

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ağustos 2025 Cilt 68 Sayı 3
August 2025 Volume 68 Issue 3

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 / <i>President</i>
Seçkin GÜLBUDAK	İkinci Başkan / <i>Vice President</i>
D. Malik BAKIR	Yazman / <i>Secretary</i>
Düzgün ESİNA	Sayman / <i>Treasurer</i>
Özgür DEĞİRMENCİ	Mesleki Uygulamalar Üyesi / <i>Member of Professional Activities</i>
Zeynel Abidin GÖK	Sosyal İlişkiler Üyesi / <i>Member of Social Affairs</i>
Burcu GÖRBİL	Yayın Üyesi / <i>Member of Publication</i>

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ
Geological Bulletin of Turkey

Yayın Kurulu / Publication Board

Baş Editör / Editor in Chief

Erdoğan YİĞİTBAŞ
eyigitbas@comu.edu.tr

Editörler / Editors

Mustafa AVCIOĞLU
m_avcioglu@comu.edu.tr

İsmail Onur TUNÇ
onurtunc@comu.edu.tr

İngilizce Editörleri / English Editors

Catherine YİĞİT

Sercan Hamza BAĞLAMA

Editör Kurulu / Editorial Board

AKSOY Ercan (Elazığ, Türkiye)	ÖZKUL Mehmet (Denizli, Türkiye)
ALDANMAZ Ercan (Kocaeli, Türkiye)	ÖZSAYIN, Erman (Ankara, Türkiye)
AYDOĞAN Mustafa Selman (Balıkesir, Türkiye)	PARLAK Osman (Adana, Türkiye)
BABA Alper (İzmir, Türkiye)	ROJAY Bora (Ankara, Türkiye)
BOULTON, Sarah J. (Plymouth, Birleşik Krallık)	SEYİTOĞLU Gürol (Ankara, Türkiye)
BOZKURT Erdin (Ankara, Türkiye)	SÖZBİLİR Hasan (İzmir, Türkiye)
ÇEMEN, İBRAHİM (Alabama, ABD)	TAGLİASACCHİ Ezher (Denizli, Türkiye)
EKİNCİ, Yunus Levent (Bitlis, Türkiye)	TATAR, Orhan (Sivas, Türkiye)
EYÜBOĞLU Yener (Trabzon, Türkiye)	ÜNLÜGENÇ Ulvi Can (Adana, Türkiye)
GÜRSOY Halil (Sivas, Türkiye)	YALÇIN Hüseyin (Sivas, Türkiye)
HELVACI Cahit (İzmir, Türkiye)	YALÇIN Gürhan (Antalya, Türkiye)
KAYSERİ-ÖZER Mine Sezgül (İzmir, Türkiye)	YILMAZ İsmail Ömer (Ankara, Türkiye)
KAZANCI Nizamettin (Ankara, Türkiye)	ZABÇI, Cengiz, (İstanbul, Türkiye)
NAZİK Atike (Adana, Türkiye)	ZAGORCHEV Ivan (Sofya, Bulgaristan)
ÖZDEN Süha (Çanakkale, Türkiye)	

Yazışma Adresi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK. 464 Yenışehir, 06410 Ankara
Tel: (0312) 434 36 01
Faks: (0312) 434 23 88
E-Posta: tjb@jmo.org.tr
URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb>

Corresponding Address

UCTEA Chamber of Geological Engineers of Turkey
PO Box 464 Yenışehir, TR-06410 Ankara
Phone: +90 312 434 36 01
Fax: +90 312 434 23 88
E-Mail: tjb@jmo.org.tr
URL: <https://dergipark.org.tr/en/pub/tjb>

Yayın Türü	: Yaygın Süreli Yayın
Yayının şekli / <i>Frequency</i>	: 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: 87/7 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88
Baskı Tarih	: Ağustos 2025
Baskı Adedi	: 500

