ) (4) formülleri kullanılmıştır (Folk ve Ward, 1957; Folk, 1974).

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \quad (1)$$

$$S_i = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6} \quad (2)$$

$$S_{ki} = \frac{(\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50})}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{(\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50})}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \quad (3)$$

$$K_G = \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{2,44(\Phi_{75} - \Phi_{25})} \quad (4)$$

## BULGULAR

Moralli Deresi sistemindeki hidrodinamik aktivitelerin tane boyu dağılımına etkisi, depolanma ortamlarında çökelen tortulların litofasiyes özellikleri, fasiyes birlikleri ile atmosferik ve hidrodinamik aktivitelere bağlı olarak devam eden aşınma, taşınma ve depolanma süreçleri etkisi altında oluşumuna devam eden sedimanter istifler, sedimanter yapılar ve jeomorfolojik unsurlar belirlenmiştir.

### Tane Boyu ve Tane Boyu İstatistik Parametreleri

Elek analizi sonucunda elde edilen akarsu, delta ve göl tortullarına ait tane boyu verileri Çizelge 2'de, Folk ve Ward (1957)'e göre hesaplanan ortalama tane boyu dağılımı ( $M_z$ ), boylanma derecesi ( $S_i$ ), yamukluk derecesi ( $S_{ki}$ ) ve tepelenme derecesi ( $K_G$ ) verileri ise Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca, elde edilen veriler kullanılarak tane boyu dağılım grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 5).

Akarsu kaynak alanından alınan kumların tane boyları çoğunlukla 0,42-0,25 mm arasında, akarsu yatağının akış aşağı kısımlarından alınan kumların tane boyları ise 0,125-0,037 mm arasında olduğu tespit edilmiştir. Taşkın düzlüğü tortullarının tane boyları ağırlıklı olarak 0,074-0,037 mm arasında, nokta tümseği tortullarının tane boyları 1-0,074 mm arasında ve dere birleşim alanlarındaki tortulların tane boyları ise 1-0,25 mm arasında bulunmuştur. Taşkın düzlüğü, nokta tümseği ve derelerin birleşim alanlarından alınan tortullar hariç tutulduğunda, akarsu kanalı tortullarındaki tane boylarının, kaynak alanından akış aşağıya doğru gidildikçe incelendiği gözlenmiştir. Akarsu tortullarının ( $m_d$  1, 2, 4, 6, 9, 12, 16, 17, 20) ortalama tane boyu ( $M_z$ ) ince kum-çok ince kum boylarında, boylanma parametresi genel olarak kötü boylanma sınıfında, yamukluk derecesi çoğunlukla kuvvetli negatif çarpık, tepelenme derecesi ise platikurtik olarak tespit edilmiştir.



**Çizelge 2.** Moralli Deresi ve Van Gölü kıyı alanından alınan tortul numunelerine ait elek analizi sonuçları (Şen, 2015).

**Table 2.** Sieve analysis results of the sediment samples taken from the Moralli Stream and coastal area of Lake Van (Şen, 2015).

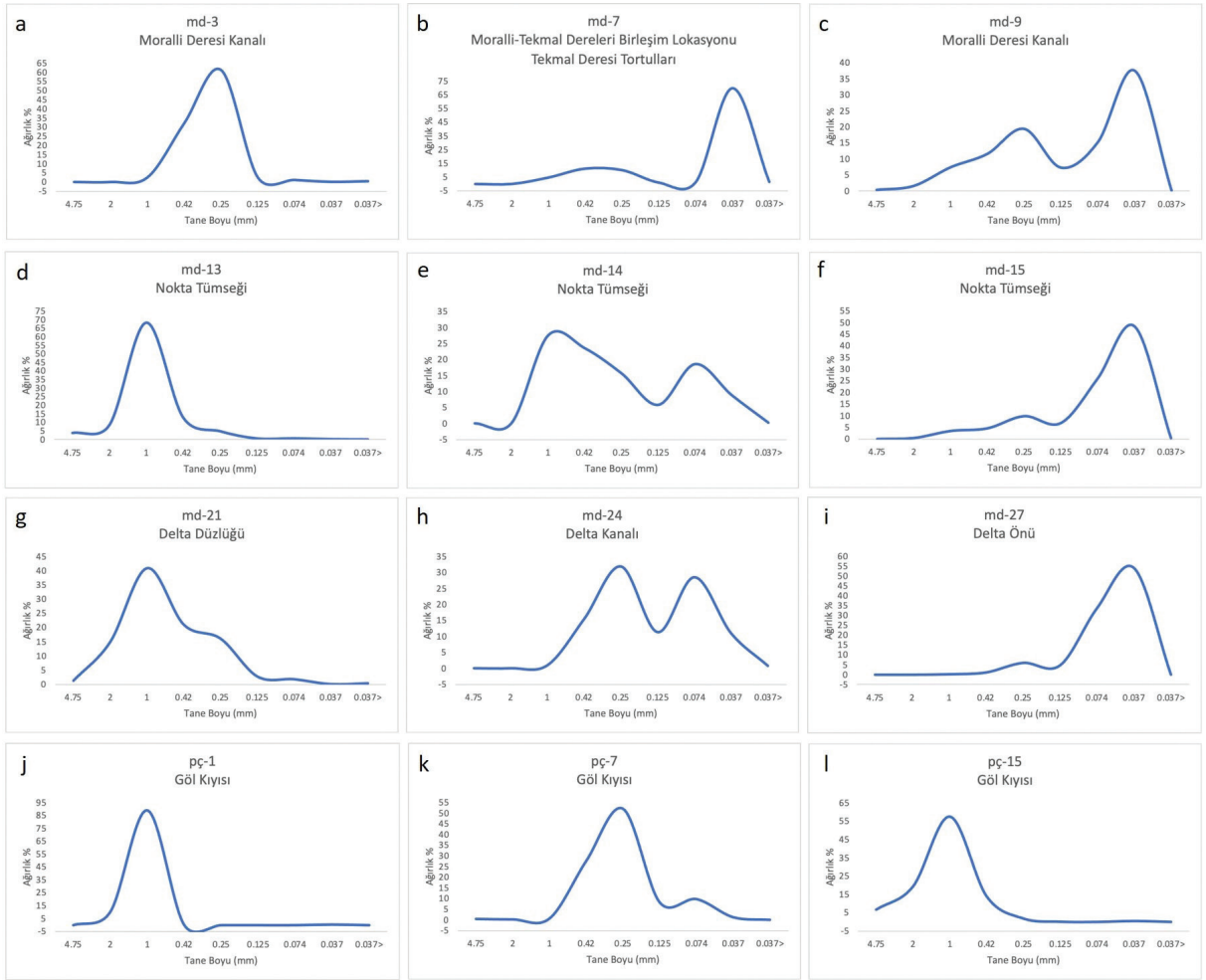
Depolanma Ortamı	Örnek/Elek (mm)	4,75	2	1	0,42	0,25	0,125	0,074	0,037	0,037>	Toplam
Akarsu Yatağı	md1	0	0,75	3,2	6,72	13,28	3,92	12,58	58,02	1,53	98,47
Akarsu Yatağı	md2	0,19	2,73	7,95	11,81	18,36	5,97	16,13	36,45	0,41	99,59
Akarsu Yatağı	md3	0	0	2,57	32,15	61,14	2,48	1,13	0,09	0,44	99,56
Akarsu Yatağı	md4	0,7	1,91	6,31	19,94	14,46	1,59	2,86	51,83	0,4	99,6
Taşkın Düzlüğü	md5	0	0,21	1,89	9,07	8,16	1,35	3,08	76,08	0,16	99,84
Akarsu Yatağı	md6	0	0,1	2,42	8,2	9,79	1,18	3,25	74,92	0,14	99,86
Tekmal Deresi	md7	0	0,06	4,77	11,26	10,11	0,99	1,42	69,85	1,54	98,46
Beyaztaş Deresi	md8	0	0	1,99	31,8	61,22	2,87	1,62	0,02	0,48	99,52
Akarsu Yatağı	md9	0,29	1,5	7,33	11,52	19,36	7,22	15,19	37,54	0,05	99,95
Taşkın Düzlüğü	md10	0	1,23	3,64	7,64	13,53	4	11,68	57,89	0,39	99,61
Osmangöl Deresi	md11	0	5,54	45,51	15,27	8,67	4,1	10,14	10,57	0,2	99,8
Akarsu Yatağı	md12	4,3	12,02	34,23	21,82	13,51	2,44	4,24	5,68	1,76	98,24
Nokta Tümeşği	md13	0	0,06	27,5	23,47	15,62	5,78	18,52	8,84	0,21	99,79
Nokta Tümeşği	md14	3,85	8,47	68,31	12,81	4,86	0,63	0,71	0,25	0,11	99,89
Nokta Tümeşği	md15	0	0,43	3,46	4,58	9,84	6,86	25,98	48,56	0,29	99,71
Akarsu Yatağı	md16	0	2,42	10,69	6,37	14,15	7,81	21,9	36,25	0,41	99,59
Akarsu Yatağı	md17	0	0	0,04	0,76	8,43	16,87	50,22	23,2	0,48	99,52
Katar Deresi	md18	0	0	45,7	8,76	1,96	6,06	18,21	17,96	1,35	98,65
Taşkın Düzlüğü	md19	0	0,84	4,6	7,6	9,97	11,06	36,42	28,31	1,2	98,8
Akarsu Yatağı	md20	0,43	19,75	37,79	13,29	10,37	3,31	7,72	6,31	1,03	98,97
Delta Düzlüğü	md21	1,37	15,04	40,98	21,08	16,17	2,83	1,9	0,16	0,47	99,53
Delta Düzlüğü	md22	2,75	14,91	22,93	17,93	16,06	15,32	9,8	0,12	0,18	99,82
Delta Düzlüğü	md23	0	0	37,6	17,05	13,01	3,5	12,5	14,69	1,65	98,35
Delta Kanalı	md24	0	0	0,95	15,49	31,95	11,33	28,57	10,96	0,75	99,25
Delta Kanalı	md25	0	0,09	3,75	5,1	9,36	7,82	39,53	33,81	0,54	99,46
Delta Önü	md26	0	0	0,23	0,43	9,13	10,63	40,62	38,24	0,72	99,28
Delta Önü	md27	0	0	0,23	1,14	6,01	4,72	33,72	54,15	0,03	99,97
Göl Kıyısı	pç1	0	10,24	89,18	0,1	0	0	0	0,48	0	100
Göl Kıyısı	pç2	0,93	13,31	70,27	14,09	0,68	0,12	0,37	0,23	0	100
Göl Kıyısı	pç3	0	0,05	76	21,45	1,72	0,22	0	0,56	0	100
Göl Kıyısı	pç4	0	0,29	69,88	28,71	0,55	0	0	0,57	0	100
Göl Kıyısı	pç5	5,09	3,01	8,52	61,16	20,51	0	0	1,71	0	100
Göl Kıyısı	pç6	1,01	2,2	5,91	53,89	34,57	1,1	0,83	0,49	0	100
Göl Kıyısı	pç7	0,42	0,2	0,62	27,57	52,03	8,18	9,74	1,24	0	100
Göl Kıyısı	pç8	0	0,31	1,71	12,82	69,65	11,93	2,78	0,8	0	100
Göl Kıyısı	pç9	1,33	0,58	0,29	16,8	66,17	9,24	5,1	0,49	0	100
Göl Kıyısı	pç10	1,65	2,36	44,71	46,34	3,4	0,38	0,72	0,44	0	100
Göl Kıyısı	pç11	0	18,52	34,05	43,35	2,38	1,53	0	0,17	0	100
Göl Kıyısı	pç12	0	0	71,27	21,67	5,25	0,6	0,79	0,42	0	100
Göl Kıyısı	pç13	0	7,9	72,35	19,64	0	0	0	0,11	0	100
Göl Kıyısı	pç14	0,27	1,69	66,48	15,57	6,85	1,96	4,59	2,59	0	100
Göl Kıyısı	pç15	6,72	19,39	57,58	13,91	1,81	0,1	0	0,49	0	100

**Çizelge 3.** Moralli Deresi ve kıyı alanından alınan tortul numunelerine ait tane boyu istatistik parametre verileri (Şen, 2015).

**Table 3.** Grain-size statistic parameter data of the sedimentary samples taken from the Moralli Stream and coastal area (Şen, 2015).

Depolanma Ortamı	Örnek No	Mz		Si		Ski		KG	
Akarsu Yatağı	md1	3,53	çok ince kum	1,43	kötü boylanma	-0,73	kuvvetli negatif çarpık	0,88	platikurtik
Akarsu Yatağı	md2	2,83	ince kum	1,8	kötü boylanma	-0,39	kuvvetli negatif çarpık	0,72	platikurtik
Akarsu Yatağı	md3	1,17	orta kum	0,6	orta iyi boylanma	-0,09	simetrik	0,82	platikurtik
Akarsu Yatağı	md4	3,1	çok ince kum	1,92	kötü boylanma	-0,78	kuvvetli negatif çarpık	0,64	çok platikurtik
Taşkın Düzlüğü	md5	3,6	çok ince kum	1,51	kötü boylanma	-0,82	kuvvetli negatif çarpık	3,69	aşırı leptokurtik
Akarsu Yatağı	md6	3,47	çok ince kum	1,48	kötü boylanma	-0,76	kuvvetli negatif çarpık	4,41	aşırı leptokurtik
Tekmal Deresi	md7	3,37	çok ince kum	1,65	kötü boylanma	-0,81	kuvvetli negatif çarpık	0,7	platikurtik
Beyaztaş Deresi	md8	1,2	orta kum	0,58	orta iyi boylanma	-0,2	negatif çarpık	0,87	platikurtik
Akarsu Yatağı	md9	2,8	ince kum	1,79	kötü boylanma	-0,34	negatif çarpık	0,69	platikurtik
Taşkın Düzlüğü	md10	3,43	çok ince kum	1,6	kötü boylanma	-0,68	kuvvetli negatif çarpık	0,76	platikurtik
Osmangöl Deresi	md11	1,03	orta kum	1,99	kötü boylanma	0,71	kuvvetli pozitif çarpık	0,85	platikurtik
Akarsu Yatağı	md12	0,4	kaba kum	1,75	kötü boylanma	0,45	kuvvetli pozitif çarpık	1,29	leptokurtik
Nokta Tümseği	md13	1,4	orta kum	1,81	kötü boylanma	0,37	kuvvetli pozitif çarpık	0,65	çok platikurtik
Nokta Tümseği	md14	-0,37	çok kaba kum	0,64	kötü boylanma	0,21	pozitif çarpık	1,64	çok leptokurtik
Nokta Tümseği	md15	3,47	çok ince kum	1,39	kötü boylanma	-0,5	kuvvetli negatif çarpık	1,2	leptokurtik
Akarsu Yatağı	md16	2,93	ince kum	1,83	kötü boylanma	-0,42	kuvvetli negatif çarpık	0,77	platikurtik
Akarsu Yatağı	md17	3,43	çok ince kum	0,92	orta boylanma	-0,17	negatif çarpık	1,41	leptokurtik
Katar Deresi	md18	1,2	orta kum	2,1	çok kötü boylanma	0,65	kuvvetli pozitif çarpık	0,56	çok platikurtik
Taşkın Düzlüğü	md19	2,9	ince kum	1,7	kötü boylanma	-0,48	kuvvetli negatif çarpık	1,02	mezokurtik
Akarsu Yatağı	md20	0,6	kaba kum	2,09	kötü boylanma	0,52	kuvvetli pozitif çarpık	1,15	leptokurtik
Delta Düzlüğü	md21	0,06	kaba kum	1,16	kötü boylanma	0,28	pozitif çarpık	1,01	mezokurtik
Delta Düzlüğü	md22	0,73	kaba kum	1,82	kötü boylanma	0,25	pozitif çarpık	0,76	platikurtik
Delta Düzlüğü	md23	1,43	orta kum	1,95	kötü boylanma	0,46	kuvvetli pozitif çarpık	0,53	çok platikurtik
Delta Kanalı	md24	2,26	ince kum	1,33	kötü boylanma	0,26	pozitif çarpık	0,78	platikurtik
Delta Kanalı	md25	3,3	çok ince kum	1,39	kötü boylanma	-0,55	kuvvetli negatif çarpık	1,38	leptokurtik
Delta Önü	md26	3,66	çok ince kum	0,95	orta boylanma	-0,26	negatif çarpık	0,94	mezokurtik
Delta Önü	md27	3,93	çok ince kum	0,9	orta boylanma	-0,28	negatif çarpık	1,12	leptokurtik
Göl Kıyısı	pç1	-0,53	çok kaba kum	0,32	çok iyi boylanma	-0,17	negatif çarpık	0,81	platikurtik
Göl Kıyısı	pç2	-0,46	çok kaba kum	0,48	iyi boylanma	-0,09	simetrik	1,29	leptokurtik
Göl Kıyısı	pç3	-0,2	çok kaba kum	0,51	orta iyi boylanma	0,32	kuvvetli pozitif çarpık	1,63	çok leptokurtik
Göl Kıyısı	pç4	-0,2	çok kaba kum	0,53	orta iyi boylanma	0,28	pozitif çarpık	0,99	mezokurtik
Göl Kıyısı	pç5	0,63	kaba kum	0,79	orta boylanma	-0,1	simetrik	1,81	çok leptokurtik
Göl Kıyısı	pç6	0,83	kaba kum	0,61	orta iyi boylanma	0,06	simetrik	0,77	platikurtik
Göl Kıyısı	pç7	1,4	orta kum	0,85	orta boylanma	-0,01	simetrik	1,45	leptokurtik
Göl Kıyısı	pç8	1,53	orta kum	0,52	orta iyi boylanma	-0,15	negatif çarpık	1,47	leptokurtik
Göl Kıyısı	pç9	1,5	orta kum	0,53	orta iyi boylanma	-0,02	simetrik	1,11	leptokurtik
Göl Kıyısı	pç10	0	kaba kum	0,63	orta iyi boylanma	0,02	simetrik	0,77	platikurtik
Göl Kıyısı	pç11	-0,16	çok kaba kum	0,9	orta boylanma	-0,14	negatif çarpık	0,85	platikurtik
Göl Kıyısı	pç12	-0,2	çok kaba kum	0,56	orta iyi boylanma	0,32	kuvvetli pozitif çarpık	1,55	çok leptokurtik
Göl Kıyısı	pç13	-0,4	çok kaba kum	0,53	orta iyi boylanma	0,13	pozitif çarpık	1,55	çok leptokurtik
Göl Kıyısı	pç14	1,13	orta kum	1,1	kötü boylanma	0,63	kuvvetli pozitif çarpık	1,95	çok leptokurtik
Göl Kıyısı	pç15	-0,56	çok kaba kum	0,76	orta boylanma	0,07	simetrik	1,33	leptokurtik

Mz: ortalama tane boyu, Si: boylanma, Ski: yamukluk, KG: tepelenme.



Şekil 5. Tane boyu dağılım grafikleri.

Figure 5. Grain size distribution graphics.

Taşkın düzlüğü tortullarının (md 5, 10, 19) ortalama tane boyu çok ince kum sınıfında olup, kötü boylanma, negatif çarpıklık ve tepelenme derecesi bakımından da leptokurtik-platikurtik sınıf aralığını göstermektedir. Nokta tümseği tortulları (md 13, 14, 15) kaba-orta-çok ince kum ortalama tane boylarında kötü boylanmalı olmakla birlikte, çoğunlukla pozitif çarpıklık ve leptokurtik özellikler sunmaktadır. Derelerin birleşim yerlerinin tortullarında (md 3, 7, 8, 11, 18) ise ortalama tane boyu orta kum sınıfında olup, iyi boylanma, simetrik ile pozitif çarpıklık ve platikurtik parametre değerlerini vermiştir.