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ağustos 2025 Cilt 68 Sayı 3

August 2025 Volume 68 Issue 3

İÇİNDEKİLER CONTENTS

Fatih Şen, Serdal Karaağaç

Evolution of Neogene Sedimentary Rocks on the Southern Margin of the Alaşehir Graben: Evidence for Termination of Tectonic Activity on the Alaşehir Detachment Fault During the Late Miocene
Alaşehir Grabeni'nin Güney Kenarındaki Neojen Tortul Kayaçlarının Evrimi: Alaşehir Sıyrılma Fayının Tektonik Aktivitesinin Geç Miyosen'de Sona Erdiğine Dair Kanıt287

İsmet Elma, Mirza Agha Safarov, Volkan Karabacak, Çağlar Özkaymak, Ökmen Sümer

Paleosismolojik Veriler Işığında Eskişehir Fayı'nın Batı Segmentinin Deprem Davranışı
Earthquake Behaviour of the Western Segment of the Eskişehir Fault in Light of Paleoseismological Data 333

Muhammed Zeynel Öztürk, Mesut Şimşek, Mustafa Utlu

Geyik Dağı Üzerinde Yer Alan Glasiyal Sirkler ile Glasiyo-Karstik Dolinlerin Morfometrik Özellikleri ve Bunların Kuvaterner Kalıcı Kar Sınırı ile İlişkileri
Morphometric Characteristics of Glacial Cirques and Glacio-Karstic Dolines in Mount Geyik and Their Relation to Quaternary Equilibrium Line Altitudes.....357

Nurgül Balcı

Salda Gölü Mikrobiyalitlerine Dair Yeni Bulgular ve Astrojeolojik Önemleri (Burdur, GB-Türkiye)

New findings about the Lake Salda Microbialites and Their Astrogeological Significance (Burdur, SW-Türkiye)375

Lütfiye Akın, Erkan Aydar

Perlitleşmemiş Obsidiyen Genleşmesi: Hidrasyon ve Oluşum Özellikleri

Unperlitized Obsidian Expansion: Hydration and Formation Characteristics399

İsmail Erdem Kızılgöz, Çiğdem Şahin Demir, Ali Uçurum, Nazmi Otlı, Ahmet Efe, Ryan Mathur

Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Manto-Tipi Cu (±Ag) Cevherleşmesinin Jeolojisi, Jeokimyası ve İzotop ($\delta^{65}\text{Cu}$ - $\delta^{34}\text{S}$ ‰) Oranları
Geology, Geochemistry, and Isotope Ratio ($\delta^{65}\text{Cu}$ - $\delta^{34}\text{S}$ ‰) of Manto-Type Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (±Ag) Mineralisation..... 415

Murat Hatipoğlu

Türkiye'de Süstaşlarının (Mücevher Taşlarının) Yasal Durumu ve Yeni Düzenleme Yapılmasının Önemi
Legal Status of Gems (Jewellery Stones) in Türkiye and the Importance of New Regulations 443

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



Evolution of Neogene Sedimentary Rocks on the Southern Margin of the Alaşehir Graben: Evidence for Termination of Tectonic Activity on the Alaşehir Detachment Fault During the Late Miocene

Alaşehir Grabeni'nin Güney Kenarındaki Neojen Tortul Kayaçlarının Evrimi: Alaşehir Sıyırılma Fayının Tektonik Aktivitesinin Geç Miyosen'de Sona Erdiğine Dair Kanıt

Fatih Şen^{1,2*}, **Serdal Karaağaç¹**

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, TR34116 Fatih, İstanbul, TÜRKİYE

² Department of Geological Sciences, University of Alabama, AL 35487-0338, Tuscaloosa, USA