Delta düzlüğünden alınan tortul numunelerinin (md 21, 22, 23) tane boyları 4,75-0,25 mm, delta kanallarından alınan tortul numunelerinin (md 24, 25) tane boyları 1,00-0,25 mm, delta önü alanından alınan tortul numunelerinin (md 26, 27) tane boyları ise 0,074-0,037 mm arasında dağılım göstermiştir. Delta düzlüğünden delta önü alanına doğru tane boyu dağılımı incelendiğinde, tane boylarının akış aşağıya doğru incelendiği ve deltanın farklı depolanma birimlerini temsil eden üç farklı tane boyu fraksiyonu olduğu belirlenmiştir. Delta düzlüğü tortullarının ortalama tane boyu kaba kum sınıfında, kötü boylanmalı, pozitif çarpık ve mezokurtik özelliklerinde, delta kanalı

tortullarının ortalama tane boyu orta-ince kum sınıfında, kötü boylanmalı, pozitif çarpık ve platikurtik özelliklerinde, delta önü tortullarının ortalama tane boyu çok ince kum sınıfında, orta boylanmalı, negatif çarpık ve leptokurtik özelliklerde olduğu belirlenmiştir.

Kıyı tortullarının tane boyları ise ağırlıklı olarak 1-0,42 mm aralığında olduğu tespit edilmiştir. Kıyı alanında özellikle düşük enerjili kıyı önü alanında 0,074-0,037 mm boyundaki ince taneleri içeren tortullar bulunurken, akıntı kanalı ile kıyı kırımın alanlarında ise >4,75 mm boyundaki çakıl tanelerini içeren tortulların çökeldiği belirlenmiştir. Van Gölü kıyı tortullarının (pç1-15) ortalama tane boyu dağılımı çok kaba kum, kaba kum ve orta kum boylarında olup, ortayı, orta boylanma, simetrik-pozitif çarpıklık ve leptokurtik parametreleriyle temsilidir. Akarsu kanalı tortullarının tane boyu dağılım grafiklerinde genel olarak tek-tepeli eğri (Şekil 5a), derelerin birleşim noktalarına ait tortulların tane boyu dağılım grafiklerinde çift-tepeli eğri gözlenmiştir (Şekil 5b ve Şekil 5c). Nokta tümseği tortullarında ise akış aşağı yönde tortul tane boyu incelmekte olup tane boyu dağılım grafikleri sırasıyla tek tepeli eğri (Şekil 5d), çift tepeli eğri (Şekil 5e) ve tek tepeli eğri (Şekil 5f) sunmuştur. Delta düzlüğü tortullarında tek-tepeli eğri (Şekil 5g), delta kanalı tortullarında çift-tepeli eğri (Şekil 5h), delta önü tortullarında ise tek-tepeli eğri (Şekil 5i) gözlemlenmiştir. Kıyı tortullarının tane boyu dağılımı grafiklerinde ise ağırlıklı olarak tek-tepeli eğriler (Şekil 5j ve Şekil 5l) elde edilmiştir. Ancak, akarsu ile göl birleşim alanından alınan tortullarda çift-tepeli eğrilere sahip grafik de (Şekil 5k) bulunmaktadır.

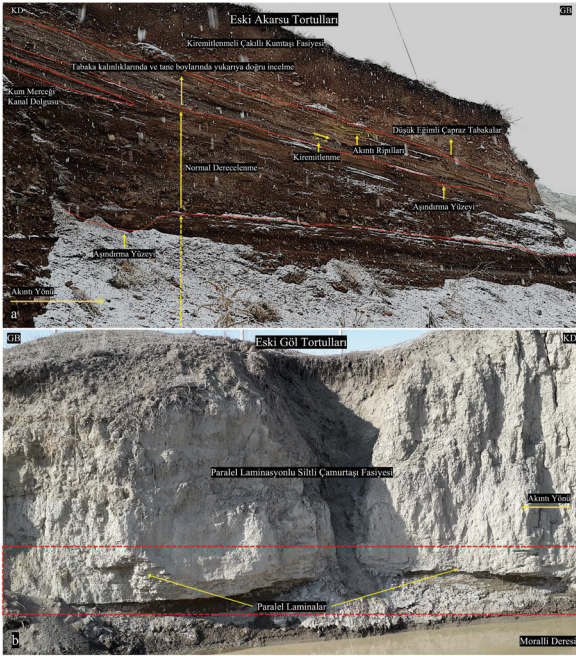
### **Pleyistosen Tortullarının Litofasiyes Özellikleri**

Çalışma alanındaki Pleyistosen yaşlı sedimanter kayaçların litofasiyes özellikleri, sahada yapılan ayrıntılı sedimantolojik çalışmalar sonucunda belirlenmiş olup, elde edilen veriler ile depolanma

ortamları ve süreçleri hakkında çıkarımlarda bulunulmuştur. Bu çalışma kapsamında Miall (1996)'da yer alan litofasiyes tanımlamalarından yararlanılmıştır. İnceleme alanındaki Kuvaterner yaşlı birimler, iklimsel değişiklikler ve tektonik faaliyetler sonucu gerek temel kayaçların atmosferik ve biyolojik süreçlerin aktivitesine bağlı olarak bozunup yerinde depolanması, gerekse de taşıma ajanları aracılığıyla havzaya taşınıp depolanmasıyla oluşmuştur.

### **Kiremitlenmeli çakıllı kumtaşı fasiyesi (Md)**

Bu fasiyes Moralli Deresi'nin kaynak alanı ve yakın çevresinde tespit edilmiştir. Koyu kahverengi ve yer yer kırmızı renklere olan tane destekli çakıllı-kumtaşı fasiyesi, köşeliden yarı yuvarlaklığa kadar değişen tane şekli, yer yer akış aşağı yönünü işaret eden kiremitlenme gösteren çeşitli boylardaki kayaç parçalarını ihtiva etmektedir. Bu fasiyesi oluşturan kırıntılı tortullar düşük eğimli çapraz tabakalanma göstermektedir. Tabakalarda, tabaka içi yapısı olarak normal derecelenme belirlenmiştir. Tabaka tabanlarında aşınma olduğu gözlenmiş olup, bu aşındırmalar yüksek enerjili ortamdaki hidrodinamik aktivitelerden kaynaklanmıştır. Çakıllı kumtaşı fasiyesinde herhangi bir biyotürbasyon yapısı ve fosil tespit edilmemiştir. Bu fasiyesin, fosil ve biyotürbasyon bulundurmaması, kahverengi ve kırmızı renklere olması, tabaka tabanlarında aşındırma olması, akıntı ripıllarına sahip olması ve içerdiği tortul tanelerinin yönlenme göstermesi sebebiyle karasal bir depolanma ortamı olan akarsuda çökeldiği düşünülmüştür. Ayrıca, akarsu istifinde yukarı doğru tabaka kalınlıklarının ve tane boyunun incelenmesi, menderesli akarsuların nokta tümseği istif modeli için belirgin bir özellik sunmaktadır (Şekil 6a). Kiremitlenmeli çakıllı kumtaşı fasiyesi Alabayır ve Tuşba Mahallesi civarında bulunmaktadır.



**Şekil 6. a)** Eski akarsu tortulları (kiremitlenmeli çakıllı kumtaşı fasiyesi), **b)** Eski göl tortulları (paralel laminasyonlu siltli çamurtaşı fasiyesi).

**Figure 6. a)** Ancient fluvial deposits (imbricated pebbly sandstone facies), **b)** Ancient lacustrine deposits (parallel laminated silty mudstone facies).

### Paralel laminasyonlu siltli çamurtaşı fasiyesi (Vg)

Bu fasiyesi açık gri, açık yeşilimsi-gri renklerle temsili olup, çok ince kum, silt ve kil boyu tanelerden oluşmaktadır. Fasiyesi oluşturan tortullar paralel laminasyon göstermektedir. Lamina tabanlarında herhangi bir aşınma yapısına rastlanmamıştır. Depolanmış tortul tane boyunun çok ince olması ve laminalanma göstermesi, düşük enerjili depolanma ortamını işaret etmektedir. Arazi çalışmaları sırasında bu fasiyeden alınan bir kayaç örneğine %10 oranında seyreltilmiş hidroklorik asit uygulanmış ve oluşan kimyasal tepkimeye bağlı olarak bu fasiyesin içeriğinde karbonat bulunduğu tespit edilmiştir. Açık gri, yeşilimsi-gri renklerinde çok ince tanelerden oluşan, karbonat ihtiva eden ve paralel laminalanma gösteren bu fasiyesin düşük enerjili

derin su (göl) depolanma ortamında çökelmiş düşülmüştür. Moralli Deresi'nin Van Gölü ile birleştiği kıyı alanındaki taraçalarda ve Kalecik Mahallesi civarında belirgin şekilde gözlenmiştir. (Şekil 6b).

### Kumlu çakıltası fasiyesi (Kt)

Bu fasiyesi açık gri ve bej renklerde, çakıl ve kum boyu tanelerden oluşmaktadır. Fasiyesi oluşturan tortulların boyları yüksek enerjili bir depolanma ortamında çökelmeyi işaret etmektedir. Fasiyesi oluşturan çakıl tanelerinin belirgin olarak yassı şekilli olması; depolanma ortamında dalga enerjisinin etkin olduğunu ve kıyı çizgisi zonunda (plaj-sahil) çökelmeyi göstermektedir. Kumlu çakıltası fasiyesinin, düşük enerjili derin su ortamında depolanmayı işaret eden siltli killi göl tortulları ile yanal olarak geçişli olduğu arazi çalışmalarında tespit edilmiştir. Kumlu çakıltası fasiyesi Kalecik Mahallesi civarında görülmektedir.

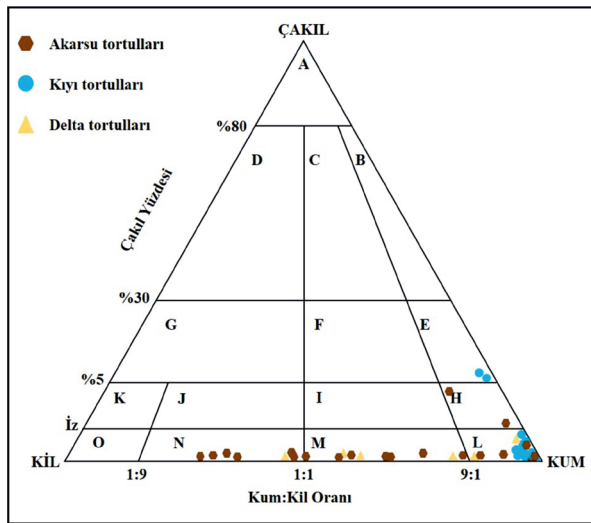
### Holosen Tortullarının Fasiyesi Birlikleri

Güncel tortullar akarsu, delta ve göl kıyısında depolanmış pekişmemiş çeşitli tane boylarındaki tortullar ile temsil edilmektedir. Tortulların dokusal özelliklerini belirlemek amacıyla Folk (1954)'te sunulan kırıntılı tanelerin dokusal sınıflaması için hazırlanmış üçgen diyagramdan faydalanılmıştır (Şekil 7).

### Akarsu tortulları

Çalışma alanında tespit edilmiş dere yatağı, taşkın düzlüğü ve nokta tümseği depolanma alanlarındaki tortullar farklı fasiyesi birlikleri olarak ayrılanmıştır. Genel olarak akarsu tortulları açık kahverengi ve gri renklerdeki çakıl, kum, silt ve kil boyu tanelerden oluşmaktadır. Çakıl boyutundaki taneler yarı yuvarlak-yuvarlak şekillidir. Dere yatağı tortulları üçgen diyagram üzerinde H, L, M

ve N alanlarında bulunmakta ve sırasıyla çok az çakıllı orta kum, iyi boylanmış ince kum, silt, ince kumlu kil dokusal özellikleriyle karakterizedir. Taşkın düzlüğü tortulları silt ve kil boyu ince tortullardan oluşmaktadır. Taşkın düzlüğü tortulları Folk (1954)'ün üçgen diyagramında M ve N alanlarında yer almakta ve sırasıyla silt ile ince kumlu kil dokusal özellikleriyle temsilidir. Nokta tümseği tortulları ise çok az çakıllı orta kum (H), iyi boylanmış ince kum (L) ve silt (M) dokusal özelliklerine sahip olup, ağırlıklı olarak kum ve silt boyu tortul tanelerinden oluşmuştur.



Şekil 7. Kırıntılı tortulların tane boyu sınıflaması üçgen diyagramı (Folk, 1954).

**Figure 7.** Grain size classification ternary diagram of the terrigenous sediments (Folk, 1954).

### Delta tortulları

Delta tortulları delta düzlüğü, delta kanalları ve delta önü fasiyes birlikleri olarak değerlendirilmiştir. Delta düzlüğü tortulları kahverengi, koyu gri ve siyah renklerle temsil edilen ince kum, silt ve kil boyu tortullardan oluşmaktadır. Tortullarda organik madde miktarının oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. Delta düzlüğü tortulları Folk (1954) üçgen diyagramında L ile M alanlarında

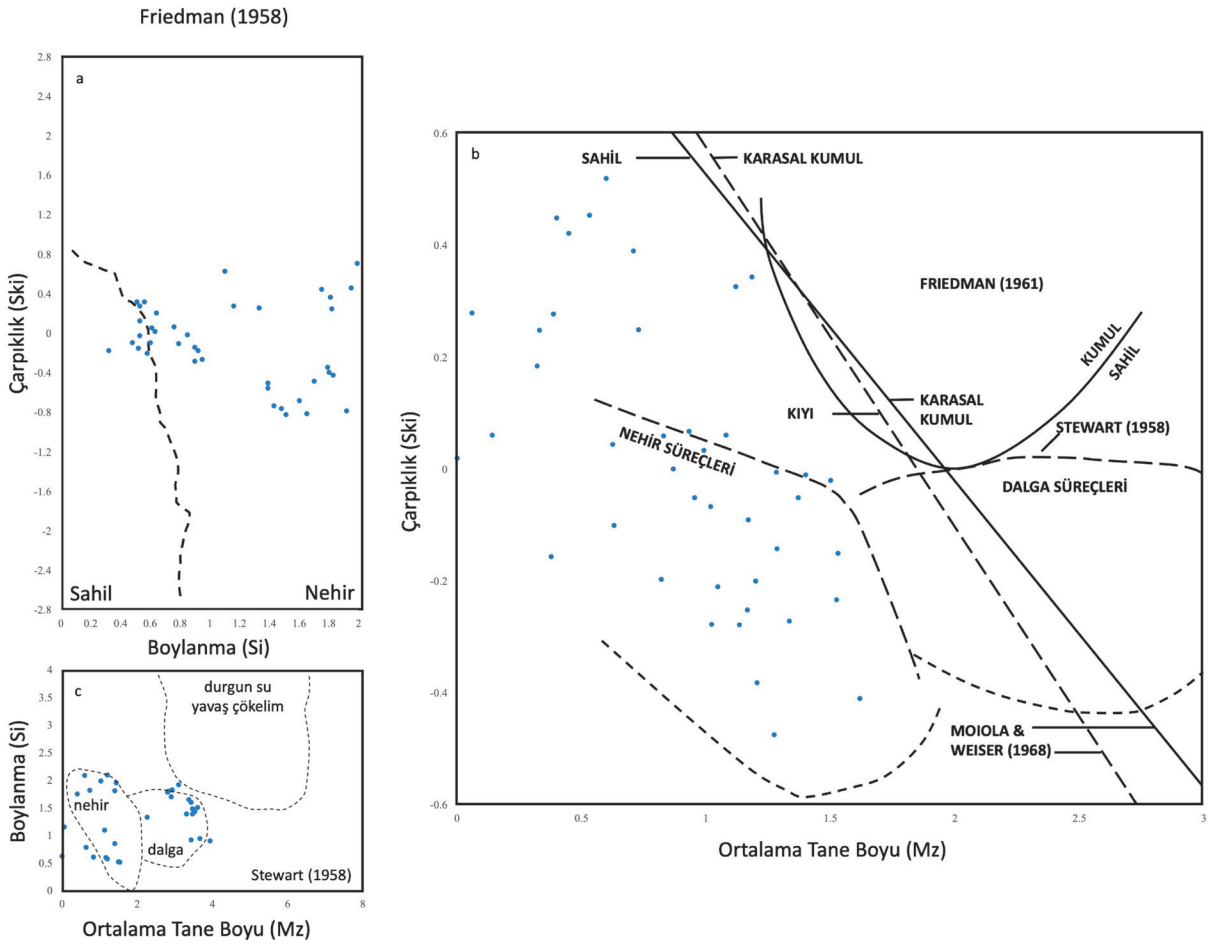
bulunmaktadır. Bu sınıflamaya göre iyi boylanmış ince kum ve silt dokusal özelliğindedir. Silt, kil boyu organik maddece zengin delta tortulları ile göl kıyısı tortullarının ardalanmalı olarak birbirinin üzerine gelecek şekilde depolandığı ve depolanma sürecinin devam ettiği gözlenmiştir. Delta kanalı tortulları kum-silt tane boyu aralığındaki tanelerden oluşmakla beraber dokusal olarak iyi boylanmış ince kum ve silt sınıflamasında yer almaktadır. Delta kanalı tortulları laminalanma göstermekte ve tabandan tavana doğru incelen tane boyları ile karakterize edilmektedir. Delta önü tortulları yüksek oranda silt ve kil boyu tanelerden meydana gelmiştir. Folk (1954)'e ait üçgen diyagramda silt ve ince kum taneli kil dokusal özelliğini işaret eden M ve N alanlarında gözlenmiştir (Şekil 7). Delta tortulları, delta düzlüğünden delta önü alanına dek tane boyunda incelmeye uğruşmuş olup, kıyı tortulları ile yanal yönde geçişlidir.

### Göl kıyısı tortulları

Bej ve açık gri renklerdeki ağırlıklı olarak kum boyu tanelerden oluşmaktadır. Çakıl boyu taneler yassı şekilde olup, kenar ve köşeleri silinmiştir. Tane boyu dokusal sınıflaması diyagramında H ve L alanlarında bulunmakta ve dolayısıyla az çakıllı orta kum ve iyi boylanmış ince kum dokusal özellikleriyle temsil olunur. Kıyı tortulları, kıyı çizgisinin ileri-geri taşınımına bağlı olarak delta tortulları ile yanal geçişlilik sunmaktadır.

### Sedimanter Depolanma Ortamları ve Özellikleri

Çalışma alanında tespit edilen fasiyeslerin depolanma ortamlarını ve süreçlerini belirlemek amacıyla gerek arazi çalışmalarından elde edilen sedimentolojik verilerden gerekse Freidman (1958), Moiola ve Weiser (1968) ve Stewart (1958) çalışmalarındaki depolanma ortamı ve süreçlerinin sınıflandırılması için hazırlanmış diyagramlardan faydalanılmıştır (Şekil 8).



**Şekil 8.** Depolanma ortamı sınıflamaları diyagramları; **a)** Friedman (1958) sınıflama diyagramı, **b)** Moiola & Weisser (1968) sınıflama diyagramı, **c)** Stewart (1958) sınıflama diyagramı.

**Figure 8.** Diagrams for classification of depositional environments; **a)** Friedman (1958) classification diagram, **b)** Moiola & Weisser (1968) classification diagram, **c)** Stewart (1958) classification diagram.