• Geliş/Received: 18.12.2024

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 12.04.2024

• Kabul/Accepted: 20.04.2024

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 11.06.2025

• Baskı/Printed: 31.08.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Abstract: The southern margin of the Alaşehir Graben is bounded by the Alaşehir Detachment Fault (ADF), comprising ductile-brittle cataclastic rocks within the same extensional regime. This fault surface is exposed over ~150 km from Turgutlu to Alaşehir and dips to the north at a low-angle (10°-30°). There are two main interpretations about the termination of tectonic activity on the ADF. The first is that recent movement of the fault ended in the late Miocene, based on the fact that it is cut by Plio-Quaternary high-angle normal faults. The second view suggests that tectonic activity continued until the Plio-Quaternary, based on the exhumation ages obtained from cataclastic rocks. We present measured stratigraphic logs of the Neogene sequence in the hanging wall of the ADF in the Salihli and Alaşehir areas to contribute to this discussion. The depositional evolution of the Alaşehir Graben can be described in three assemblages, including Miocene (Gerentaş, Kaypaktepe and Acidere Formations), Late Miocene-Late Pliocene (Göbekli, Yenipazar and Erendalı Formations) and Plio-Quaternary sedimentary rocks (Asartepe Formation). The Miocene and Plio-Quaternary assemblages are represented by similar depocenters, including lacustrine, fluvial and alluvial-fan environments in the Alaşehir Graben. They are separated by the Late Miocene to Late Pliocene, which represents the depocenter of the floodplain. The floodplain deposits are a monotonous sequence that repeats itself and is not tectonically mobile after the first 140 meters from the stratigraphic bottom based on sub-rounded to rounded clasts from the cataclastic rocks belonging to the ADF. They represent a time of tectonic quiescence during the Late Miocene-Late Pliocene, indicating that tectonic activity on the ADF terminated in the Late Miocene. However, tectonic activity may have rejuvenated in the Plio-Quaternary as indicated by E-W oriented normal faults cutting through the Alaşehir Graben.

Keywords: Alaşehir Detachment Fault, Alaşehir Graben, floodplain deposits, Neogene sequence, sphericity of clasts.

Öz: Alaşehir Grabeni'nin güney kenarı, aynı gerilmeli rejim içinde sünek-kırılğan kataklastik kayaçlar içeren Alaşehir Sıyırılma Fayı (ASF) ile sınırlanmıştır. Bu sıyırılma fayı, Turgutlu'dan Alaşehir'e kadar yaklaşık 150 km boyunca yüzeylenmiş ve kuzeye düşük bir açıyla (10°-30°) eğimli olan yüzeydir. ASF'nin tektonik aktivitesinin sonlanmasını yorumlayan iki ana görüş vardır. Birincisi, fayın son hareketinin, Pliyo-Kuvaterner yüksek açılı normal faylar tarafından kesilmiş olması gerçeğine dayanarak Geç Miyosen'de sona erdiği'dir. Diğer görüş ise, ASF'ye ait kataklastik kayaçlarından elde edilen yüzeylenme yaşlarına dayanarak tektonik aktivitesinin Pliyo-Kuvaterner'e kadar devam ettiğidir. Bu tartışmaya katkıda bulunmak için Salihli ve Alaşehir bölgelerindeki ASF'nin

* Correspondence / Yazışma: senfatih81@gmail.com

tavan bloğundaki Neojen istifinin ölçülmüş stratigrafik kayıtlarını bildiriyoruz. Alaşehir Grabeni'nin çökeltme evrimi, Miyosen (Gerentaş, Kaypaktepe ve Acidere Formasyonları), Üst Miyosen-Üst Pliyosen (Göbekli, Yenipazar ve Erendalı Formasyonları) ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı tortul kayaçlar (Asartepe Formasyonu) olmak üzere üç pakette tanımlanabilir. Alaşehir Grabeni'nde Miyosen ve Pliyo-Kuvaterner paketleri göl, akarsu ve alüvyal yelpaze ortamları da dahil olmak üzere benzer sedimantasyon ortamları ile temsil edilmektedir. Bu iki dönem taşkın yatağı sedimantasyon ortamını temsil eden Geç Miyosen-Geç Pliyosen zamanıyla ayrılmıştır. Taşkın yatağı tortulları, ASF'ye ait kataklastik kayaçların yarı-yuvarlak-yuvarlak kırıntılarına dayanarak, stratigrafik tabandan itibaren ilk 140 metreden sonra tektonik olarak hareketli olmayan ve kendini tekrarlayan monoton bir dizidir. Bunlar, Geç Miyosen-Geç Pliyosen döneminde oluşan tektonik durgunluk dönemini temsil etmektedir ve ASF'deki tektonik aktivitenin Geç Miyosen döneminde sonlandığını gösterir. Ancak, Alaşehir Grabeni'ni kesen D-B yönlü normal fayların gösterdiği gibi, tektonik aktivite Plio-Kuvaterner'de yeniden canlanmış olabilir.