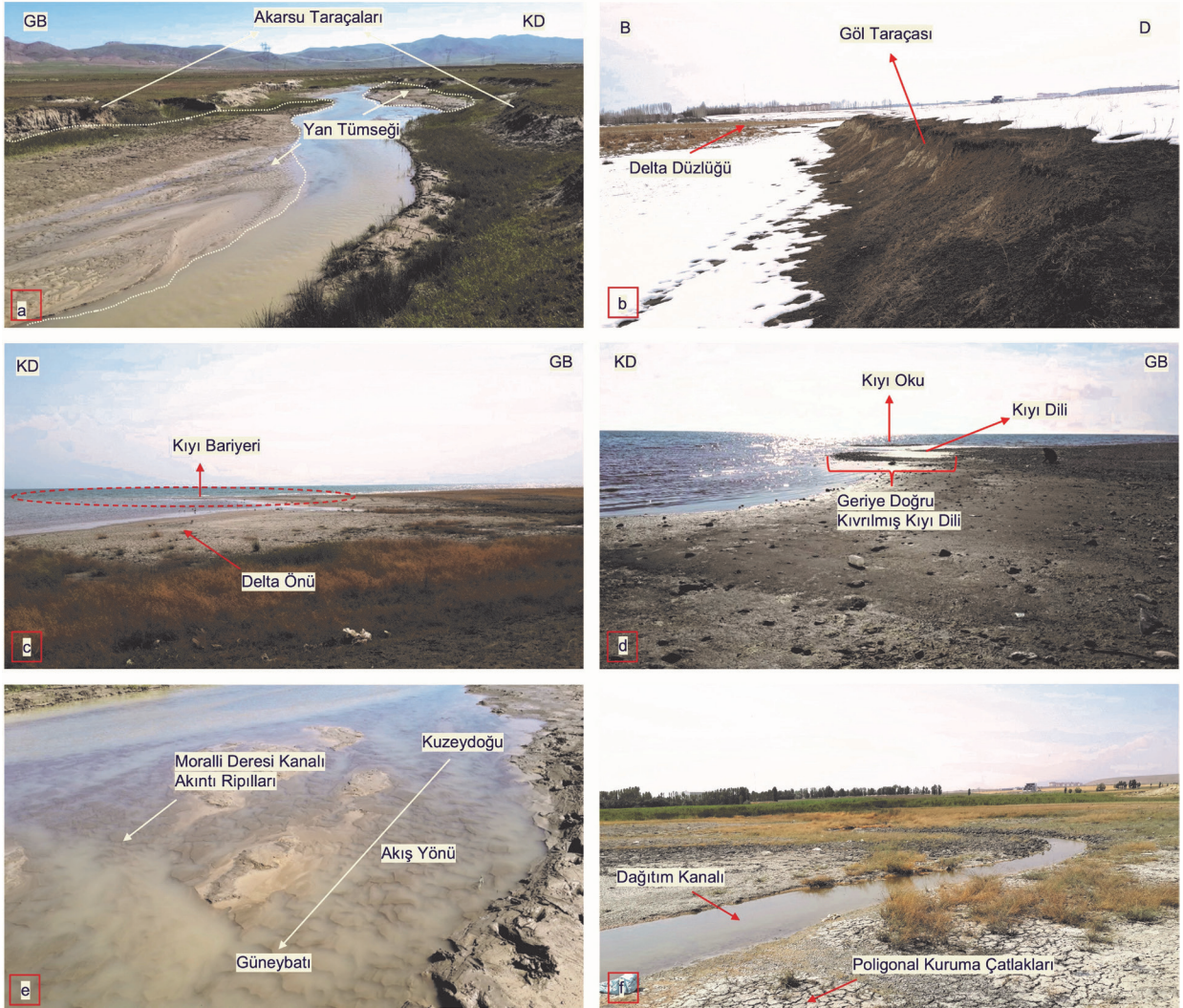
Friedman (1958)'de depolanma ortamı sınıflama diyagramında çarpıklık (Ski) ve boylanma (Si) tane boyu parametreleri kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen Ski ve Si verileri diyagrama işlenmiş ve depolanmanın hem nehir hem de sahil ortamında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8a). Moiola ve Weiser (1968) çalışmasına ait bütünlük sınıflama diyagramında ise Ski ve Mz tane boyu parametreleri kullanılarak depolanma ortamındaki süreçler ve çökme ortamları sınıflandırılmıştır. Moralli Deresi sistemi tortullarına ait Ski ve Mz verileri diyagrama işlenmiştir (Şekil 8b). Sonuç olarak,

veriler diyagramda nehir süreçlerinin olduğu alanda ve kıyı alanlarında dağılım göstermiştir. Stewart (1958)'de depolanma ortamının tespiti için hazırlanan diyagramda ortalama tane boyu (Mz) ve boylanma (Si) parametreleri kullanılmış ve depolanma sürecini etkileyen hidrodinamik koşullar sınıflandırılmıştır. Moralli Deresi sistemindeki tortullara ait ortalama tane boyu ve boylanma parametreleri Stewart (1958) diyagramına işlenmiştir (Şekil 8c). Verilerin bir kısmının "nehir" bir kısmının ise "dalga" bölgelerine düştüğü gözlenmiştir. Çalışma sahası kapsamındaki akarsu, delta ve göl kıyısı

depolanma ortamlarında çökelmiş tortulların gerek üst yüzeylerinde gerekse çevresinde tespit edilen sedimanter yapılar depolanma ortamlarındaki hidrodinamik enerji durumu, akış yönü ve akış hızı hakkında bilgi sağlamıştır.

### Jeomorfolojik unsurlar

Menderesli akarsu özelliğindeki Moralli Deresi kanalı çevresinde iki farklı seviyede akarsu taraçası (Şekil 9a), Van Gölü kıyısı alanında ise kıyı taraçası (Şekil 9b), kıyı bariyeri (Şekil 9c), kıyı dili, kıyı okları gözlenmiştir (Şekil 9d).



**Şekil 9. a)** Moralli Deresi akarsu taraçaları ve yan tümseği, **b)** Van Gölü kıyı taraçası, **c)** Kıyı bariyeri ve delta önü depolanma alanı, **d)** Kıyı oku ve kıyı dili, **e)** Akıntı ripilları, **f)** Poligonal kuruma çatlakları ve dağıtım kanalı.

**Figure 9. a)** Moralli Stream terraces and side bars, **b)** Van Lake beach terraces, **c)** Beach barrier and delta front depositional environment, **d)** Coastal spits and arrow, **e)** Flow ripples, **f)** Polygonal dessication cracks and distributary channel.



## Sedimanter yapılar

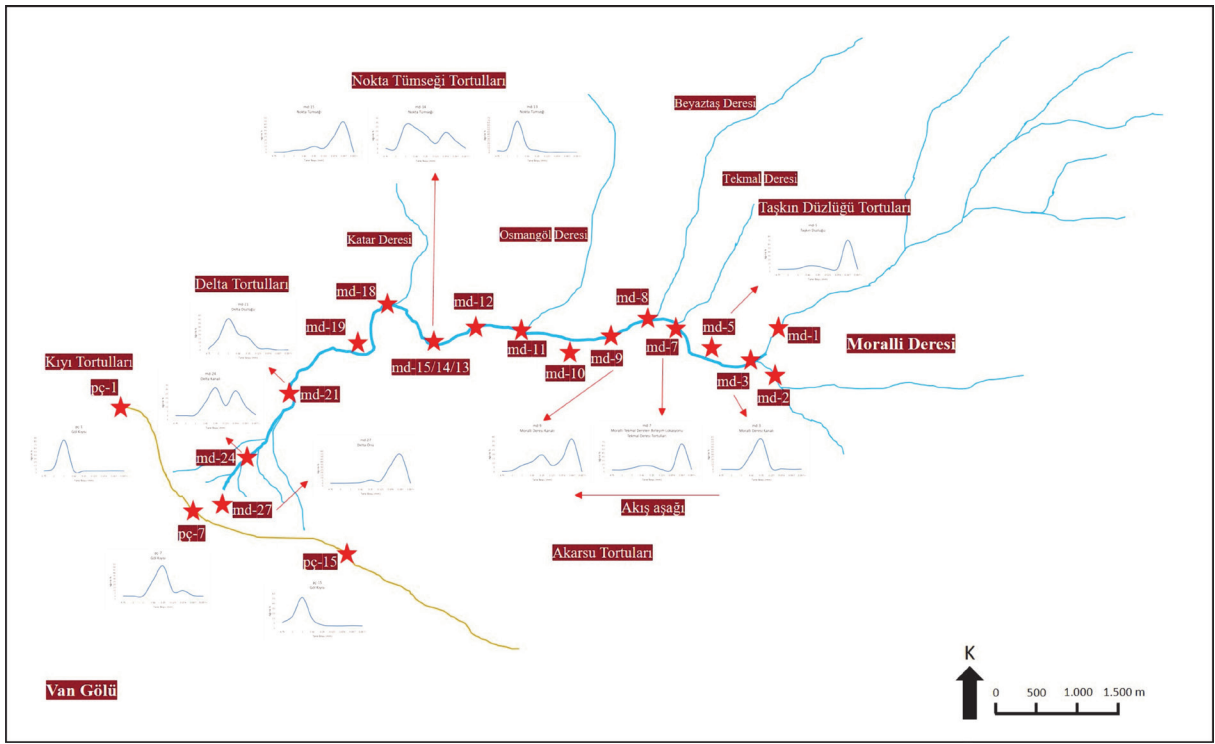
Arazi çalışmaları sırasında dere yatağında akarsu tortullarının birikim alanlarının üst yüzeyinde dalga kırışıklıkları (Şekil 9e), akarsu ve delta taşkın düzlüklerinde kuruma çatlakları (Şekil 9f) ve kil-silt gibi ince taneli tortulların çökeldiği dere kanalı tabanında aktif oyulma sürecini gösteren aşındırma izleri gözlenmiştir.

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

### Hidrodinamik Aktivitelerin Tane Boyu Dağılımına Etkisi ve Tane Boyu İstatistik Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Kırıntılı tortulların dokusu, mineralojisi ve jeokimyası; ayrışma koşulları, iklim, tektonik ve tortul kökeni hakkında güvenilir bilgiler sağlamaktadır (Bhattacharya vd., 2017). Örneğin, tane boyu, tane şekli ve yoğunluğu, taşınma ve depolanma sırasındaki hidrodinamik süreçlerin anlaşılmasını sağlar (Bridge, 2009). McLaren ve Bowles (1985) modeline göre, bir numune dizisindeki ortalama tane boyu ile net tortul taşıma yönü tespit edilmektedir. Bu modele göre tortul istifine ait ortalama tane boyu ince olmakla birlikte iyi boylanma ve negatif çarpıklık gösteriyorsa düşük enerjili taşımayı veya ortalama tane boyu kaba olup, iyi boylanma ve pozitif çarpıklık gösteriyorsa yüksek enerjili taşımayı işaret etmektedir. Bu çalışmadaki akarsu tortullarında kaynaktan akış aşağı yönde tane boyu dağılımı incelendiğinde, orta-ince kum boyu tortulların orta-kötü boylanma ve negatif çarpıklık gösterdiği ve McLaren ve Bowles (1985)'te önerilen modelin düşük enerjili taşımayı işaret eden parametre özellikleriyle uyum gösterdiği saptanmıştır. Granülometrik parametreler ile tortulların dere kanalında bulunma yerlerine göre, granülometrik parametrelerin tortul taşıma yönü tespiti için doğru sonuçlar verdiği söylenebilir (Du vd., 2015). Aynı zamanda granülometrik parametreler akarsu tortullarının düşük porozite ve permeabilite özelliklerine sahip olduğunu işaret etmektedir. Numune alınan noktalar ile bu noktalardan alınan

tortul numunelerine ait tane boyu dağılım grafikleri akaçlama ağı çizimi üzerine işlenmiştir (Şekil 10). Şekil 10'a işlenen verilerle tane boyu dağılımının akış aşağı yönde incelendiği, taşkın düzlüğü tane boyu dağılımı, nokta tümseği tane boyu dağılımı ve ana akarsu kanalına çevreden eklenen diğer akarsuların tane boyu dağılımında oluşturduğu değişikliklerin izlenebilmesi amaçlanmıştır. Dere kanalının başka derelerle birleştiği noktalarda tane boyu dağılımında genel eğilime uymayan farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Tane boyu dağılım grafiklerinde derelerin birleştiği alanlardaki tortullar çift tepeli eğriler oluşturmuştur (Şekil 10). Çift-tepeli eğriler, tortulların içerdiği farklı boylardaki kum tanelerinin veya kum-silt boyu tanelerin ağırlıklarıyla ilişkili olup, farklı kaynaklar ile taşınmayı temsil etmektedir. Küçük derelerin silt ve kil boyunda tortul taşıdığı, daha büyük derelerin ise kum boyunda tortul taşıdığı, derelerin birleşim lokasyonlarından, bu lokasyonların gerisinden ve ilerisinden alınan tortul numunelere ait verilerin karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir. Yüksek enerjili derelerin çakıl-kum boyu tortul taşıması, düşük enerjili derelerin ise silt-kil boyu tortul taşıması, çalışma alanındaki hidrodinamik aktivitelerin tane boyu dağılımı üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu göstermiştir. Moralli Deresi'nin su debisi kaynağa yakın alanlarda düşük olsa da derenin taşıdığı askı ve yatak yükünün yoğunluğu ve dere kanalının bulunduğu arazinin düşük eğimli olmasından kaynaklı akış hızının yavaşlığı, derenin taşıdığı tortulların kum-silt-kil boylarında olmasına sebep olmaktadır. Kaynaktan uzaklaştıkça, dereye çevredeki kaynak alanlarından doğan suların eklenmesiyle birlikte su gücünün artması ve tektonik hareketlerin etkisiyle yeniden şekillenerek yükselen akaçlama alanının eğiminin kısmen artması, taşınan tortul boyunu etkilemiştir ve orta-kaba kum ve çakıl boylarındaki tortul tanelerinin taşınıp, derenin hidrodinamik enerjisinin düştüğü alanlarda ve kanalın kıvrıldığı dirsek bölgesinin karşı tarafında oluşan nokta tümseklerinde depolandığı tespit edilmiştir.



Şekil 10. Moralli Deresi akaçlama ağı, örnek lokasyonları ve tane boyu dağılım grafikleri.

Figure 10. Moralli Stream drainage area, sample locations and, grain size distribution graphics.

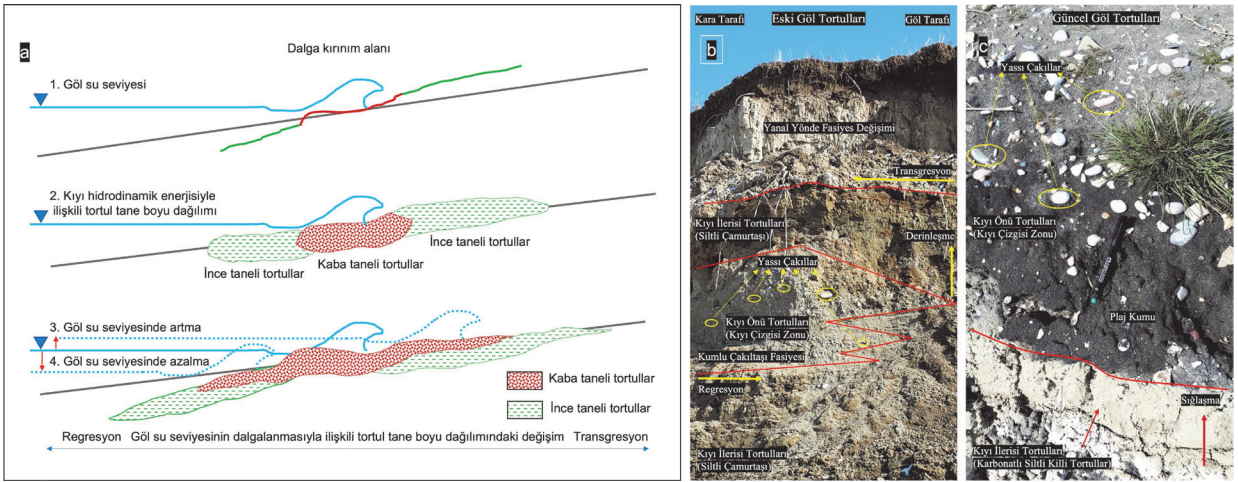
Moralli Deltası tortullarında akış aşağı yönde tane boyu dağılımı incelendiğinde, akarsuyun yoğun olarak etkilediği delta taşkın düzlüğü ve delta kanallarında depolanan tortulların tane boyunun, delta önü tortullarına kıyasla daha kaba olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebinin ise akarsudaki hidrodinamik enerjinin kıyı alanına doğru kademeli bir şekilde azalması ve bu enerjinin büyük bir kısmının dalga enerjisi ile karşılaşılacak alanda sönmüştür. Dolayısıyla delta önü alanına çok ince taneli tortullar taşınmıştır. Delta tortullarının kötü boylanma göstermesinin sebebi, derenin taşıdığı ince tortullar ile göl kıyısında depolanan çok kaba-kaba kum boyu tortulların birlikte çökmesidir. Delta taşkın düzlüğü ve delta önü tortulları, tane boyu dağılım grafiklerindeki tek tepeli ancak geniş kuyruklu eğrilerle, delta kanalı tortulları ise çift tepeli eğriler ile temsilidir (Şekil 10). Tek tepeli eğriler tek hidrodinamik aktivitenin

(akarsu veya dalga) yoğun olarak etki etmesine bağlı aynı tane boyundaki tortulların, çift-tepeli eğriler ise iki farklı hidrodinamik aktivitenin (hem akarsu hem dalga) etkisi altında farklı tane boyundaki tortulların taşınarak depolanmasını işaret etmektedir.

Renier vd. (2013)'te dalga kırınım alanındaki yüksek düzeydeki çalkantının ve güçlü akıntıların, daha ince tortuları süpürürken kaba tortulların çökmesine olanak tanıdığı, tortulların eğimli kıyıda hem yukarı hem de aşağı hareket etmesinde etkili olduğu vurgulanmıştır (Şekil 11a). Gallagher vd. (2016)'da ise kıyı hidrodinamiğinin sahil stratigrafisini oluşturma ve/veya yok etmede oynayabileceği rolü anlamak için değişen kumsal topografyası ve su seviyeleri incelenmiştir. Bu incelemelere göre doğal kumsalların yüzeyindeki tortul tane boyunun, kıyı morfolojisi, dalga enerjisi ve depolanma sürecine bağlı olarak değiştiği

vurgulanmıştır. Bu bağlamda incelenen bir kıyı alanında, tortul tanelerinin, kıyı akıntı kanalı ve sığ su sisteminin göç etmesine bağlı olarak sörf bölgesindeki hidrodinamik enerji tarafından sürekli olarak yeniden işlendiği ve yeniden dağıtıldığı gözlemlenmiştir. Yüksek hidrodinamik enerjinin kontrol ettiği sörf bölgesinde tane boyunun en büyük olduğu gözlemlenmiştir. Ek olarak, gel-git dalgalanmalarının bir fonksiyonu olarak, kaba boydaki tortulların kıyı kırınım alanına bağlı olarak sahilde yukarı ve aşağı hareket ettiği gözlemlenmiştir. Çalışma alanı kapsamındaki Van Gölü kıyısında kıyı kırınım alanı boyunca alınan numuneler ağırlıklı olarak (pç2, pç4, pç6, pç11, pç13, pç15) çakıl ve kaba kum boyundaki tortulardan oluşmaktadır ve yüksek enerjili depolanma ortamını işaret etmektedir. Kıyı çizgisinin ilerisinden (kara tarafına doğru) alınan numuneler ise genel olarak orta ve ince kum boyundaki tortulları içermekte olup, dalga

kırınım alanına kıyasla daha düşük enerjili bir depolanma ortamını yansıtmaktadır. Ayrıca, kıyı tortullarının granülometrik parametrelerinden yüksek porozite ve permeabilite özelliklerine sahip oldukları anlaşılmıştır. Kıyı tortulları çoğunlukla tek tepeli eğriler ile temsili olup, kil-silt gibi ince malzemelerin dalga enerjisiyle uzaklaştığı ve çeşitli kum boyu malzemelerin göl kıyısında depolandığını göstermektedir. Ayrıca, delta loblarının Van Gölü ile birleştiği kıyı alanlarından alınan tortulların tane boyu dağılım grafiklerinde (pç7 ve pç9) biri yüksek şiddetli biri düşük şiddetli olmak üzere çift tepeli eğriler tespit edilmiştir (Şekil 10). Çift-tepeli eğriler, delta önü alanına akarsu enerjisi ile taşınan çok ince taneli tortullar ile Van Gölü dalga enerjisi ile taşınan kaba kum boyu tortulların bir arada çökeldiğini ve akarsu ve dalga kaynaklı iki farklı hidrodinamik aktivitenin etkinliğini işaret etmektedir.



**Şekil 11. a)** Kıyı topoğrafyasına, hidrodinamik dalga enerjisine ve göl su seviyesine bağlı olan tortul tane boyu dağılım modeli (Gallagher vd. (2016)'dan değiştirilmiştir), **b)** Eski göl tortulları (yanal geçişli çakıllı kumtaşı fasiyesi ile siltli çamurtaşı fasiyesi), **c)** Göl kıyısı tortulları.

**Figure 11. a)** Grain size distribution model depend on coastal morphology, wave hydrodynamic energy, and lake water level (modified from Gallagher vd. (2016)), **b)** Ancient lacustrine deposits (lateral transitional pebbly sandstone facies and silty mudstone facies), **c)** Lacustrine deposits (Lakeshore sediments).

## **Sedimanter Depolanma Ortamları**

Çalışma alanı karasal ortamlardan olan akarsu, delta ve göl kıyısı sedimanter depolanma ortamlarını kapsamaktadır.

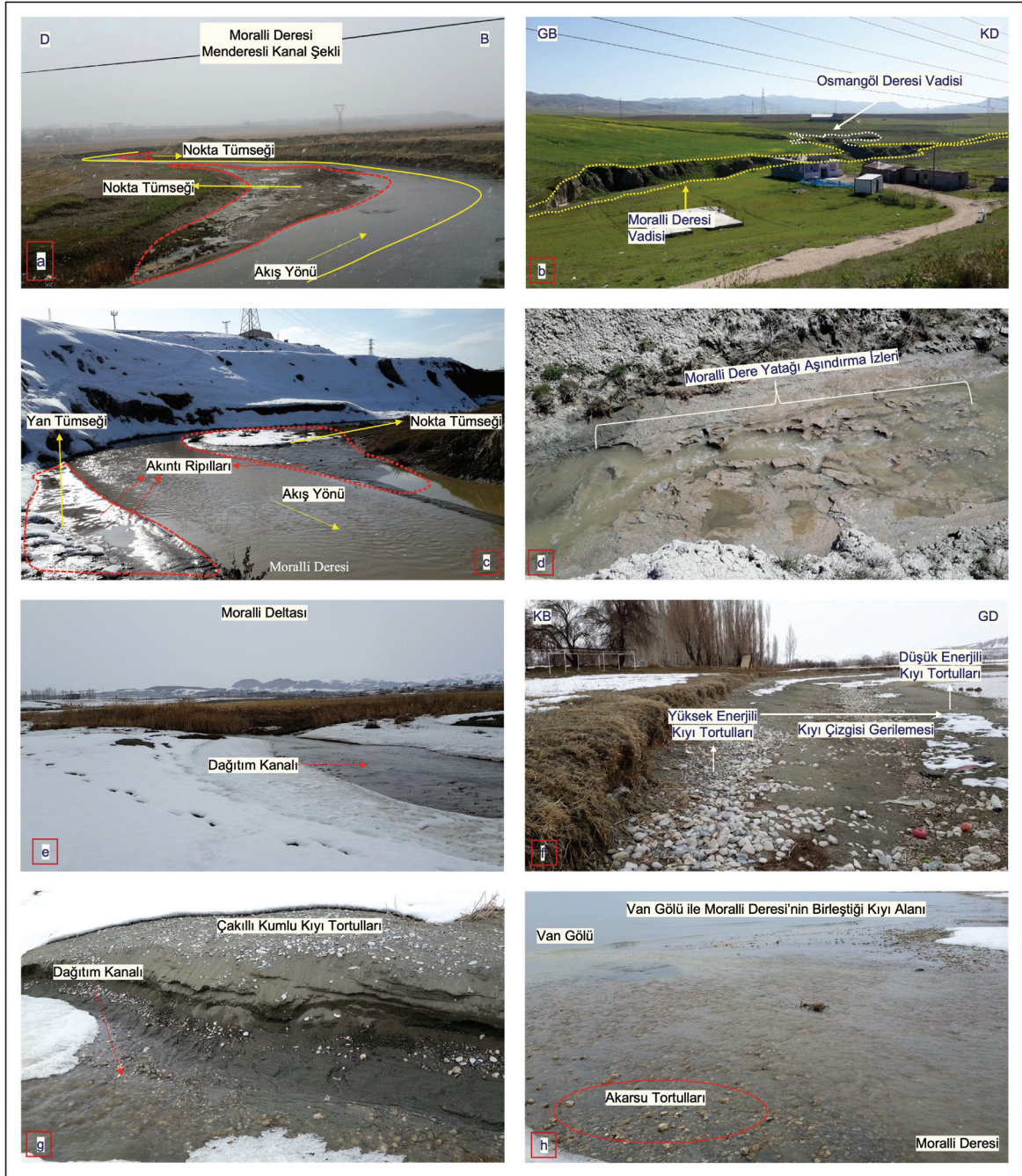
### **Akarsu depolanma ortamı**

Moralli Deresi'nin, eğimin az olduğu bir akaçlama ağı havzasında 's' şeklinde kıvrılarak ilerlemesi, yanal yönde yer değiştirmesi, çoğunlukla nokta tümseklere ve yer yer boyuna tümseklere sahip olması dolayısıyla menderesli akarsu olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 12a). Ayrıca, Moralli Deresi'nde yer yer kanal deseni değişikliği, kanal genişliklerinde kademeli bir azalma ve mevsimsel değişikliklere bağlı olarak azalan su debisine bağlı düşük akış gücü tespit edilmiştir. Akarsu depolanma sistemleri havza ölçeğinde gerek tortul kaynağı, yüzeysel akış ve ince taneli tortulların mevcudiyeti gibi içsel faktörlerin değişiminden gerekse de akarsu kıyı banklarında ve taşkın düzlüğünde meydana gelen dış değişikliklerden etkilenmektedir (de Almeida vd., 2016). Moralli Deresi'yle havzanın farklı noktalarında birleşen ve dışsal faktörlere örnek teşkil eden akarsular, gerek depolanma ortamlarındaki tortul tane boyunun çeşitlenmesine gerekse de su debisinde artışa sebep olarak taşkınlara ve taşkın düzlüğü alanlarının yayılımının artmasına sebep olmuştur (Şekil 12b). Moralli Deresi kanalında tortul depolanma alanlarından nokta ve boyuna tümseklerin (Şekil 12c) üst yüzeyinde tek yönlü akıntının oluşturduğu birbirine paralel gelişmiş akıntı ripilları gözlenmiştir. Akıntı ripillerında eğimin az olduğu taraf belirlenerek akıntı yönünün kuzeydoğudan güneybatıya doğru olduğu ve sığ su ortamında düşük akıntı hızına bağlı olarak oluştuğu tespit edilmiştir. Paleoakıntı yönünün bulunmasında fayda sağlayan oluk ve oygu izleri gibi tabaka altı sedimanter yapıların oluşum aşamasını temsil edebilecek bazı aşındırma izleri Moralli Deresi kanalında gözlemlenmiştir. Bu aşındırmalara özellikle akarsuyun, çevre derelerle

birleştiği ve bu sebeple hidrodinamik aktivitenin arttığı yerlerde ve dere yatağındaki eğim değişikliklerinin olduğu bölgelerde rastlanılmıştır. Türbülanslı akışla taşınan çakıl ve kaba kum boylarındaki tortulların, akarsu yatağında daha önce depolanmış silt ve kilden oluşmuş eski birikimlere çarpması sonucu akarsu yatağında akış aşağı yönde aşınma olmakta ve aşındırma süreci devam etmektedir (Şekil 12d). Akarsu depolanma ortamında tespit edilen sedimanter yapıların işaret ettiği akıntı yönü ile McLaren ve Bowles (1985) modeli hipotezi çerçevesinde tane boyu dağılımından elde edilen akıntı yönü karşılaştırılmış olup, sonuçların birbirini destekler nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

### **Delta depolanma ortamı**

Menderesli akarsular tarafından gerçekleştirilen erozyon ve sel basması gibi çeşitli hidrodinamik aktiviteler, modern kıyı delta ovalarının morfolojisini büyük ölçüde şekillendirmektedir (Bridge, 2009; Bellizia vd., 2021). Göl kıyısında oluşan delta tiplerinden sığ-su deltaları, hem göl seviyesi yükselme oranlarının düşük olduğu dönemlerde hem de zorunlu regresyon esnasında sığ su derinliklerinde oluşmaktadır. Bu delta tipleri çok loblu bir morfolojiye sahip, yanal uzanımlı, kum bakımından zengin delta gövdelerinden oluşmaktadır (Winsemann vd., 2018). Moralli Deresi ile Van Gölü'nün birleştiği alanda, akarsu tarafından taşınan çakıl-kum-silt-kil boylarındaki tortullar geniş ve düşük eğimli delta ovasında, akarsu-dalga hidrodinamik enerjilerinin etkisi altında depolanarak bir sığ-su delta sistemini oluşturmuştur. Moralli Deltası yanal yönde uzanımlı, çoğunlukla kum boyu tortulların depolandığı ve düşük eğimli bir gövdeden oluşmaktadır. Akarsu hidrodinamik enerjisine bağlı olarak tane boyu dağılımı deltanın farklı depolanma birimlerinde çeşitlilik göstermektedir.



**Şekil 12.** a) Moralli Deresi'nin menderesli kanal yapısı ve nokta tümsekleri, b) Moralli Deresi ve Osmangöl Deresi birleşim alanı, c) Nokta ve yan tümsekler, akıntı ripılları, d) Aşındırma izleri, e) Moralli Deltası ve dağıtım kanalı, f) Kıyı çizgisi ve ilişkili kıyı tortulları, g) Dağıtım kanalı ve çakıllı kumlu kıyı tortulları, h) Moralli Deresi ve Van Gölü'nün birleştiği kıyı alanı ve akarsu tortulları.

**Figure 12.** a) Moralli Streams' meandering channel morphology and point bars, b) Moralli Stream and Osmangöl Stream merged area, c) Point and side bars, flow ripples, d) Abrasion marks, e) Moralli Delta and distributary channel, f) Shoreline and related beach sediments, g) Distributary channel and pebbly sand beach sediments, h) Moralli Stream and Van Lake intersection coastal area and stream deposits.

Örneğin, delta gövde alanının başlangıcından delta önü alana dek akarsu enerjisinin kademeli olarak azaldığı ve buna bağlı olarak taşıdığı yatak yükündeki kaba taneli tortulların büyük bir bölümünün delta düzlüğünde, orta, orta-ince tane boyundaki tortulların yoğun miktarda delta loblarında ve ince-çok ince tane boyuna sahip tortulların ise delta önü alanında çökeldiği tespit edilmiştir. Dere, delta alanında birçok dağıtım kanalına bölünerek Van Gölü'ne dökülmektedir (Şekil 9f ve Şekil 12e). Delta dağıtım kanallarında kaba kum boyunda, kötü boylanmış tortullar çökelmiştir. Delta kanallarında kıyı ve akarsu tortullarının ardışık olarak çökmesi gerek göl su seviyesinin düşük de olsa yükselmesine bağlı gerekse de regresyona bağlı olarak değişen hidrodinamik aktivitelerden kaynaklanmıştır. Günümüzde Van Gölü su seviyesi iklimsel değişikliklerin etkisi altında düşmeye devam etmekte ve kıyı alanında meydana gelen regresyona bağlı olarak kıyı çizgisinin gerilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, delta taşkın düzlüğündeki çamur birikimlerinde dönemsel kuraklıkla ilişkili olarak gelişen sedimanter yapılardan kuruma çatlakları bulunmakta olup, bu yapılar gerçekleşen regresyonun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

### **Göl kıyısı depolanma ortamı**

Çalışma kapsamındaki kıyısal alan, tane boyu dağılımı, dalga ve akıntı enerjisine bağlı olarak kıyı önü, kıyı kırınım ve akıntı kanalı bölgesi olmak üzere üç farklı depolanma ortamı bağlamında incelenmiştir. Kıyı önü alanında çökelen kil-silt-ince kum boylarındaki tortullar düşük-enerjili depolanma ortamını işaret etmektedir. Eski göl tortullarındaki ve kıyı önü alanındaki ince taneli tortullar, yüksek enerjili hidrodinamik aktivitelerle depolanma ortamından uzaklaştırılan tortullar olabileceği gibi, kıyı çizgisinin kara tarafına doğru ilerlemesi veya kıyı çizgisinin göl tarafına doğru çekilmesi sonucu değişen morfo-

ve hidrodinamik koşullar altında çökelen tortullar olabileceği de düşünülmektedir (Şekil 11b ve Şekil 11c). Kıyı çizgisi alanında ağırlıklı olarak çakıl ve kaba kum boylarında tortulların depolandığı gözlemlenmiştir (Şekil 12f). Akıntı kanalı bölgesinde depolanan tortullar ise çoğunlukla çakıl ve kaba kum boyu tanelerden oluşmuştur (Şekil 12g). Akıntı kanalı depolanma ortamında, akarsu enerjisi ile dalga enerjisinin birlikte ancak birbirine zıt yönde çalışmasından dolayı çeşitli tane boylarında tortullar depolansa da kaba taneli tortulların yoğun olarak çökeldiği tespit edilmiştir (Şekil 12h). Hidrodinamik aktivitelerin mevsimsel olarak değişiklik göstermesine bağlı olarak kıyı çizgisinin ileri-geri yönde yer değiştirmesi kıyı çizgisi ve kıyı önü alanlarında çeşitli tane boylarındaki tortulların depolanmasına olanak sağlamıştır.

Göl kıyısında tespit edilen tortul depolanma alanlarından olan kıyı kumulları, kıyı bariyeri, kıyı dili ve kıyı okları gibi çeşitli jeomorfolojik unsurların kıyıdaki oryantasyonu ve bu birikintilerin üzerinde gözlenen dalga ripılları dalga yönünün kuzeydoğu olduğunu işaret etmektedir. Kıyı alanında farklı iki seviye ile temsil edilen bir diğer jeomorfolojik unsur ise kıyı taraçalarıdır. Akça vd. (2008) ve Özalp (2020)'de Van Gölü kıyı taraçalarının ya tektonizma kontrolünde ya da dalga enerjisine bağlı olarak aşınma sonucu gelişmekte olduğu ve su seviyesindeki yükselme ve alçalmalardan etkilenecek zaman içinde evrim geçirdikleri belirtilmiştir. Valeton (1978) ve Görür vd. (2015) çalışmalarında gerek akarsu gerekse göl taraçalarının oluşumunun temel sebebinin göl su seviyesindeki değişimler olduğu, bu değişimlerin ise iklimsel, tektonik ve volkanik aktivitelerin denetiminde gerçekleştiğine vurgu yapılmıştır. Kuzucuoğlu vd. (2010)'da Van Gölü çevresindeki göl taraçaları üzerinde yapılan sedimantolojik ve jeomorfolojik çalışmalar sonucu, Geç Pleyistosen döneminde Van Gölü su seviyesindeki dalgalanmaların temel sebebinin iklimsel değişiklikler olduğu belirtilmiştir. Bu

çalışmaya göre iklimsel değişikliklere bağlı olarak yükselip, alçalan göl seviyesi taraça oluşumuna sebep olmuştur. Maurya vd. (1997)'de derin vadilerden geçen menderesli akarsuların, tektonik aktivitelerden kaynaklı yükseltilmiş taraçalara sahip olabileceği ve bu taraçaların bölgenin Kuvaterner döneminde gençleştiğini doğrulayabileceğine değinilmiştir. Bu çalışma kapsamında ise çalışma alanının bir kısmında nispeten derin vadilerden geçen Moralli Deresi kanalı çevresinde ve kıyı alanında iki farklı seviyede akarsu taraçası tespit edilmiştir. Çalışılan alanda akarsu kaynak bölgesi çevresinde eski göl tortullarının bulunması, Van Gölü su seviyesinin Kuvaterner döneminde oldukça yüksek seviyelere çıktığının bir göstergesidir ve taraçaların oluşumunda göl seviyesindeki dalgalanmalar dolayısıyla iklimsel değişikliklerin etkili olabileceği düşünülmüştür. Ancak, havzanın Everek ve Alaköy bindirme fayları tarafından kontrol edilmesi ve bu sebeple akarsu çevresinde rastlanan taraçaların tektonik kökenli olabileceği de göz önünde bulundurulmuştur. Taraçaların oluşum mekanizmasının net bir şekilde ortaya çıkarılması için taraçalardan elde edilecek yaş verileri ile havzayı kontrol eden fayların hareket tarihleri karşılaştırılmalı ve taraça tortullarından alınan örnekler üzerinde palinoloji analizi yapılarak dönemin iklimsel özellikleri belirlenmelidir. Bu bağlamda taraçaların oluşum mekanizmasının bulunmasına yönelik yapılacak bir çalışma ile taraçaların iklimsel ve/veya tektonik kaynaklı olup/olmadığı ortaya konulabilir.

Bu çalışma kapsamında yapılan sedimentolojik analizler sonucu elde edilen tane boyu ve granülometrik parametre verileriyle Moralli Deresi'nin hidrodinamik enerjisinin kum-silt-kil boyu taneleri taşıyabilecek potansiyelde olduğu, akaçlama ağı havzasında akış aşağıya doğru tane boyunun inceldiği ve Van Gölü'nün dalga enerjisinin çakıl ve kum boyu tanelerin taşınmasını ve depolanmasını sağlayabilecek potansiyelde olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca,

Van Gölü su seviyesinde iklimsel değişikliklerden kaynaklı yükselme ve alçalmaların oluşturduğu akarsu, delta ve gölsel kıyı depolanma ortamlarında çökelen tortulların fasiyes özellikleri ile tektonik ve hidrodinamik aktivitelerden kaynaklanan jeomorfolojik unsurlar (kıyı oku, kıyı dili, kıyı bariyeri, göl ve akarsu taraçası) belirlenmiştir.

### **EXTENDED SUMMARY**

*This study was carried out to determine the grain size distribution trends of Quaternary fluvio-lacustrine sediments and hydrodynamic effects, which play an essential role in the erosion, transport, and deposition processes in depositional environments. Moreover, it aims to define the facies deposited in different environments and reveal the characteristics of the depositional environments and the geomorphological structures of the study area. This study presents an integrated approach, focusing on the grain size of the sediments, hydrodynamic activities and the depositional environments formed under the effects of morpho-sedimentary processes, tectonism and climate. Moralli Stream, which has not been studied in detail before and is under the influence of the Alaköy and Everek thrust faults, has high potential in sedimentology and geomorphology.*

*The study field covers an area of approximately 30 km<sup>2</sup> east of Lake Van, within the K50-c4 sheet map of Van province. The study area is surrounded by Çobanoğlu village in the east, Lake Van and Bardakçı village in the west, and Kalecik village in the south (Figure 1a). The Moralli Stream in the study confluences with the Beyaztaş and Tekmal streams rising from the south of Ağazul Hill, and the Osmangöl and Katar streams rising around Kavran Hill in the middle part of Everek Plain. As Moralli Stream goes west, it receives water from springs and flows into Lake Van (Figure 1b and Figure 2). The oldest unit in the study area is the Upper Cretaceous Bakışık melange and olistostrome (Şenel et al., 1984), while the*

youngest unit is the Holocene fluvio-lacustrine and alluvial deposits (Sümengen, 2008) (Figure 2 and Figure 3).