Anahtar Kelimeler: Alaşehir Sıyrılma Fayı, Alaşehir Grabeni, Neojen istifi, kırıntıların küreselliği, taşkın yatağı tortulları.

INTRODUCTION

Continental extensional basins have long attracted the interest of geologists seeking to understand how they form, both depositionally and tectonically (e.g., Yılmaz, 2017; Yang et al., 2021). They characteristically provide the best depositional conditions and consequently contain some of the longest records of continental deposition (e.g., Wright et al., 1999; Gerard, 2003). These records of continental deposition are the product of a complex interplay of several factors, including the rates of extension and subsidence, tectonic activity, volcanism, magmatism, climate and its temporal variability, hydrology, biology and time (e.g., Çemen et al., 1999; Renaut and Ashley, 2002; Yuretic and Ervin, 2002; Mack et al., 2002). One of the markers of tectonic control is sphericity, including angular clasts in the form of pebbles or blocks in depositional settings (e.g., Wright et al., 1999; Gerard, 2003).

An example of sedimentation in such an extensional environment is found in the deposits of the Alaşehir Graben in Western Turkey. There is continuous debate about recent movement of the Alaşehir Detachment Fault (ADF), which is exposed for ~150 km from Turgutlu to Alaşehir and dips to the north at a low-angle (10°-30°) (Figure 1). The recent fault slip activity on the ADF dates to the Late Miocene, based on friction

ages obtained from cataclastic rocks (c. 6-5.5 Ma; Ar-Ar muscovite age, Lips et al., 2001). This case is supported by field relationships. The ADF is cut by Plio-Quaternary high-angle normal faults (Şen et al., 2024). There is also a suggestion in the literature that the ADF was active until Plio-Quaternary time (e.g., Seyitoğlu et al., 2002, 2014; Çemen et al., 2006; Seyitoğlu and Işık, 2015). This interpretation is supported by exhumation ages obtained from cataclastic rocks on the detachment fault, which indicate Plio-Quaternary activity (c. 3.10-1.75 Ma, apatite fission track, Gessner et al., 2001; c. 4.5 Ma, Th-Pb monazite, Catlos and Çemen, 2005; c. 3.50-0.80 Ma, apatite fission track and c. 3.5-2.0 Ma, zircon fission track, Buscher et al., 2013; 4 Ma, K-Ar whole rock, Hetzel et al., 2013). The Plio-Quaternary thermal ages indicate that the footwall and hanging wall of the Alaşehir detachment fault were exhumed under the control of Plio-Quaternary high-angle normal faults (Seyitoğlu et al., 2002; Çemen et al., 2006; Şen et al., 2024). However, the margin of error for the Pliocene ages is quite high (c. 4.5 ± 1 Ma; Th-Pb monazite, Catlos and Çemen, 2005). Furthermore, the Pliocene ages (4 Ma, K-Ar whole rock) obtained by Hetzel et al. (2013) are not supported in the dataset (3.5 Ma, apatite and zircon fission track) of Buscher et al. (2013) (see Seyitoğlu et al. (2014) for a detailed review; Table 1, pages of 485-486). The analytical ages are different.