Grain size analysis was performed to determine the grain size distribution trends of the fluvio-lacustrine sediments. For the grain size analysis, a total of 42 sediment samples were taken at regular intervals, starting from the source area of the stream to the area where it spills into Lake Van (Figure 4). It was determined that the grain size of the sediments taken from the stream source area was mainly between 0.42-0.25 mm, and the grain size of the sediments taken from the downstream parts of the channel bed was between 0.125-0.037 mm. The mean grain size of fluvial sediments (md 1, 2, 4, 6, 9, 12, 16, 17, 20) is of fine sand-very fine sand size, and the sorting parameter is generally in the poor sorting class. The skewness degree is mostly strongly negative skewed and the degree of kurtosis was determined as platykurtic. The particle size distribution in the fluvial sediments was examined downstream from the source, and it was determined that the medium-fine sand-size sediments showed moderate-to-poor sorting and negative skewness.

The model suggested by McLaren and Bowles (1985) was in agreement with the parameter properties indicating low-energy transport. In general, single-peaked curves were observed in the grain size distribution graphs of the stream channel sediments (Figure 5a), and double-peaked curves were observed in the grain size distribution graphs of the sediments belonging to the intersection of the streams (Figure 5b). Double-peaked curves are related to the weight of sand grains of different sizes or sand-silt-size grains and represent transport from different sources. It was determined by comparing the data of the sedimentary samples taken from the intersection of the streams, forwards and backwards, that small streams carry sediments having the size of silt and clay, while the larger streams carry sediment of sand size (Figure 5c).

In the point bar sequences, the sediment grain size decreases in the downstream direction, and the grain size distribution graphs present a single-peaked curve (Figure 5d), double-peaked curve (Figure 5e) and single-peaked curve (Figure 5f), respectively. Gravel-sand-size sediment transport in high-energy streams and silt-clay-size sediment transport in low-energy streams showed that hydrodynamic activities in the study area significantly affect the grain size distribution.

When the grain size distribution is observed from the delta plain to the delta front area, it was determined that the grain size decreased towards downstream, and three different grain size fractions represent different depositional units of the delta. The grain sizes of the sediment samples taken from the delta plain (md 21, 22, 23) are 4.75-0.25 mm, the grain sizes of the sediment samples taken from the delta channels (md 24, 25) are 1.00-0.25 mm, and the sediment samples taken from the delta front area (md 26, 27) have grain sizes ranging between 0.074-0.037 mm. Delta plain sediments have a mean grain size in the coarse sand class with poorly sorted, positively skewed and mesokurtic features. Delta channel sediments have a mean grain size in the medium-fine sand class with poorly sorted, positively skewed and platykurtic features. The mean grain size of delta front sediments is in the very fine sand class with moderately sorted, negatively skewed and leptokurtic characteristics.

The delta sediments are composed of facies with a grain size decreasing from the delta plain to the delta front area and are laterally transitional with the coastal sediments. In the grain size distribution graphs of delta sediments, single-peaked curves were observed in the delta plain sediments, double-peaked curves in the delta channel sediments, and single-peaked curves in the delta front sediments (Figures 5g, 5h and 5i). Single-peaked curves indicate the sediments of the same grain size due to the intense influence of a single hydrodynamic activity (flow or wave). In



contrast, double-top curves indicate the transport and deposition of sediments of different grain sizes under the influence of two different hydrodynamic activities (flow and wave).

The grain size of the beach sediments was determined to be in the range of 1-0.42 mm. While sediments contain fine grains of 0.074-0.037 mm in size in the coastal area, especially in the low-energy foreshore area, it was determined that sediments containing >4.75 mm in size pebbles were deposited in the rip channel and shore break areas. The mean grain size distribution of the beach sediments of Lake Van (pç1-15) is very coarse sand, coarse sand and medium sand size, and is represented with moderate-well, moderate sorting, symmetric-positive skewness and leptokurtic parameters. The beach sediments are represented mainly by single-peaked curves, showing that fine materials such as clay-silt were removed by wave energy and various sand size materials were deposited on the lakeshore. In addition, in the grain size distribution graphs (pç7 and pç9) of the sediments taken from the coastal areas where the delta lobes meet with Lake Van, double-peaked curves, one with high intensity and one with low intensity, were detected (Figures 5j, 5k and 5l). The double-peaked curves indicate that very fine-grained sediments transported to the delta channel by fluvial energy and coarse sand-sized sediments transported by wave energy from Lake Van were deposited sequentially, indicating two different sources with the effectiveness of two different hydrodynamic activities.

As a result of field studies, the identified cross-bedded, imbricated pebbly sandstone facies (Md) represent the ancient fluvial sediments, while the parallel laminated silty mudstone facies (Vg) represent the ancient lake sediments (Figures 6a and 6b). Sandy conglomerate facies (Kt) are represented by light grey and beige colours and consist of pebbles and sand-sized grains. The size of the sediments forming the facies indicates that they were deposited in a high-energy depositional

environment. The pebble grains in the sandy conglomerate facies are distinctly platy in shape; this shows that wave energy is effective in the depositional environment and deposition in the shoreline zone (shore break) (Figures 11b and 11c). Unconsolidated sediments deposited in the fluvio-lacustrine system were interpreted as having fluvial, delta and lakeshore facies associations. The fluvial sediments were evaluated as having stream channel, flood plain and point bar facies associations. Generally, fluvial sediments consist of light brown and grey coloured unconsolidated gravel, sand, silt and clay-sized sediments. Delta sediments that consist of fine sand, silt and clay-sized sediments, represented by brown, dark grey and black colours, were evaluated as having delta plain, delta channels and delta front facies associations. Lakeshore sediments consist mainly of sandy sediments in beige and light grey colours. Gravel-sized grains are platy in shape, and their edges and corners have been eroded.

The sedimentological data and the bivariate classification diagrams prepared by Freidman (1958), Moiola & Weiser (1968) and Stewart (1958) were used to determine the sediment transport and deposition processes and also the depositional environments. As a result, the data were plotted on flow and wave processes related to river and beach depositional environments (Figure 8).

Moralli Stream is a meandering stream that curves in an 's' shape in a drainage basin where the slope is low, and it displaces laterally and contains point and side bars, which are the characteristics of a meandering river (Figure 12a). In the area where Moralli Stream and Lake Van meet, sediments in the gravel-sand-silt-clay carried by the stream were deposited in the broad and low-sloping delta plain under the influence of stream-wave hydrodynamic energies, forming a shoal-water delta system at low-water depths (Figures 9 and 12).

The coastal area within the scope of the study consists of three different deposition environments, namely, the shorefront, the shore break and the rip channel region, depending on the grain size distribution, waves and current energy. Around the Moralli Stream channel, two river terraces at different levels have been observed, and in the coastal area of Lake Van, various geomorphological structures such as lake terraces, beach barriers, beach splits and beach arrows have been observed (Figure 9). Within the scope of this study, two different levels of river terraces were identified around the Moralli Stream channel, which passes through relatively deep valleys in part of the study area, and in the coastal area. The presence of old lake sediments around the river source area is an indication that the water level of Lake Van rose to very high levels during the Quaternary period, and it was thought that fluctuations in the lake level arising from climatic changes may have been influential in the formation of the terraces. However, taking into account that the Everek and Alaköy thrust faults control the basin, the terraces found around the stream may be of tectonic origin. The source mechanism of the terraces will be presented in future studies.

With the grain size and statistical parameter data obtained as a result of the sedimentological analyses carried out in this study, it is seen that the hydrodynamic energy of Moralli Stream has the potential to transport sand-silt-clay sized grains, and the grain size of the sediments decrease through the downstream of the stream channel in the drainage basin. It has been revealed that the wave energy of Lake Van has the potential to transport pebble and sand-sized grains. In addition, the characteristics of the lithofacies and facies associations in the sedimentary sequences (fluvial, delta and lacustrine shore) formed by the rise and fall of the water level of Lake Van due to climatic changes, and the geomorphological

structures (beach spits and arrows, beach barriers, lake and river terraces), resulted from tectonic and hydrodynamic activity.

## KATKI BELİRTME

Bu makale birinci yazarın Yüksek Lisans tezinden (Şen, 2015) yararlanılarak yazılmıştır.

## ORCID

Gül Şen  <https://orcid.org/0000-0002-9729-242X>

Türker Yakupoğlu  <https://orcid.org/0000-0001-8811-9660>

## KAYNAKLAR / REFERENCES

- Acarlar, M., Bilgin, E., Elibol, E., Erkal., T. ve Gedik, İ. (1991). *Van Gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi* (Rapor no: 9469). Maden Tetki ve Arama Genel Müdürlüğü, (yayımlanmamış).
- Akça, E., Çimrin, K. M., Ryan, J., Nagano, T., Topaksu, M. & Kapur, S. (2008). Differentiating the natural and man-made terraces of Lake Van, Eastern Anatolia, utilizing earth science methods. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 13(1), 83-93.
- Akın, M., Özvan, A., Akın, M. K. & Topal, T. (2013). Evaluation of liquefaction in Karasu River floodplain after the October 23, 2011, Van (Turkey) earthquake. *Natural Hazards*, 69(3), 1551-1575.
- Akköprü, E. & Christol, A. (2019). Lake Van. In C. Kuzucuoğlu, C., A. Çiner, N. Kazancı (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey* (369-382). Springer Nature Switzerland AG.
- Akköprü, E., Aydın, F. A. ve Doğu, A. F. (2019). Van Gölü seviye değişimlerinin Engil Çayı Deltası jeomorfolojisi üzerine etkisi ve Dilkaya Höyüğü ile ilişkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 72, 45-51.
- Aksoy, E. (1988). *Van İli Doğu-Kuzeydoğu Yöresinin Stratigrafi ve Tektoniği* [Yayımlanmamış, Doktora Tezi]. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alaeddinoğlu, F., Avşın, N. ve Yılmaz, E. (2016). Van Gölü güneydoğusunun jeomorfolojik özellikleri

- ve ekoturizm. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 291-310.
- Arni, P. (1938). Van vilayetinin jeolojisi hakkında rapor (Arşiv no: 883). MTA, (yayımlanmamış).
- Avşin, N. ve Aras, M., 2021. Aras Nehri vadisi ve yakın çevresinin jeomorfolojisi (Kağızman-Gaziler arası). *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi*, 4(5), 368-386.
- Balkaş, Ö., Serdar, S. H., Erakman, B., Güngör, A., Pasin, C., Aksu, R. ve İşbilir, M. (1980). Başkale-Gürpınar-Çatak-Van alanının jeolojisi ve petrol olanakları (Rapor no: 1455). TPAO (yayımlanmamış).
- Bellizia, E., Boaga, J., Fontana, A., D'Alpaos, A., Cassiani, G. & Ghinassi, M. (2021). Impact of genesis and abandonment processes of a fluvial meander on geometry and grain-size distribution of the associated point bar (Venetian Plain, Italy). *Marine and Petroleum Geology*, 127, Article 104951.
- Bhattacharya, F., Shukla, A. D., Patel, R. C., Rastogi, B. K. & Juyal, N. (2017). Sedimentology, geochemistry and OSL dating of the alluvial succession in the northern Gujarat alluvial plain (western India)-A record to evaluate the sensitivity of a semiarid fluvial system to the climatic and tectonic forcing since the late Marine Isotopic Stage 3. *Geomorphology*, 297, 1-19.
- Bridge, J. S. (2009). *Rivers and floodplains: forms, processes, and sedimentary record*. John Wiley and Sons, New York, 512 s.
- Bulum, B. Ö. (2015). *Bendimahi Çayı'nın (Van) su kalite kriterleri üzerine bir araştırma* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 126 s.
- Christol, A., Kuzucuoğlu, C., Fort, M. & Lamothe, M. (2013). Première chronologie OSL des formations fluvio-lacustres de la vallée de la Karasu: implications sur la paléogéographie du bassin du lac de Van (Turkey). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 19(4), 393-406.
- Çiftçi, Y., Işık, M. A., Alkeveli, T. ve Yeşilova, Ç. (2008). Van Gölü havzasının çevre jeolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 32(2), 45-77. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmd/issue/52384/686287>
- Dade, W. B. & Friend, P. F. (1998). Grain-size, sediment-transport regime, and channel slope in alluvial rivers. *The Journal of Geology*, 106(6), 661-676.
- de Almeida, R. P., Marconato, A., Freitas, B. T. & Turra, B. B. (2016). The ancestors of meandering rivers. *Geology*, 44(3), 203-206.
- Degens, E. T., Wong, H. K., Kempe, S. & Kurtman, F. J. G. R. (1984). A geological study of Lake Van, Eastern Turkey. *Geologische Rundschau*, 73(2), 701-734.
- Dengiz, O. (2010). Morphology, physico-chemical properties and classification of soils on terraces of the Tigris River in the south-east Anatolia region of Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, 16, 205-212.
- Dicle, S. & Üner, S. (2017). New active faults on Eurasian-Arabian collision zone: Tectonic activity of Özyurt and Gülsünler faults (eastern Anatolian Plateau, Van-Turkey). *Geologica Acta: An International Earth Science Journal*, 15(2), 107-120.
- Du, X., Gama, C., Liu, J. T. & Baptista, P. (2015). Sediment sources and transport pathway identification based on grain-size distributions on the SW coast of Portugal. *TAO: Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 26(4), 397.
- Erinc, S. (2012). *Jeomorfoloji I*. (Güncelleştirenler: T. A. Ertek - C. Güneysu). Der Yayınları, İstanbul, 284 s.
- Fazelpoor, K., Yousefi, S., Martínez-Fernández, V. & de Jalón, D. G. (2021). Geomorphological evolution along international riverine borders: The flow of the Aras River through Iran, Azerbaijan, and Armenia. *Journal of Environmental Management*, 290, Article 112599.
- Folk, R. L. (1954). The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *The Journal of Geology*, 62(4), 344-359.

- Folk, R. L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Press, Second Edition, Austin, Texas, 182.
- Folk, R. L. & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar (Texas); a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1), 3-26.
- Friedman, G. M. (1958). Determination of sieve-size distribution from thin-section data for sedimentary petrological studies. *The Journal of Geology*, 66(4), 394-416.
- Gallagher, E., Wadman, H., McNinch, J., Reniers, A. & Koktas, M. (2016). A conceptual model for spatial grain size variability on the surface of and within beaches. *Journal of Marine Science and Engineering*, 4(2), 38.
- Gao, S., Collins, M. B., Lanckneus, J., De Moor, G. & Van Lancker, V. (1994). Grain size trends associated with net sediment transport patterns: An example from the Belgian continental shelf. *Marine Geology*, 121(3-4), 171-185.
- Görür, N., Çağatay, M., Zabcı, C., Sakıncı, M., Akkök, R., Şile, H. & Örcen, S. (2015). The late Quaternary tectono-stratigraphic evolution of the Lake Van, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 151, 1-46. [https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/eng/20151218214147\\_162\\_164e7559.pdf](https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/eng/20151218214147_162_164e7559.pdf)
- Husain, F. (2021). Sediment of the Tigris and Euphrates rivers: an early modern perspective. *Water History*, 13 13-32. <https://doi.org/10.1007/s12685-020-00256-2>
- Jotheri, J., Allen, M. B. & Wilkinson, T. J. (2016). Holocene avulsions of the Euphrates River in the Najaf area of Western Mesopotamia: impacts on human settlement patterns. *Geoarchaeology*, 31(3), 175-193.
- Kadhim, W. M. & Kadhim, L. M. (2020). Geomorphological characteristics of Tigris and Euphrates Rivers in the Iraqi sedimentary plain and their impact on the extinction and change of Mesopotamian Civilization Centers (A Study in Historical Geomorphology). *The Islamic College University Journal*, 2(57), 139-160.
- Kamar, G., 2005. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüs Alanındaki Çökellerin Palinostatigrafisi ve Paleoklimatolojisi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kamar, G. (2021). Holocene palynology and pollen-based palaeoclimate reconstruction of Lake Erçek (Eastern Anatolia); short-term climatic fluctuations and their relation with global palaeoclimatic change; results of cores E1 and E10. *Geological Bulletin of Turkey*, 64(3), 1-14. <https://doi.org/10.25288/tjb.927117>
- Kazancı, N., Gürbüz, A. ve Boyraz, S. (2011). Büyük Menderes nehri'nin jeolojisi ve evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 54(1-2), 25-56. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/46966/589505>
- Kazak, M. (2019). *Akın ve Taşkonak Köyleri (Van) Çevresinde Yüzeyleyen Orta-Geç Miyosen Yaşlı Killi Kayaçların Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 119 s.
- Kıraner, F. (1959). Van Gölü doğu bölgesinin jeolojik etüdü. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 7(1), 30-57. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/52950/700212>
- Koçyiğit, A. (2013). New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62, 586-605.
- Korkmaz, K. (2020). *Van Formasyonunun Nannoplankton Biyostratigrafisi ve Yaşı* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 57 s.
- Kutman, F., Akkusuş, A. F. & Gedik, A. (1978). The geology and oil potential of the Muş-Van region. In E.T.Degens & F. Kurtman (Eds.), *The geology of Lake Van (pp. 124-133)*. MTA Arşiv No: 169.

- Kuzucuoğlu, C., Christol, A., Mouralis, D., Doğu, A. F., Akköprü, E., Fort, M., Brunstein D., Zorer H., Fontugne M., Karabiyikoğlu M., Scaillet S., Reyss J.-L. & Guillou, H. (2010). Formation of the upper pleistocene terraces of Lake Van (Turkey). *Journal of Quaternary Science*, 25(7), 1124-1137. <https://doi.org/10.1002/jqs.1431>
- Lazim, A. A., Hussein, M. A. & Khazaal, H. F. (2020). The effect of West Qurna oilfield on the part of Euphrates River, northern Basra governorate, Iraq: geomorphic and structural geology integrated analysis. *The Iraqi Geological Journal*, 53(1c) 90-103. <https://doi.org/10.46717/igj.53.1C.6Rx-2020-04/06>
- Maurya, D. M., Malik, J. N. & Raj, R. (1997). Quaternary sediments of the Lower Mahi river basin, Western India. *Current Science*, 72(7), 519.
- McLaren, P. (1981). An interpretation of trends in grain size measures. *Journal of Sedimentary Research*, 51(2), 611-624.
- McLaren, P. & Bowles, D. (1985). The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Research*, 55(4), 457-470.
- Miall, A. D. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits*. Springer Verlag, Berlin, 582 p.
- Mikhailov, V. N., Kravtsova, V. I. & Magritskii, D. V. (2003). Hydrological and morphological processes in the Kura River delta. *Water Resources*, 30(5), 495-508.
- Moiola, R. J. & Weiser, D., 1968. Textural parameters; an evaluation. *Journal of Sedimentary Research*, 38(1), 45-53.
- Muhaimeed, A. S., Ibrahim, A. & Abdulateef, R. K. (2017). Using of remote sensing for monitoring geomorphological temporal changes for Tigris river in Baghdad city. *The Iraqi Journal of Agricultural Science*, 48(1), 215.
- Nicoll, K. (2010). Landscape development within a young collision zone: implications for post-Tethyan evolution of the Upper Tigris River system in southeastern Turkey. *International Geology Review*, 52(4-6), 404-422.
- Okuldaş, C. ve Üner, S. (2013). Alaköy Fayı'nın jeomorfolojik özellikleri ve tektonik etkinliği (Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu). *Yerbilimleri*, 34(3), 141-168.
- Özalp, S. (2020). Late Pleistocene-Holocene lake terraces, water level change, and active tectonics: Eastern coast of Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, 542, 54-64.
- Özkaymak, Ç. (2003). Van Şehri ve Yakın Çevresinin Aktif Tektonik Özellikleri [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 76 s.
- Perinçek, D. (1978). 5-6-9. Bölge (Güneydoğu Anadolu otokton-allokon birimleri) jeoloji sembolleri (Arşiv No: 6657). TPAO, (yayımlanmamış).
- Reimer, A., Landmann, G. & Kempe, S. (2009). Lake Van, Eastern Anatolia, hydrochemistry and history. *Aquatic Geochemistry*, 15(1), 195-222.
- Reniers, A. J. H. M., Gallagher, E. L., MacMahan, J. H., Brown, J. A., van Rooijen, A. A., van Thiel de Vries, J. S. M. & van Prooijen, B. C. (2013). Observations and modeling of steep-beach grain-size variability. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 577-591,
- Saber, R., Işık, V. & Çağlayan, A. (2020). Tectonic geomorphology of the Aras drainage basin (NW Iran): Implications for the recent activity of the Aras fault zone. *Geological Journal*, 55(7), 5022-5048.
- Sissakian, V. & Al-Ansari, N. (2019). Geography, geomorphology, stratigraphy and tectonics of the Euphrates River Basin. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 9(4), 315-337.
- Stewart Jr, H. B. (1958). Sedimentary reflections of depositional environment in San Miguel lagoon, Baja California, Mexico. *AAPG Bulletin*, 42(11), 2567-2618.

- Sümengen, M. (2008). *1/100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Van K50 Paftası*. MTA Arşiv-No:65, 18 s.
- Syvitski, J. P., Peckham, S. D., Hilberman, R. & Mulder, T. (2003). Predicting the terrestrial flux of sediment to the global ocean: a planetary perspective. *Sedimentary Geology*, 162(1-2), 5-24.
- Şen, G. (2015). *Moralli Deresinin (Tuşba, Van) ve Çevresinin Sedimantolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 140 s.
- Şenel, M., Acarlar, M., Çakmakoglu, A., Dağer, Z., Erkanol, O., Örence, S., Taşkıran, M. A., Ulu, Ü., Ünal, M.F. ve Yıldırım, H. (1984). *Özalp (Van)-İran sınırı arasındaki alanın jeolojisi* (Rapor No: 7623). MTA, 18 s. (yayımlanmamış).
- Şenel, M. (1987). *1/100000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Başkale-H38 Paftası*. MTA Arşiv No: 52, 17 s.
- Udden, J.A. (1914). Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, 25, 655-744.
- Utlu, M. & Ghasemlounia, R. (2021). Flood prioritization watersheds of the Aras River, based on geomorphometric properties: case study Iğdır province. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (6), 21-40. <https://doi.org/10.46453/jader.781152>
- Üçler, N. (2019). Akım verilerinin bulanık mantık yöntemiyle tahmini: Bendimahi Çayı örneği. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 1(3), 110-119.
- Üner, S., (2003). Van Gölü Doğusu (Beyüzümü-Göllü Dolayı) Pliyo-Kuvaterner Yaşlı Karasal Çökellerin Sedimantolojisi [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Üner, S. (2018). Evolution of Çolpan barrier and lagoon complex (Lake Van-Turkey): sedimentological and hydrological approach. *Quaternary International*, 486, 73-82.
- Üner, S. (2019). The effect of tectonism on deltaic wetland migration: A case study from Bendimahi River Delta System (Lake Van-Eastern Turkey). *Journal of Great Lakes Research*, 45(5), 864-871.
- Üner, S., Yakupoğlu, T. ve Şenol, M. (2003). Beyüzümü delta kompleksinin (Beyüzümü-Van) fasiyes özellikleri ve gelişim modeli. *Türkiye Kuvaterneri Çalıştayı IV, Bildiri Özleri Kitabı* (s. 195-200). 29-30 Mayıs 2003, İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Valeton, I. (1978). A Morphological and petrological study of the terraces around Lake Van. In E. T. Degens & F. Kurtman (Eds.), *The geology of Lake Van*. MTA Arşiv No: 169, 158s.
- Vincent, S. J., Davies, C. E., Richards, K. & Aliyeva, E. (2010). Contrasting Pliocene fluvial depositional systems within the rapidly subsiding South Caspian Basin; a case study of the palaeo-Volga and palaeo-Kura river systems in the Surakhany Suite, Upper Productive Series, onshore Azerbaijan. *Marine and Petroleum Geology*, 27(10), 2079-2106.
- von Suchodoletz, H., Gärtner, A., Hoth, S., Umlauf, J., Sukhishvili, L. & Faust, D. (2016). Late Pleistocene river migrations in response to thrust belt advance and sediment-flux steering-The Kura River (southern Caucasus). *Geomorphology*, 266, 53-65.
- Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.
- Winsemann, J., Lang, J., Polom, U., Loewer, M., Igel, J., Pollok, L. & Brandes, C. (2018). Ice-marginal forced regressive deltas in glacial lake basins: geomorphology, facies variability and large-scale depositional architecture. *Boreas*, 47(4), 973-1002.
- Yalçın, H., Gülen, L. ve Utkucu, M. (2013). Türkiye ve yakın çevresinin aktif fayları veri bankası ve deprem tehlikesinin araştırılması. *Yerbilimleri*, 34(3), 141-168.

Yılmaz, A. V. (2017). *Ağartı-Özyurt Civarında (Van Gölü Doğusu) Yüzeyleyen Orta Eosen ve Orta Miyosen Türbiditlerinin Sedimantolojik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 57 s.

Zorer, Ö. S. (2006). *Bendimahı Çayı'nda ve Çayın Van Gölü'ne Döküldüğü Noktada Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.



## TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ

### AMAÇ ve KAPSAM

Türkiye Jeoloji Bülteni (*Türkiye Jeol. Bül.*) 1947 yılından beri yayınlanan, Türkiye'nin en eski ve en çok tanınan dergilerinden biridir. Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO) tarafından yılda üç sayı olarak yayınlanmaktadır. Dergi mühendislik jeolojisi dışındaki yerbilimleri konularında yayın kabul etmektedir. Bilhassa jeoloji, tektonik, yapısal jeoloji, jeokronoloji, jeokimya, sedimantoloji, biyostratigrafi, paleontoloji, mineraloji, magmatik ve metamorfik petroloji, maden yatakları, jeofizik, jeomorfoloji yanı sıra Çevre ve Kent Jeolojisi ile Ekonomik Jeoloji öncelikli konulardır. Bu konularda güncel bilim düzeyinde hem Türkçe hem de İngilizce dillerinde yayın kabul edilmektedir. Yayınlarında öncelik Türkiye ve çevresi, Doğu Akdeniz, Orta Doğu, Balkanlar, Karadeniz ve Hazar Denizi çevresi olmakla birlikte Dünya'nın diğer tüm kritik bölgelerinde yapılan düzeyli yayınlara da açıktır. Bu kapsamda yapılan araştırmaların bilimsel düzeyi yüksek sonuçlarını içeren makaleler hiçbir ücret almadan yayınlanmaktadır. Açık erişimli bir dergidir. Derginin hedef okuyucu kitlesi bu konu ve kapsamla ilgili tüm yerbilimcilerdir. Dergide daha çok orijinal araştırma makaleleri ve daha az sayıda derleme ve diğer bilimsel nitelikli yayınlara yer verilmektedir. Türkiye Jeoloji Kongresi ve diğer Ulusal ve uluslararası toplantıların seçilen oturumları, hakemli yayın işlemlerinden sonra özel sayı(lar)da yayınlanabilmektedir.

### YAZILARIN HAZIRLANMASI

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ'nin yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. Türkçe makalelerde "Extended Summary", İngilizce makalelerde ise "Genişletilmiş Özet" verilmelidir. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması durumunda, yazıların başlığı ve özeti ile çizelge ve şekillerin başlıkları Editörlükçe Türkçeye çevrilir. Ana dili İngilizce olmayan yazarlara, yazılarını Editörlüğe göndermeden önce, gramer ve üslup açısından, ana dili İngilizce olan bir kişiden katkı almaları özellikle önerilir. Hazırlanan makaleler orijinal ve daha önce basılmamış araştırma, yorum ya da her ikisine ait sentezi içermeli, veya teknik not niteliğinde olmalıdır. Yazının gönderilmesi, daha önce basılmamış veya başka bir yerde incelemede olmadığını gösterir.

### MAKALE SUNUM SÜRECİ ve ETİK BİLDİRİMİ

Tüm makaleler internet üzerinden <http://dergipark.gov.tr/tjb> adresindeki "Makale Gönder" menüsü aracılığıyla Türkiye Jeoloji Bülteni'ne elektronik ortamda gönderilmelidir. Bunun için önce DergiPark sistemine üye olmalısınız. Türkiye Jeoloji Bülteni yazarlardan sayfa ücreti talep etmemektedir. Dergiye sunulan makaleler, daha önce yayınlanmadığı ve başka yerde yayınlanmak üzere gönderilmediği varsayılarak değerlendirme için kabul edilir. Yazarlar, makalenin ana içeriğinin daha önce yayınlanmadığını ve başka bir dergide yayınlanmak üzere gönderilmediğini onaylamalıdır. <http://dergipark.gov.tr/tjb> veya [www.jmo.org.tr](http://www.jmo.org.tr) adresinde bulunan telif hakkı devir formu, tüm yazarlar adına ilgili yazar tarafından imzalanmalı ve makale dosyalarıyla birlikte gönderilmelidir. Bir makale sunulduktan sonra, başka yazar eklenmesi veya çıkarılması veya yazarların değiştirilmesi mümkün değildir. Makaleler, yazım kurallarına uymuyorsa ya da dergi kapsamı dışındaysa, dergi editörü tarafından hakem değerlendirmesi yapılmaksızın reddedilebilir. Bir makale yayın için kabul edildikten sonra, diğer bir deyişle, hakem tarafından önerilen düzeltmeler tamamlandıktan ve editör tarafından kabul edildikten sonra, yazara makalede değişiklik yapma izni verilmez. Makale yayınlanmadan önce, yazarlara düzeltmeler için prova baskı gönderilir. Başkasının fikir veya sözcüklerinin orijinal biçiminde kullanılması veya uygun bir atıf yapılmaksızın değiştirilmesi, intihal olarak kabul edilir ve tolere edilemez.



## YAZIM KURALLARI

### Yazılar aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır:

- (a) Başlık (Türkçe ve İngilizce)
- (b) Yazar Adları (koyu ve baş harfleri büyük harfle) ve adresleri (italik ve küçük harfle) ile başvurulacak yazarın e-posta adresi
- (c) Öz (Türkçe ve İngilizce)
- (d) Anahtar Kelimeler (Türkçe ve İngilizce)
- (e) Giriş (amaç, kapsam ve yöntem)
- (f) Ana metin (kullanılan yöntemler, çalışılan malzemeler, tanımlamalar, analizler vd)
- (g) Tartışma ve Sonuçlar veya Tartışma Önerileri
- (h) Extended Summary / Genişletilmiş Özet
- (i) Katkı Belirtme
- (j) Kaynaklar
- (k) Çizelgeler
- (l) Şekiller Dizini
- (m) Şekiller
- (n) Levhalar (var ise)

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar farklı şekillerde ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Ana başlıklar büyük harflerle ve koyu yazılmalıdır. İkinci derece başlıklar alt başlık olarak değerlendirilmeli ve birinci ve ikinci derece alt başlıklar küçük harfle (birinci derece alt başlıklarda her kelimenin ilk harfi büyük) ve koyu, üçüncü derece alt başlıklar ise italik olmalıdır. Başlıkların önüne numara veya harf konulmamalıdır. Yazılar (öz, metin, katkı belirtme, kaynaklar, ekler ve şekiller dizini) A4 (29.7 cmX21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlardan en az 2,5 cm boşluk bırakılarak, 1,5 cm aralıkla ve 12 puntoyla (Times New Roman) yazılmalı, ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

### **Başlıklar şu şekilde olmalıdır:**

**ÖZ**

**ABSTRACT**

**GİRİŞ**

**ANA BAŞLIK**

**Birinci Derece Alt Başlık**

**İkinci derece alt başlık**

**Üçüncü derece alt başlık**

**SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

**EXTENDED SUMMARY**

**KATKI BELİRTME**

**ORCID**

**KAYNAKLAR / REFERENCES**

### **Kapak Sayfası**

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır:

- a. Yazının başlığı
- b. Yazar(lar)ın ad(lar)ı (ad ve soyadı kısaltılmadan)
- c. Tüm yazarların açık posta ve e-mail adresleri (Başvurulacak Yazar belirtilerek). Başvurulacak yazarın telefon numarası da ayrıca belirtilmelidir.

## **Başlık ve Yazarlar**

Yazının başlığı, çalışmanın içeriğini anlaşılır şekilde yansıtmalıdır. Eğer yazı Türkçe hazırlanmışsa, Türkçe başlığı (koyu ve kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde) İngilizce başlık (italik ve kelimelerin ilk harfleri büyük olacak şekilde) izlemelidir. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise, İngilizce başlık Türkçe başlıktan önce ve yukarıda belirtilen yazım kurallarına göre verilmelidir. Makaledeki yazarlar orcid.org web adresinden edinecekleri ORCID kimliklerini makale ile birlikte sunmalıdır.

### **Yazarlara ilişkin bilgi ise aşağıdaki örneklere uygun olarak verilmelidir.**

Ahmet Ahmetoğlu

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği  
Bölümü, Tandoğan 06100 Ankara  
e-posta: a\_ahmetoğlu@ankara.edu.tr  
ORCID Numarası: 0000-0001-1458-0820

A. Hüsnü Hüsnüoğlu

MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etütler Dairesi, 06520 Ankara  
e-posta: husnu56@mta.gov.tr  
ORCID Numarası: 0000-0001-1458-0830

## **ÖZ**

Çalışma hakkında bilgi verici bir içerikle (çalışmanın amacı, elde edilen başlıca sonuçlar) ve 300 kelimeyi aşmayacak şekilde hazırlanmalıdır. Özde kaynaklara atıfta bulunulmamalıdır. Özler hem Türkçe hem de İngilizce olarak verilmelidir. Türkçe hazırlanmış yazılarda Özden sonra “Abstract” (İtalik) yer almalı, İngilizce yazılarda ise italik yazılmış Türkçe Öz Abstract’ı izlemelidir.

## **Anahtar Kelimeler**

Öz ve Abstract’ın altında en az 2-7 kelimeyi aşmayacak şekilde ve yazının konusunu yansıtan anahtar kelimeler Türkçe ve İngilizce olarak verilmelidir. Anahtar kelimeler, alfabetik sırayla küçük harfle (ilk anahtar kelimenin ilk harfi büyük) yazılmalı ve aralarına virgül konmalıdır. Teknik Not ve Tartışma türü yazılarda anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

## **EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET**

Genişletilmiş özet 2500 kelimeyi geçmemelidir. Ancak makalenin öz/abstract kısmından daha geniş hacimli olmalıdır. Genişletilmiş özet kısmında yeni bir şekil ve çizelge verilmemelidir. Ancak makalede kullanılan şekil ve çizelgelere bu kısımda atıf yapılabilir. Aynı şekilde, makale içinde atıf yapılan kaynaklara da gerektiğinde bu kısımda atıf yapılmalıdır.

## **KATKI BELİRTME**

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

## **DEĞİNİLECEK BELGELER**

### **Metin İçinde Atıfların Yazılması**

#### **A. Yayında tek yazar varsa**

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa:

(Yazar1, Tarih) **Ör:** (Sönmez, 1996)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa:

Yazar1 (Tarih) **Ör:** Sönmez (1996)

**B. Yayımda 2 yazar varsa**

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa:

(Yazar1 ve Yazar2, Tarih) Ör: (Merriman ve Frey, 1999)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa:

Yazar1 ve Yazar2 (Tarih) Ör: Merriman ve Frey (1999)

**C. Yayımda 2'den fazla yazar varsa**

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa:

(Yazar1 vd., 1987) Ör: (Pettijohn vd., 1987)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa:

Yazar1 vd. (1987) Ör: Pettijohn vd. (1987)

**D. Arka arkaya birden fazla atıfta bulunulacaksa**

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa:

(Merriman ve Frey, 1999; Pettijohn vd., 1987; Sönmez, 1996)

Metin içinde yazılması gerekiyorsa:

Merriman ve Frey (1999), Pettijohn vd. (1987), Sönmez (1996)

**E. Aynı yazarların aynı yıl içinde birden fazla yayınına atıfta bulunulduysa**

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

Kaynakçada:

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

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

Metin içindeki atıflarda:

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

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

**Kaynaklar Bölümü**

**Aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır**

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

**A. Sürelî yayınlar:**

**A.1. Sürelî yayınların gösterilmesi:**

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

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

## A.2. Özel durumlar:

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

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

### *A.2.2. Eğer makalenin makale numarası varsa:*

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

## **B. Bildiriler:**

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

Şanlıyüksel Yücel, D., İleri, B. (2019). Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. H. Sözbilir, Ç. Özkaymak, B. Uzel, Ö. Sümer, M. Softa, Ç. Tepe, S. Eski (Ed.ler), 72. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri ve Tam Metin Bildiriler Kitabı*, (s.63-64). Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları. [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893_ek.pdf)

## **C. Kitaplar:**

### C.1. Kitapların gösterilmesi:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). *Kitabın Adı* (ilk harfleri Büyük). Yayınevi. Varsa DOI bilgisi veya internet erişim bilgisi  
Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. (1987). *Sand and Sandstones* (2nd ed.). Springer-Verlag New York. <https://www.doi.org/10.1007/978-1-4612-1066-5>

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

### C.2. Çeviri Kitapların Gösterilmesi:

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

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

## **D. Kitapta Bölüm ise:**

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

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

## **E. Raporlar ve Tezler:**

### E.1. Raporlar:

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

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

### E.2. Tezler:

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

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

#### **F. Kişisel Görüşme:**

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

#### **G. İnternette İndirilen Bilgiler:**

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

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

#### **H. Kaynak olarak kullanılan haritalar:**

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

### **Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.**

#### **Eşitlikler ve Formüller**

Matematiksel semboller ve formüller el yazısıyla yazılmamalıdır. Eşitlik numaraları eşitliğin hizasında ve sağ kenarına dayandırılarak birbirini izleyen bir sırayla parantez içinde, ayrıca eşitliklerdeki sembollerin anlamı makalede ilk kez kullanıldıkları eşitliğin altında verilmelidir.

Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır. Çarpım işlemini göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda "\*" işareti tercih edilmelidir (örneğin;  $y=5*10^{-3}$ ). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla  $Ca^{++}$  ve  $CO_3^{--}$  yerine  $Ca(2+)$  ve  $CO_3(2-)$  tercih edilmelidir. Metinde eşitliklere "eşitlik (1)" şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekliyse, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

#### **Çizelgeler**

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte, Dergi'nin sayfalarındaki baskı alanını (15,8 x 22,5) aşmayacak şekilde hazırlanmalı ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısımlarında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır (Çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir.). Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı, İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, "Çizelge 1" vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler, metinde kullanılan karakterlerden daha küçük (10 veya 11 punto) karakterle yazılmalı ve Dergi'nin tek (7,3 cm-Genişlik) veya çift (15,8 cm-Genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir. Çizelgelerde düşey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için Dergi'nin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalara bastırılarak metnin sonunda (Kaynaklar dizininin sonra) sunulmalıdır. Çizelgelerdeki kısaltma ve simgeler daha küçük karakterlerle çizelgenin altında verilmelidir (örneğin: c:tek eksenli sıkışma dayanımı vd.).