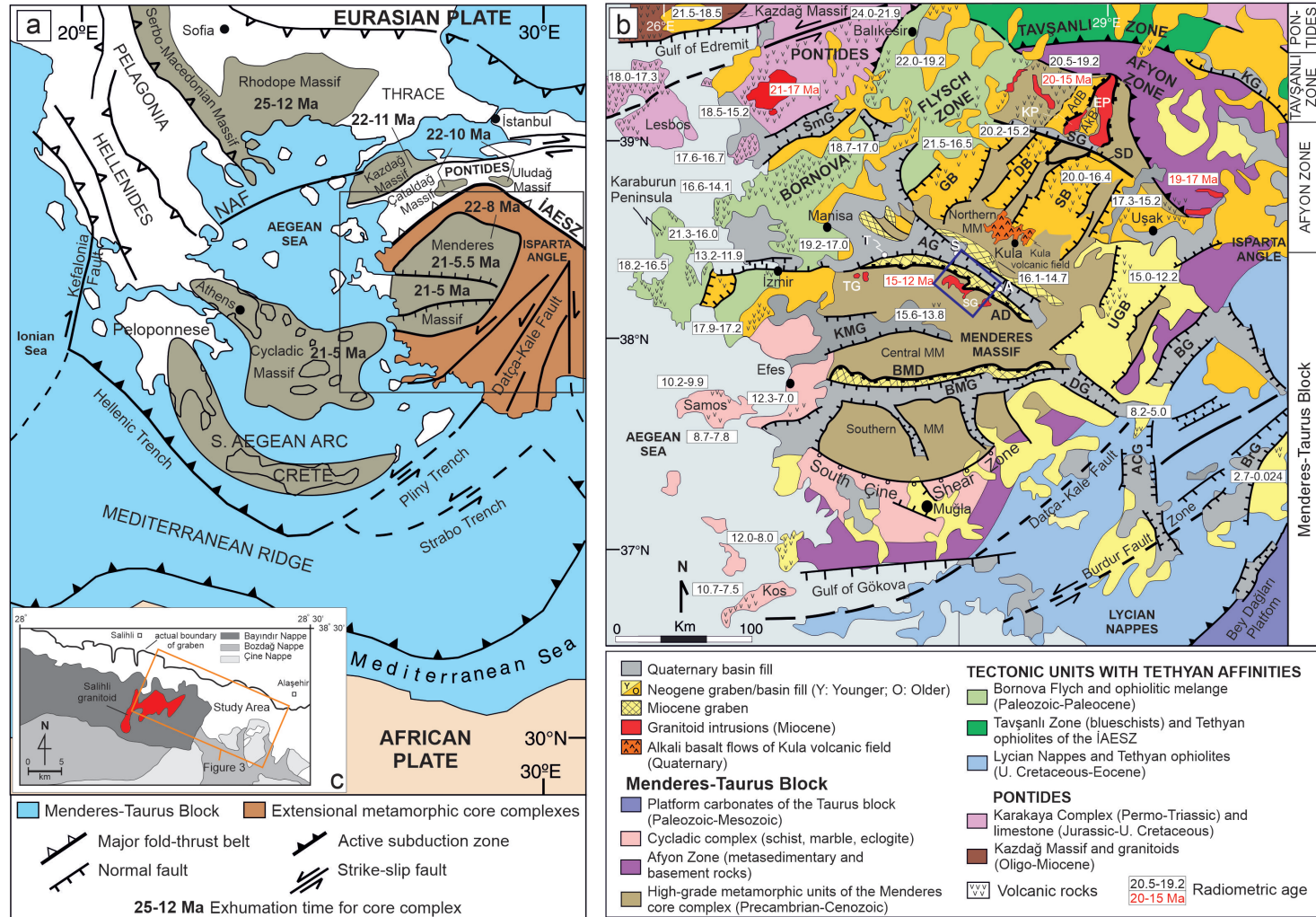


Figure 1. (a) Simplified tectonic map of the Aegean, showing the main plate boundaries and major tectonic structures (modified from Öner and Dilek, 2013). Dark gray areas display the location of metamorphic core complexes in the AEP. The black box represents Figure 1b. Isotopic ages of exhumation are from Lips et al. (2001), Thomson and Ring (2006), Okay et al. (2008), Cavazza et al. (2009), Catlos et al. (2010), Kounov et al. (2015), Wölfler et al. (2017), Heineke et al. (2019), Altunkaynak et al. (2021), and Lamont et al. (2023). **(b)** Simplified geological map of Western Anatolia, displaying the Neogene-Quaternary extensional basins in the Menderes Massif and the surrounding major crustal blocks (after Öner and Dilek, 2013) and **(c)** the

Bayındır-Bozdağ-Çine Nappes of the central sub-massif belonging to the Menderes Massif in the study area (Konak, 2002). Isotopic ages are from Paton (1992), Platevoet et al. (2008), Helvacı et al. (2009), Ersoy et al. (2014) and Elitez et al. (2018). The area studied is shown in the blue box. A: Alaşehir; AD: Alaşehir Detachment; AG: Alaşehir Graben; ACG: Acıpayam Graben; BG: Baklan Graben; BMD: Büyük Menderes Detachment; BMG: Büyük Menderes Graben; BrG: Burdur Graben; DB: Demirci Basın; DG: Denizli Graben; EP: Eğrizgöz pluton; GB: Gördes Basın; KG: Kütayha Graben; KMG: Küçük Menderes Graben; S: Salihli; SB: Selendi Basın; SD: Simav Detachment; SG: Simav Graben; SG: Salihli granite; SmD: Soma Graben; TG: Turgutlu granitoid; USB: Uşak-Güre Basın.

Şekil 1. (a) Ege bölgesinin ana levhasını sınırlarını ve başlıca tektonik yapıları gösteren basitleştirilmiş tektonik haritası (Öner ve Dilek, 2013'ten değiştirilmiştir). Koyu gri alanlar AEP' deki metamorfik çekirdek komplekslerinin yerini göstermektedir. Siyah kutu Şekil 1b'yi göstermektedir. Kazı zamanına ait izotopik yaşlar Lips vd. (2001), Thomson ve Ring (2006), Okay vd. (2008), Cavazza vd. (2009), Catlos vd. (2010), Kounov vd. (2015), Wölfler vd. (2017), Heineke vd. (2019), Altunkaynak vd. (2021), Lamont vd. (2023)'den alınmıştır. **(b)** Batı Anadolu'nun basitleştirilmiş jeoloji haritası, Menderes Masifi'ndeki ve çevresindeki büyük kabuk bloklarındaki Neojen-Kuvaterner ekstansiyonel havzalarını (Öner ve Dilek, 2013'e göre) ve **(c)** çalışma alanında Menderes Masifi'ne ait merkezi alt masifin Bayındır-Bozdağ-Çine Napları' nı (Konak, 2002) göstermektedir. İzotopik yaşlar Paton (1992), Platevoet vd. (2008), Helvacı vd. (2009), Ersoy vd. (2014) ve Elitez vd. (2018) tarafından alınmıştır. Bu çalışmada çalışılan alan mavi kutuda gösterilmiştir. A: Alaşehir; AD: Alaşehir Sıyrılma Fayı; AG: Alaşehir Grabeni; ACG: Acıpayam Grabeni; BG: Baklan Grabeni; BMD: Büyük Menderes Sıyrılma Fayı; BMG: Büyük Menderes Grabeni; BrG: Burdur Grabeni; DB: Demirci Havzası; DG: Denizli Grabeni; EP: Eğrizgöz plütunu; Gördes Havzası; KG: Kütayha Grabeni; KMG: Küçük Menderes Grabeni; S: Salihli; SB: Selendi Havzası; SD: Simav Sıyrılma Fayı; SG: Simav Grabeni; SG: Salihli graniti; SmD: Soma Grabeni; TG: Turgutlu granitoidi; USB: Uşak-Güre Havzası.