#### **Şekiller**

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak "Şekil" başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalı, ayrıca şekiller küçültülüp büyütülebilecek halde sunulmalıdır. Şekil açıklamaları; şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya yazılarak "Şekiller Dizini" başlığıyla verilmeli, ayrıca "Şekil 1" olarak başlamalıdır. Çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Ayrı sayfalara bastırılmış olan şekiller, çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekiller için en büyük

boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15,8 cm (genişlik) x 22,5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin Dergi'nin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir. Özellikle haritalar, arazi ile ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çubuk ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun olduğu takdirde, ulusal grid veya enlem/boylam değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları, şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yer almalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda (örneğin; Şekil 5a ve 5b) a,b,c vb. gibi tek bir şekle ait çizimler veya fotoğraflar, ayrı sayfalarda basılması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. Şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen grafiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Gölgeleme belirgin, fotoğraflar siyah-beyaz ve iyi bir kontrasta sahip olmalıdır. Tüm şekiller, Şekil 1 veya Şekil 1 ve 2 (birden fazla şekle değiniliyorsa) gibi ve metinde anıldıkları sırayla numaralandırılmalıdır. Bir dizi fosil fotoğraflarını içeren şekiller levha olarak değerlendirilmelidir. Levha sayısı mümkün olduğunca az tutulmalıdır. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem de İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

### **MAKALELERİN EDITÖRLÜĞE GÖNDERİLMESİ**

Makaleler yazım kurallarına uygun şekilde hazırlandıktan sonra DergiPark Akademik ([dergipark.gov.tr/tjb](http://dergipark.gov.tr/tjb)) adresi üzerinden elektronik olarak sisteme yüklenmelidir.

### **TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ EDITÖRÜ**

Prof. Dr. Erdiñ YİĞİTBAŞ

Tel: 286 2180018-20088

e-posta: [eyigitbas@comu.edu.tr](mailto:eyigitbas@comu.edu.tr)

### **YAYIMA KABUL EDİLEN MAKALELERİN SUNUMU**

Yazarlar, makalelerinin yayıma kabulü halinde, makalenin düzeltilmiş son halini DergiPark Sistemi üzerinden Editör'e göndermelidir. Makaleler \*DOCX biçiminde hazırlanmalıdır. Tüm şekiller Corel Draw ile çizilmelidir. Bununla birlikte, şekillerin çözünürlükleri 300 dpi den az olmamalıdır. Hem çizim (CDR) hem de resim (JPG) dosyaları DergiPark Sistemi üzerinden gönderilmelidir.

### **PROVA BASKILAR**

Makalelerin prova baskıları, dizgi ve yazım hatalarının olup olmadığını kontrolü için Başvurulacak Yazar'a gönderilir. Prova baskılarda yapılacak düzeltmeler yazım hataları ile sınırlı olup, yazarların makaleyi kabul edilmiş son halinden farklı duruma getirebilecek değişiklikler ve düzeltmeler yapması kabul edilemez. Prova baskılar, yazarlar tarafından alındıktan sonra en geç üç gün içinde editöre gönderilmelidir. Gecikmeli olarak yapılacak düzeltmelerin baskıya verilmesi garanti edilemeyeceği için, yazarların prova baskıları göndermeden çok dikkatli şekilde kontrol etmeleri önerilir.

### **TELİF HAKLARI**

Yazar veya (Başvurulacak Yazar (birden fazla yazarlı makalelerde), kendisi ve diğer yazarlar adına "Telif Hakkı Devir Formu"nu makalenin baskıya verilmesinden önce imzalamalıdır. Bu sözleşme, Jeoloji Mühendisleri Odası'na yazarlar adına telif hakkı alınmış yayınlarını koruma olanağı sağlamakla birlikte, yazarların makalenin sahibi olma haklarından vazgeçtiği anlamına gelmemektedir. Telif Hakkı Devir Formu, en kısa sürede Editör'e gönderilmelidir. Bu form Editör'e ulaştırılıncaya değin, makale yayına kabul edilmiş olsa bile, baskıya gönderilmez.

### **ETİK İLKELER VE YAYIN POLİTİKASI**

Türkiye Jeoloji Bülteni (*Türkiye Jeol. Bül.*) yayıncı ve kullanıcıları (Baş Editör, editörler, alan editörleri, yazarlar, hakemler, okuyucular vb.) Yayın Etiği Komitesi (COPE) tarafından belirlenen etik kurallara ve sorumluluklara uymalıdır.

## **Dergi Politikası:**

**Açık Erişim Politikası:** *Türkiye Jeol. Bül.* hakemli bir dergidir. Basılı ve elektronik ortamda çevrimiçi yayın yapmakta olup açık erişim sistemine sahiptir. Dergi sayıları Ocak, Nisan ve Ağustos aylarında yılda üç kez yayınlanır. Yayın süreçlerinde, bilimsel yöntemle özgürce ve yansız biçimde üretilen bilginin paylaşılması gözetilir. Makale değerlendirme sürecinde kör hakemlik sistemi uygulanır. *Türkiye Jeol. Bül.*'nin 1947 yılından itibaren yayınlanan tüm sayıları gerek yayıncı kuruluş olan Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO) tarafından basılı ve elektronik versiyonları ve TÜBİTAK - DergiPark tarafından ise elektronik versiyonları arşivlenmektedir.

**Ücret Politikası:** *Türkiye Jeol. Bül.*'nin yayıncı kuruluşu JMO'dır. JMO ve/veya *Türkiye Jeol. Bül.* derginin basılı ve elektronik versiyonları için herhangi bir ücret ya da abonelik bedeli, yazarlar için ise yayın ücreti ya da benzeri bir ödeme talep etmez.

**Telif Hakkı Devri:** JMO ve/veya *Türkiye Jeol. Bül.*, yayımlanacak makalelerin telif haklarının alınması için yazarlardan yazılı onay alır. İlgili yazar, dergiye sunulan makalenin yazarı/sahibi olduğunu ve kendisi ve diğer yazar(lar) adına telif hakkını JMO ve/veya *Türkiye Jeol. Bül.*'ne devreder. **Telif Hakkı Devri Formu**'nun doldurularak, makale sunumu esnasında dergi sistemine yüklenmesi zorunludur. Sorumlu yazar, gönderilen bu makalenin başka bir yerde benzer bir formda yayınlanmadığını, makalenin orijinal olduğunu ve yayınlanmak üzere başka bir yere gönderilmeyeceğini garanti etmelidir. Sunulan makalenin tüm yazarları, yazının tüm haklarını ve tüm telif haklarını imzalayarak JMO ve/veya *Türkiye Jeol. Bül.*'ne devretmelidir. JMO ve/veya *Türkiye Jeol. Bül.*'nin, ilgili makalenin tamamını veya bir kısmını dersler/ders notları, raporlar ve ders kitapları/basılı kitaplar gibi gelecekteki eserlerinde herhangi bir ödeme yapmadan kullanma hakkı ve ilgili makalenin kendi kullanımını için kopyasını alma hakkı vardır. JMO ve/veya *Türkiye Jeol. Bül.*; ticari amaçlar dışında patent hakları gibi telif hakkı dışındaki tüm haklarını saklı tutar.

**Makale sunumu:** *Türkiye Jeol. Bül.*'ne değerlendirilmek üzere makale gönderecek yazar(lar), öncelikle DergiPark'a üye olmak zorundadır. Sorumlu yazar çalışmalarını (orijinal makale, derleme, vb) *Türkiye Jeol. Bül.*'ne Dergipark sistemi üzerinden göndermelidir.

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

**Yazar Katkısı Beyanı ve Çıkar Çatışması/Çakışması Beyanı:** Makale yazarlarının her biri makaleye önemli bilimsel katkıda bulunmuş olması gerektiğinden her yazarın eşit etik sorumluluk taşıdığı kabul edilir. Makalenin tüm yazarları, hatalı durumlarda geri çekme veya düzeltme yapmakla yükümlüdür.

Yazarlar, yazılarını sisteme yükleme aşamasında gerek benzer konularda araştırma yapan diğer araştırmacılar bakımından ve gerekse potansiyel hakemlik konularında her türlü çıkar çatışmasını/çakışmasını açıkça belirtmelidir. Çıkar çatışması/çakışması bulunmadığını düşündüğü durumda ise bu husus açıkça belirtilmelidir.

**Kör hakemlik:** *Türkiye Jeol. Bül.*'nde tüm bilimsel yayınların objektif değerlendirilmesini sağlamak amacıyla kör hakemlik sistemi uygulanmaktadır. Makaleye hakem atama aşamasında hakem ve yazar(lar) arasında herhangi bir çıkar çatışması/çakışması bulunmamasına özen gösterilmektedir. Bu amaçla hakem ve yazar(lar) arasında bilhassa; a) Tez danışmanı/öğrenci ilişkisi olmaması, b) Yazar(lar) ve hakem arasında yakın geçmişte (son 2 yıl) ortak araştırma ve yayın yapılmış olması, c) Aynı kurumda görev yapıyor olmaması, d) Dergiye sunulan yazıya biçim ya da içerik yönünden katkı yapmamış olması, e) Yazar(lar) ve hakem arasında yargıya ya da etik kurullara intikal eden ihtilafların olmaması, f) Hakem ve yazar(lar) arasında akrabalık ilişkisinin olmaması g) Hakemin yazar(lar) hakkında kamuoyuna intikal etmiş önyargılarının bulunmaması, h) Hakem ve yazar(lar) arasında herhangi bir ticari ilişkisinin olmaması vb durumlar dikkate alınır. Dergi editörlüğünün gözünden kaçan durumların olması ihtimaline karşı hakemlerin de böyle bir durumda editörlüğü uyarması gerekir. Ayrıca hakemlerin;

- Sadece uzmanlık alanlarına giren makaleleri değerlendirmeleri,
- Değerlendirmeyi tarafsız, objektif ve gizlilik içinde yapmaları,
- Değerlendirmede milliyet, cinsiyet, dini inanç, siyasal düşünce, ticari kaygılar vb nedenlerle tarafsızlıklarını kaybetmemeleri,

- Görüş ve önerilerini akademik görgü kuralları içinde, yapıcı ve akademik bir dille yapmaları, kişisel polemik yaratacak üsluptan kaçınmaları,
- Yayın sürecini sebepsiz uzatacak şekilde değerlendirmelerini geciktirmemeleri istenir.

### **Değerlendirme İşlemi:**

**Ön Kontrol (Hakem değerlendirme öncesi) Süreci:** *Türkiye Jeol. Bült.*'ne sunulan makale ilk olarak, Baş Editör tarafından dergi amaç ve kapsamına uygunluğu açısından gözden geçirilir. Gönderilen makale, derginin amaç ve kapsamına uymuyorsa en geç 15 gün içerisinde reddedilir ve yazara bilgi verilir. Amaç ve kapsamı uygun bulunan makale, yapılan hakem değerlendirmesi öncesi yazım kuralları, dil ve anlatım açısından ve çalışmanın planlanması açısından incelenir. Bu konularda eksiklikleri bulunan makalelerin yazar tarafından düzeltilmesi istenir. Değerlendirme sürecinde yazarlar editör ve hakemlerin görüş, öneri ve eleştirilerine cevap vermekle yükümlüdürler. Yazarlar, hakem görüşlerini dikkate alarak sorulan soruları cevaplamak, görüş ve önerileri değerlendirmek, eleştirilere karşı olumlu ya da olumsuz karşılık vererek bunlara dair kanıtlarını ayrıntılı bir mektupla editöre bildirmek zorundadır. Bu karşı mektupta akademik üslup kullanılmalı, kişisel tartışmalardan kaçınılmalıdır. Hakem görüşleri doğrultusunda düzeltilmesi istenen makalelerin düzeltilmiş kopyası geçerli bir neden olmaksızın 30 gün içerisinde tekrar editöre gönderilmediği takdirde editörün makaleyi reddetme hakkı vardır. Yeniden düzenleme sonrası, düzeltilmiş makale editör tarafından gerekirse yeniden hakem değerlendirmesine gönderilir veya editör tarafından doğrudan kabul veya reddedilir.

**Hakem Değerlendirme Süreci:** Makalelerin tüm bölüm içerikleri incelenip hakem değerlendirmesi için uygun bulunduğu makaleler hakem değerlendirmesine alınır. Ancak, herhangi bir nedenle hakem değerlendirmesine uygun bulunmayan makaleler, editörün değerlendirme raporuyla birlikte reddedilir. Yazara en geç 15 gün içerisinde bilgi verilir. Hakem değerlendirmesinde makaleler, editör tarafından içerik ve uzmanlık alanlarına göre dergi hakem havuzundan ve/veya havuz dışından olmak üzere, en az üç hakeme gönderilir. Makale hakemlerinin belirlenmesinde yukarıda açıklanan çıkar çatışması/çakışması hususlarına özen gösterilir. Hakemler değerlendirme süreciyle ilgili hiçbir kimseyle bilgi ve belge paylaşmayacaklarını garanti etmek zorundadır. Hakem değerlendirme süreci için hakemlere verilen süre 30 gündür. Hakemler veya editörden gelen düzeltme önerilerinin yazarlar tarafından 30 gün içerisinde tamamlanması zorunludur. Hakemler makale için düzeltmelerini inceleyerek uygunluğuna karar verebilir veya gerekiyorsa birden çok defa düzeltme talep edebilir. Değerlendirme sonucu, hakemlerden gelen görüşler, editör tarafından en geç 15 gün içerisinde incelenir. İnceleme sonucunda, editör makaleye ilişkin nihai kararını vererek yazara iletir. Ret kararı verilen makaleler arşivlenir.

**Makale Geri Çekme:** Değerlendirme aşamasındaki makalesini geri çekme isteğinde bulunan yazar(lar), konuyu içeren ıslak imzalı dilekçeyi dergi e-mail adresi [tjbdergi@gmail.com](mailto:tjbdergi@gmail.com) üzerinden yayın kuruluna iletirler. Yayın Kurulu, geri çekme dilekçesini inceleyerek en geç 15 gün içerisinde cevap verir. Yayın Kurulu tarafından dilekçesi onaylanmayan bir makalenin yazar(lar)ı, makalelerini başka bir dergiye gönderemezler. Yazar(lar)ın yayınlanmış, erken görünüm veya değerlendirme aşamasındaki çalışmasıyla ilgili bir yanlış ya da hatayı fark etmesi durumunda, dergi editörüyle işbirliği yapma yükümlülüğü bulunmaktadır. Yazar(lar), bizzat kendilerine ait olmayan verileri kullanma hakkına sahip olduklarını, araştırma/analiz ile ilgili gerekli olabilecek izinleri gösteren belgelere sahip olmalıdır.

Editörler, derginin gelişimi ve yayınlanan çalışmaların kalitesini geliştirmeye yönelik süreçleri dikkatle takip eder. *Türkiye Jeol. Bült.* Yayın Kurulu basım aşamasında, değerlendirme aşamasında veya yayınlanmış bir makale için telif hakkı ve intihal şüphesi oluşması durumunda, makaleyle ilgili bir soruşturma başlatır. Yapılan soruşturma sonucunda, makalede telif hakkı ve intihal şüphesi tespit edilmesi durumunda, Yayın Kurulu makaleyi detaylı açıklama yaparak değerlendirme aşamasından geri çekme işlemi yazar(lar)a en geç 15 gün içerisinde bildirir.

**Gizlilik:** *Türkiye Jeol. Bült.* sistemindeki tüm kişisel bilgiler bilimsel amaçlarla kullanılmakta olup, üçüncü taraflarla paylaşılmamaktadır.

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





## **GEOLOGICAL BULLETIN OF TURKEY**

### **AIM and SCOPE**

The Geological Bulletin of Turkey (*Geol. Bull. Turkey*) is one of the oldest and best-known journals in Turkey, published since 1947. It is published by the Chamber of Geological Engineers (CGE) with three issues every year. The journal accepts articles about earth science topics apart from engineering geology. Primary topics include geology, tectonics, structural geology, geochronology, geochemistry, sedimentology, biostratigraphy, paleontology, mineralogy, magmatic and metamorphic petrology, mineral deposits, geophysics and geomorphology, in addition to environmental and urban geology along with economic geology. Articles are accepted in both Turkish and English at current scientific levels in relation to these topics. Articles include primarily Turkey and surroundings, eastern Mediterranean, Middle East, Balkans, Black Sea and Caspian Sea areas, along with ranked articles from all other critical regions of the world. Articles including results with high scientific level from research completed within this scope are published without any fee. The journal is open access. The target audience for the journal is all earth scientists interested in these topics and this scope. The journal includes mainly original research articles and lower numbers of reviews and publications with other scientific qualities. Selected sessions at the Geological Congress of Turkey and other national and international meetings may later be published as special issues after reviewed publication processes.

### **PREPARATION OF MANUSCRIPTS**

The language of the GEOLOGICAL BULLETIN OF TURKEY is both Turkish and English. For manuscripts submitted in English “Genişletilmiş Özet”, for manuscripts submitted in Turkish “Extended Summary” should be given. If the author(s) are residents of a non-Turkish speaking country, titles, abstracts and captions of figures and tables are translated into Turkish by the Editors. It is strongly recommended that authors whose native language is not English, should ask a person whose native language is English to check the grammar and style of manuscript before submission. Paper should be original and comprise previously unpublished research, interpretations, or synthesis of two, or technical notes. Submission implies that the manuscript is not currently under consideration for publication elsewhere.

### **SUBMISSION PROCESS and ETHICAL STATEMENT**

All manuscripts must be submitted electronically via the Internet to the Geological Bulletin of Turkey through the online system DergiPark at <http://dergipark.gov.tr/tjb>. There are no page charges. Papers are accepted for publication on the understanding that they have not been published and are not going to be considered for publication elsewhere. Authors should certify that neither the manuscript nor its main contents have already been published or submitted for publication in another journal. The copyright release form, which can be found at <http://dergipark.gov.tr/tjb>, or [www.jmo.org.tr](http://www.jmo.org.tr) must be signed by the corresponding author on behalf of all authors and must accompany all papers submitted. After a manuscript has been submitted, it is not possible for authors to be added or removed or for the order of authors to be changed. Manuscripts may be rejected without peer review by the editor-in-chief if they do not comply with the instructions for authors or if they are beyond the scope of the journal. After a manuscript has been accepted for publication, i.e. after referee-recommended revisions are complete, the author will not be permitted to make changes that constitute departures from the manuscript that was accepted by the editor. Before publication, the galley proofs are always sent to the authors for corrections. The use of someone else’s ideas or words in their original form or changed without a proper citation is considered plagiarism and will not be tolerated.

## INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS

**Manuscripts should generally be structured as follows:**

- (a) Title (English and Turkish)
- (b) Names of authors (bold and in capital), their affiliations (italic and lower-case) and the name and e-mail address of the corresponding author.
- (c) Abstract (English and Turkish)
- (d) Key words (English and Turkish)
- (e) Introduction (aim, content and methodology)
- (f) Main text (methods, material studied, descriptions, analyses etc.)
- (g) Results and Discussion or Conclusions and Recommendations
- (h) Extended Summary / Genişletilmiş Özet
- (i) Acknowledgements (if necessary)
- (j) References
- (k) Tables
- (l) List of figure captions
- (m) Figures
- (n) Plates (if any)

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

### Examples for headings:

**ABSTRACT**

**INTRODUCTION**

**PRIMARY HEADING**

**Primary Sub-Heading**

**Secondary sub-heading**

*Tertiary sub-heading*

**CONCLUSIONS**

**GENİŞLETİLMİŞ ÖZET / EXTENDED SUMMARY**

**ANCKNOWLEDGEMENTS**

**ORCID**

**REFERENCES**

### **Cover Page**

A cover page, separate from the main manuscript, must include the followings:

- a. Title of the paper
- b. Name(s) of author(s) (full forenames should be given)
- c. Full postal and e-mail addresses of all authors (the corresponding author should be indicated). Phone number for the corresponding author should also be provided.

### **Title and Authors**

The title of the paper should unambiguously reflect its content. If the paper is written in Turkish, the Turkish title (in bold-face type and first letter of the words capital) should be followed by the English title (italic and

first letter of the words capital). If the paper is in English, the English title should appear before the Turkish title in the style mentioned above. Authors should provide their Orcid ID which can be obtained from [orcid.org](http://orcid.org) website.