The Late Miocene-Pliocene in the Alaşehir Graben is a highly critical time interval based on these discussions. Although some researchers (e.g. Seyitoğlu et al., 2002; Purvis and Robertson, 2005; Çiftçi and Bozkurt, 2009) have examined measured stratigraphic logs in the fills of the Alaşehir Graben, we believe that no light could be shed on this discussion because they could not provide data about fault slip activity and Late Miocene-Pliocene time. Therefore, measured stratigraphic logs for the Miocene-Pliocene sedimentary rocks by Şen (2004) and Ağırbaş (2006) are used to reconstruct recent movement of the ADF from a new perspective in this paper.

Geology of Western Anatolia

Western Anatolia is located in an extensional region, known as the Aegean Extensional Province (AEP) active from the Neogene to the Plio-Quaternary, in the convergent setting of African-European collision (Bozkurt, 2001; Çemen et al., 2006; Jolivet and Brun, 2010; van Hinsbergen et al., 2010) (Figure 1a). This tectonic setting has led to the formation of core complexes during ongoing subduction-related slab-edge processes¹ along the Hellenic-Cyprian trenches (e.g. van Hinsbergen et al., 2010; Biryol et al., 2011). This led to the exhumation of metamorphic core complexes, including the Rhodope, Kazdağ, Uludağ, Menderes and Cycladic core complexes from north to south, during the Oligo-Miocene (Wawrzenitz and Krohe, 1998; Okay and Satır, 2000; Işık et al., 2003; Okay et al., 2008; Catlos et al., 2010; Kounov et al., 2015; Wölfler et

¹ Subduction transform edge propagator (STEP, also known as tear) faults occur at slab edges (Govers and Wortel, 2005). STEP faults produce tears in the slab and generally propagate perpendicular to the subduction strike (Nijholt and Govers, 2015). Most of them show vertical motion between the two blocks of the underthrusting plate on either side of the STEP fault and normal to the strike-slip motion in the upper plate (Baes et al., 2011; Govers and Wortel, 2005). In Western Anatolia, the slab edge processes are related to the northward subduction of the African slab below Eurasia (Le Pichon and Angelier, 1979; Meulenkaamp et al., 1988; van Hinsbergen et al., 2005, 2010; Edwards and Grasemann, 2009; Biryol et al., 2011; Soder et al., 2016).

al., 2017; Heineke et al., 2019; Lamont et al., 2023) (Figure 1a). Tomographic studies indicate that slab-edge processes and associated back-arc extension are the dominant factors in the extensional tectonics of the Aegean region (van Hinsbergen et al., 2005, 2010; Faccenna et al., 2003, 2006, 2013; Çemen et al., 2006; Gans et al., 2009; Biryol et al., 2011; Philippon et al., 2012; Jolivet et al., 2013; Menant et al., 2016). The extensional domain in the Aegean region acts through large-scale extensional detachment faults and high-angle normal faults along which core complexes are exhumed, and each core complex accommodates a different amount of extension and rotation depending on the back-arc scenario (McKenzie, 1978; Le Pichon and Angelier, 1979, 1981; Mercier, 1981; Jackson and McKenzie, 1988; Meulenkamp et al., 1988, 1994; Kiseel and Laj, 1988; Jolivet and Patriat, 1999; Jolivet and Faccenna, 2000; Okay and Satır, 2000; Philippon et al., 2012; Gessner, et al., 2013; Jolivet et al., 2013; Uzel et al., 2015) (Figure 1a, b).