**The information related with authors should be given as follow:**

Ahmet Ahmetoğlu Ankara University, Engineering Faculty, Geological Engineering  
Department Tandoğan 06100 Ankara  
e-mail: [a\\_ahmetoğlu@ankara.edu.tr](mailto:a_ahmetoğlu@ankara.edu.tr)  
ORCID Number: 0000-0001-1458-0820

A. Hüsnu Hüsnuoğlu MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdlr Dairesi, 06520 Ankara  
e-posta: [husnu56@mta.gov.tr](mailto:husnu56@mta.gov.tr)  
ORCID Number: 0000-0001-1458-0830

**ABSTRACT**

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

**Keywords**

The abstract should include minimum 2, and not more than 7 keywords which reflect the entries the authors would like to see in an index. Keywords should be given in both Turkish and English. Keywords should be written in lower-case letters, separated by commas, and given in alphabetical order. For Technical Notes and Discussions, keywords should not be provided.

**GENİŞLETİLMİŞ ÖZET / EXTENDED SUMMARY**

The extended abstract should not exceed 2500 words. But it must be more bulky than abstract. The new figure or table should not be given. But reference can be given to figures and tables present in main text.

**ACKNOWLEDGEMENTS**

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

**CITATIONS and REFERENCES**

**Citation in the text**

**A. *If the article has one author***

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

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

**B. *If the article has two authors***

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

Narrative citations: Author1 and Author2 (Year) e.g.: Sönmez (1996)

**C. *If the article has more than two authors***

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

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

#### **D. Citing Multiple Works**

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

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

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

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

In References:

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

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

Citations in the text:

Paranthetical citations: (Ahmetoğlu & Hüsünüoğlu, 2022a)

Narrative citations: Ahmetoğlu & Hüsünüoğlu (2022a)

### **References**

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

#### **A. Journals**

***Bundan sonrasında bir değişiklik yok araya yukarıdakileri ekleyeceğiz***

#### **A.**

##### A.1. Citing the periodicals:

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

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

##### A.2. Special cases:

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

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

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

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

#### **B. Proceedings and Abstracts:**

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

Şanlıyüksel Yücel, D., İleri, B. (2019). Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. In H. Sözbilir, Ç. Özkaymak, B. Uzel, Ö. Sümer, M. Softa, Ç. Tepe, S. Eski (Eds.), *72<sup>nd</sup> Geological Congress of Turkey The Proceedings and Abstracts Book*, (s.63-64). Chamber of Geological Engineers of Turkey Publications No: 140. [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893_ek.pdf)

### **C. Books:**

#### C.1. Citing of books:

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

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

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

#### C.2. Citing of translated books:

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

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

### **D. Chapter in book:**

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

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

### **E. Reports and Thesis:**

#### E.1. Reports:

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

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

#### E.2. Thesis:

Author, (Date). *Title of Thesis* [published or unpublished & PhD or Msc Thesis]. Name of the Institution or University.

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

### **F. Personal Communications:**

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

### **G. Information Downloaded from the Internet**

Name of the Organization, (Date). Web address, date of access to website.

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

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

### **Mathematical Expressions**

Mathematical symbols and formulae should be typed. Equation numbers should appear in parentheses at the right-hand side of the equations and be numbered consecutively. For Greek or other non-Roman letters, identify the symbol in words in the left-hand margin just below the equation the first time it is used. In addition, the meaning of symbols used in equations should be given below the equations.

Instead of square-root symbol, an indice of 0.5 should be used (e.g.  $y=5x^{0.5}$ ). For the of multiplication sign do not use any symbol, however if necessary, the symbol “\*” can be preferred (e.g.  $y=5*10^{-3}$ ). Please use “/” for division instead of a horizontal line between numerator and denominator. In the expression of chemical reactions, ions should be given as Ca(2+) and CO<sub>3</sub>(2-) instead of Ca<sup>++</sup> and CO<sub>3</sub><sup>--</sup>. In the text, equations should be referred to as equation (1). Computer program listings, if appropriate, must be very clear in an Appendix.

### **Tables**

Tables with their titles should not exceed the printed area of the page (15.8 cm (wide) x 22.5 cm (deep)) and be numbered consecutively. Both Turkish and English titles should appear at the top of a table (do not print table captions on a separate sheet). If the manuscript is written in Turkish, English title in italics should follow the Turkish title. For manuscripts in English, a Turkish title should appear below the English title in italics. They should begin “Table 1.” etc. Tables should be referred to as Table 1 or Tables 1 and 2 (if more than one table is referred to). Tables can be written in a font size smaller than that of the text (10 or 11 point). Tables should be arranged to fit single column (7.3 cm wide) or double column (15.8 cm wide). No vertical rules should be used. Horizontal rules should only be used at the top and bottom of the tables, and to separate headings and numbers listed in the tables (Please check the previous issues of the Journal). Tables should not duplicate results presented elsewhere in manuscript (e.g. in graphs). Each table should be separately printed and appear after the text (after references). All abbreviations and symbols must be identified with smaller character underneath the tables (e.g. c: uniaxial compressive strength, etc).

### **Illustrations**

All illustrations, whether diagrams, charts and photographs, should be of high quality, referred to as “Figures” and be numbered consecutively as they appear in the text. They must be originals. The number of the figure should be given at top on the right-hand side of the paper. Illustrations should be provided in camera-ready form, suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Figure captions should be supplied on a separate sheet and should begin “Figure 1.” etc. As with the rules given for tables, figure captions should also be given both in Turkish and English. All illustrations should be given with a list of figure captions. The maximum printed size of illustrations is 15.8 cm (wide) x 22.5 cm (deep) together with figure captions. It is recommended that all illustrations should be designed with the Journal’s single-column or two-column layout in mind, and where possible, illustrations should be designed for a single column. Illustrations, particularly maps, field sketches and photographs should have a metric bar scale rather than magnification factors. All maps should have a north mark. Regional maps may include National Grid or latitude/longitude number where appropriate. Map keys should be given on the figure, not in the figure caption.

Photographs, line drawings, or combinations may be grouped as figure parts (a), (b), etc. It is preferred that these are mounted. Letters or numerals should not be less than 1 mm after reduction. Avoid fine shading and

tones, particularly from computer graphics packages. Shading should be distinct. Photographs must be black and white and sharp, and exhibit good contrast.

All illustrations must be numbered in the order in which they are referred to and discussed in the text as Figure 1 or Figure 1 and 2 (if more than one figures is referred to). Illustrations consisting of a set of fossil photographs should be given as ‘Plates’ and mounted in the desired layout. The number of plates should be kept to a minimum. Explanations of plates should be given in both Turkish and English on the same page.

### **SUBMISSION OF MANUSCRIPTS**

Papers should be submitted electronically through web site DergiPark Academics ([dergipark.gov.tr/tjb](http://dergipark.gov.tr/tjb))

#### **EDITOR IN-CHIEF**

*Prof. Dr. Erdiñç YİĞİTBAŞ*

*Tel: 286 2180018-20088*

*e-mail: [eyigitbas@comu.edu.tr](mailto:eyigitbas@comu.edu.tr)*

### **SUBMITTING ARTICLES ADMITTED TO PUBLICATION**

In cases where authors’ manuscripts are admitted to publication, authors should send revised final copies of their manuscripts to Editor through the DergiPark System. Manuscripts should be issued in \*DOCX format. All images, should be issued in Corel Draw. Besides, the resolution of the figures should not be less than 300 dpi. Both drawing (CDR) and image (JPG) files must be submitted through the DergiPark System.

### **PROOFING**

Proofing of articles are sent to Reference Author to check for typographical errors and misspelling. Revisions in proofing are limited to misspelling and any amendments and revisions by authors that may alter article in a way different than its final version are not acceptable. Proofing should be sent to editor within at latest three days after receipt by authors. Delayed revisions cannot be guaranteed for printing and therefore, authors are strictly recommended to precisely inspect proofing prior to sending.

### **COPYRIGHT**

The author or corresponding author on behalf of all authors (for papers with multiple authors) must sign the ‘Copyright Transfer’ agreement before the article can be published. This transfer agreement enables the Chamber of Geological Engineers to protect the copyrighted material for the authors, but does not relinquish the authors’ proprietary rights. The Copyright Transfer form should be sent to the Editor as soon as possible. Manuscripts accepted for publication will not be sent to print until this form is received by the Editor.

### **ETHICAL PRINCIPLES AND PUBLICATION POLICY**

The publisher and users (chief editor, editors, field editors, authors, reviewers, readers, etc.) of the Geological Bulletin of Turkey (*Geol. Bull. Turkey*) must abide by the ethical rules and responsibilities determined by the Committee of Publication Ethics (COPE).

#### **Journal Policy:**

**Open Access Policy:** The *Geol. Bull. Turkey* is a peer-reviewed journal. It publishes in print and online in the electronic environment and has an open-access system. Journal issues are published three times per year in the months of January, April and August. Publication processes ensure sharing of information produced freely and objectively with the scientific method. The review process for articles applies a blind review system. All issues of the *Geol. Bull. Turkey* published since 1947 are archived as both print and electronic versions by the publishing organization, the Chamber of Geological Engineers (CGE), and as electronic versions by TUBITAK – DergiPark.

**Price Policy:** The publishing organization of the *Geol. Bull. Turkey* is the CGE. The CGE and/or *Geol. Bull. Turkey* do not demand any fee or subscription costs for printed and electronic versions of the journal or any publishing costs or similar from authors.

**Copyright Transfer:** The CGE and/or *Geol. Bull. Turkey* receive written permission from authors to obtain the copyrights of articles that will be published. The relevant authors, as writer/owner in their own name and the name of other authors, transfer copyright of the article offered to the journal to the CGE and/or *Geol. Bull. Turkey*. It is mandatory to complete the **Copyright Transfer Form** and upload it to the journal system when submitting the manuscript. The responsible author must guarantee that this manuscript has not been published in similar form in other places, that the manuscript is original and that it will not be sent for publication elsewhere. All authors of the submitted manuscript must sign and transfer all rights and all copyright for the article to the CGE and/or *Geol. Bull. Turkey*. The CGE and/or *Geol. Bull. Turkey* receive the right to use all or part of the relevant article in future works like lessons/lesson notes, reports and textbooks/printed books without any payment and to copy the relevant manuscript for their own use. The CGE and/or *Geol. Bull. Turkey* reserve all rights apart from copyright, such as patent rights, except for commercial purposes.

**Article submission:** The authors of articles submitted for assessment by *Geol. Bull. Turkey* must first be members of DergiPark. The corresponding author must submit the study (original article, review, etc.) to *Geol. Bull. Turkey* through the DergiPark system.

**Plagiarism Policy:** In addition to the corresponding author submitting the article to the journal, they must upload a similarity report using “iThenticate Plagiarism Detection Software” or “Turnitin” or equivalent plagiarism program, along with the signed **Copyright Transfer Form** and the **Ethics Report Form** to the DergiPark system. The similarity index rate for articles must be below 20%, excluding the reference list.

**Author Contribution Statement and Conflict / Conflict of Interest Statement:** Each of the authors need to have made significant scientific contributions to each article, so every author is accepted as carrying equal ethical responsibility. All authors of an article are obliged to recall or make corrections in situations involving mistakes.

The authors must clearly state all types of conflict/conflict of interest in relation to topics such as other researchers studying similar topics and potential reviewers. In situations where no conflict/conflict of interest is considered to exist, this must be clearly stated.

**Blind review:** *Geol. Bull. Turkey* applies a blind review system with the aim of ensuring objective assessment of all scientific publications. In the stage of assigning reviewers for an article, care is taken that there is no conflict/conflict of interest between reviewers and author(s). With this aim, care is taken that between reviewers and author(s) a) there are no thesis advisor/student relationships, b) no common research or publications between author(s) and reviewers in the recent past (last 2 years), c) they are not employed in the same organization, d) they have not contributed to the manuscript submitted to the journal in terms of form or content, e) author(s) and reviewer have no disputes that were referred to judiciary or ethical committees, f) there is no kinship between reviewer and author(s), g) no publicly stated prejudice of the reviewer toward the author(s), h) no commercial relationship between reviewer and author(s), etc. In case of situations missed by the journal editors, the reviewers must warn the editors of such a situation. Additionally, reviewers are requested;

- To only assess articles that are within their field of expertise,
- To perform assessments unbiased, objectively and confidentially,
- To avoid bias in assessments due to reasons such as nationality, sex, religious beliefs, political leanings, commercial concerns, etc.,
- To provide opinions and recommendations within academic etiquette, with constructive and academic language, avoiding language which will create personal polemic,
- To avoid delaying assessments in a way which lengthens the publication process without reason.



### **Evaluation Process:**

**Preliminary Check (before reviewer assessment):** Firstly, manuscripts submitted to *Geol. Bull. Turkey* are reviewed by the chief editor for suitability in terms of the aims and scope of the journal. If manuscripts do not abide by the aim and scope of the journal, they are rejected within 15 days maximum and information is sent to the author. Manuscripts which are suitable for the aim and scope are first investigated for spelling, language and expression and study plan before reviewer assessment. Authors of manuscripts which are inadequate in this regard will be requested to revise the manuscript. During assessment, authors are responsible for responding to the opinions, recommendations and criticisms of the editor and reviewers. The authors must respond to questions asked based on reviewer opinions, assess opinions and recommendations, and provide positive or negative responses to criticisms with evidence in a detailed letter to the editor. Academic etiquette must be used in the letter, personal discussions should be avoided. If a corrected copy of manuscripts with revision requested in line with reviewer opinions is not received without a valid reason within 30 days, the editor reserves the right to reject the manuscript when it is re-submitted. After revisions, the revised manuscript may be sent by the editor for reviewer assessment again or may be directly accepted or rejected by the editor.

**Peer Review Process:** Manuscripts found suitable for peer review after investigating the content of all sections will be sent to the reviewers. However, articles that are not suitable for peer review for any reason will be rejected with the editor's assessment report. Information will be given to the authors within 15 days. Manuscripts sent for reviewer assessment will be sent to at least three reviewers by the editor from within or outside the journal pool according to content and area of expertise. Care will be taken about elements within the scope of conflict/conflict of interest mentioned above when determining reviewers for manuscripts. Reviewers must guarantee that they will not share any information or documents related to the review process with anyone. The duration for the review process is 30 days. Revision recommendations from the reviewers or editor must be completed by the authors within 30 days. Reviewers will investigate corrections on the article and decide on suitability or if necessary, request more revisions. The review result and opinions of reviewers will be investigated by the editor within maximum 15 days. As a result of the investigation, the editor will communicate the final decision about the manuscript to the author. Rejected manuscripts will be archived.

**Article Withdrawal:** Author(s) who wish to withdraw their manuscript during assessment must communicate a memo related to the topic with wet signature to the publication board via the journal email address [tjbdergi@gmail.com](mailto:tjbdergi@gmail.com). The Publication Board will investigate the withdrawal request and respond within maximum 15 days. Author(s) of manuscripts with request denied by the Publication Board will not be able to send their manuscript to another journal. If the author(s) become aware of any mistakes or errors related to the study after publication, in the early submission or review stages, they are obliged to cooperate with the journal editor. The author(s) must have the right to use any data which does not belong to themselves and must have documents showing necessary permissions related to the research/analysis.

The editors carefully manage processes to ensure development of the journal and increase the quality of published studies. In situations with suspicions raised about copyright or plagiarism for any manuscript in the publication stage, review stage or as unpublished manuscripts, the Publication Board of *Geol. Bull. Turkey* will begin an investigation related to the manuscript. If the investigation identifies copyright and plagiarism suspicions related to the manuscript, the Publication Board will withdraw the manuscript in the review stage making a detailed explanation and report to the author(s) within 15 days.

**Confidentiality:** All personal information in the *Geol. Bull. Turkey* system is used for scientific purposes and will not be shared with third parties.

**Disclaimer:** The chief editor and Publication Board members are not responsible for the opinions of authors or manuscript content. The authors are responsible for the ethical originality and possible errors in their manuscripts. The authors are responsible for all errors before final reading (proofreading) and that may occur when formatting pages. Errors occurring after final proofreading are the responsibility of the journal authorities.

# TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ

*Geological Bulletin of Turkey*

Nisan 2022 Cilt 65 Sayı 2  
April 2022 Volume 65 Issue 2

- Gürol Seyitoğlu, Esra Tunçel, Bülent Kaypak, Korhan Esat, Ergin Gökkaya**  
**The Anatolian Diagonal: A Broad Left-Lateral Shear Zone Between the North Anatolian Fault Zone and the Aegean / Cyprus Arcs**  
*Anadolu Çaprazı: Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Ege / Kıbrıs Yayları Arasında Geniş Bir Sol Yanal Makaslama Zonu* .....93
- Ferhat Bozan, Zafer Aslan**  
**Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir, KB Türkiye) Yöresindeki Oligosen-Miyosen Yaşlı Kalk-alkalen Volkanik Kayaçların Mineral Kimyası, Jeokimyası ve Petrolojisi**  
*Mineral Chemistry, Geochemistry and Petrology of Oligocene-Miocene Calc-alkaline Volcanic Rocks in Büyükbostancı-Çiçekpınar (Balıkesir, NW Turkey)* ..... 117
- Ahmet Evren Erginal, Nurettin Yakupoğlu, Çağlar Çakır, Abdullah Akbaş, Serkan Kükrer**  
**Termination of Little Ice Age in Northeastern Anatolia: A Multi-proxy Paleolimnology Study of Lake Aygır Sediments, (Kars, NE Anatolia)**  
*Kuzeydoğu Anadolu'da Küçük Buzul Çağı'nın Sonu: Aygır Gölü Sedimanlarının Çoklu Proksi Paleo-Limnolojik İncelemesi (Kars, KD Anadolu)* ..... 149
- Ali Akbar Aali, Aref Shirazi, Adel Shirazy, Shayan Khakmardan, Abbas Maghsoudi, Ardeshir Hezarkhani**  
**Geophysical Study to Identify Iron Mineralization Anomalies Using Terrestrial Magnetometry in the Chak-Chak Exploration Area, Iran** ..... 159
- Güldem Kamar**  
**Göl Çökellerinde Polen Analizine Dayalı Paleoiklim Rökonstrüksiyonu İçin Yerbilimci Bir Yaklaşım; Sorunlar ve Çözümler**  
*A Geoscientist Approach to Palaeoclimate Reconstruction Based on Pollen Analysis of Lake Deposits; Problems and Solutions* ..... 171
- Gül Şen, Türker Yakupoğlu**  
**Moralli Deresi Sisteminin Kuvaterner Yaşlı Tortullarının Tane Boyu Dağılımı ve Depolanma Ortamları (Tuşba, Van, Türkiye)**  
*Grain Size Distribution and Depositional Environment of Quaternary Sediments in Moralli Stream System (Tuşba, Van, Turkey)* ..... 187

## Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,  
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, SOBIAD ve  
ULAKBİM TR Dizin Veri Tabanlarında yer almaktadır.

## *Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:*

*Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,  
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, SOBIAD and ULAKBİM TR Dizin Databases.*

### **Yazışma Adresi**

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası  
PK. 464 Yenişehir, 06410 Ankara  
Tel: (0312) 434 36 01  
Faks: (0312) 434 23 88  
E-Posta: [tjb@jmo.org.tr](mailto:tjb@jmo.org.tr)  
URL: [www.jmo.org.tr](http://www.jmo.org.tr)

### **Corresponding Address**

UCTEA Chamber of Geological Engineers of Turkey  
PO Box 464 Yenişehir, TR-06410 Ankara  
Phone: +90 312 434 36 01  
Fax: +90 312 434 23 88  
E-Mail: [tjb@jmo.org.tr](mailto:tjb@jmo.org.tr)  
URL: [www.jmo.org.tr](http://www.jmo.org.tr)