The Menderes-Taurus Block and the Pontides collided before the Oligo-Miocene (van Hinsbergen et al., 2010; Öner and Dilek, 2013; Uzel et al., 2015) (Figure 1a). The Rhodope and Kazdağ-Uludağ core complexes in the Western Pontides and the Menderes and Cycladic core complexes in the West Menderes-Taurus Block moved together in the same geodynamic setting during the Oligo-Miocene. The Menderes-Taurus Block was added to the Pontides during the Middle Ypresian (c. 53-50 Ma; Akbayram et al., 2016) after the Kırşehir Block collided with the Pontides during the Paleocene-Eocene transition (c. 56 Ma; Hippolyte et al., 2010; Espurt et al., 2014). The collision associated with the destruction of the Tethys Ocean, which was located between the Menderes-Taurus Block and the Pontides, lasted ~25 million years (Şen, 2020), and the final time of the collision is represented by the late Oligocene (c. 27 Ma; Elmas et al., 2016). Thus, after docking of the two continental blocks, Western

Anatolia began to extend during the Oligo-Miocene as a result of roll-back of the African oceanic lithosphere, which is subducted beneath Eurasia along the Cyprian and Aegean arcs (van Hinsbergen et al., 2010; Biryol et al., 2011). The metamorphic core complexes developed during the Oligo-Miocene to the Late Miocene under the control of detachment faults, and high-grade metamorphic rocks began to be exhumed north of the Cyprian and Aegean trenches (e.g., Okay and Satır, 2000; Lamont et al., 2023). Western Anatolia experienced westward escape at about 6-5 Ma as a result of the North Anatolian Fault Zone, which was preceded by a major displacement zone known as the North Proto-Anatolian Transform. This transform fault began in the mid-to-late Miocene and connected to the Bitlis Suture in eastern Anatolia (Dewey and Şengör, 1979; Şengör et al., 2005). This indicates that the interaction between back-arc extension and westward displacement of Anatolia is roughly related to the post-Late Miocene tectonic history of Western Anatolia, following only back-arc extension driven by slab rollback in Oligo-Miocene to Late Miocene time. After the Late Miocene, extension was controlled by Plio-Quaternary high-angle faults (e.g., Bozkurt and Sözbilir, 2004; Şen et al., 2024), resulting in a two-stage extensional phase consisting of Miocene and Plio-Quaternary extensional phases in Western Anatolia.

Grabens in Western Anatolia

It is generally agreed that extension in Western Anatolia was initiated by the latest Oligocene-Early Miocene and formed in two distinct extensional phases; (a) latest Oligocene-Miocene metamorphic core complex formation in the footwall of what are now low-angle normal faults; and (b) post-Miocene modern graben formation as a result of Plio-Quaternary high-angle normal faults (Bozkurt and Park, 1994; Hetzel et al., 1995; Lips et al., 2001; Yılmaz et al., 2000; Gessner et al 2001, 2013; Ring et al., 2003; Bozkurt, 2003;

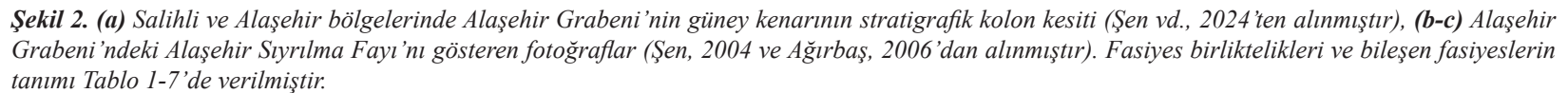
Bozkurt and Sözbilir, 2004; Çemen et al., 2006; Thomson and Ring, 2006; Özsayın and Dirik, 2007; Çiftçi and Bozkurt, 2008, 2009, 2010; Şen et al., 2024). These extensional phases evolved in two possible ways (i) continuously without temporal interruption from Oligo-Miocene to recent times (e.g. Seyitoğlu et al., 2000, 2002, 2004; Çemen et al., 2006; Glodny and Hetzel, 2007; Seyitoğlu and Işık, 2015) or (ii) episodically with multiple phases of extension separated by contraction periods during the Late Miocene to Pliocene (Koçyiğit et al., 1999; Bozkurt and Sözbilir, 2004; Bozkurt and Rojay, 2005; Rojay et al., 2005; Emre and Sözbilir, 2007). Şen et al. (2024) recently showed that the Late Miocene-Late Pliocene was a tectonically quiescent period between two rifting periods in the Miocene and the Plio-Quaternary.

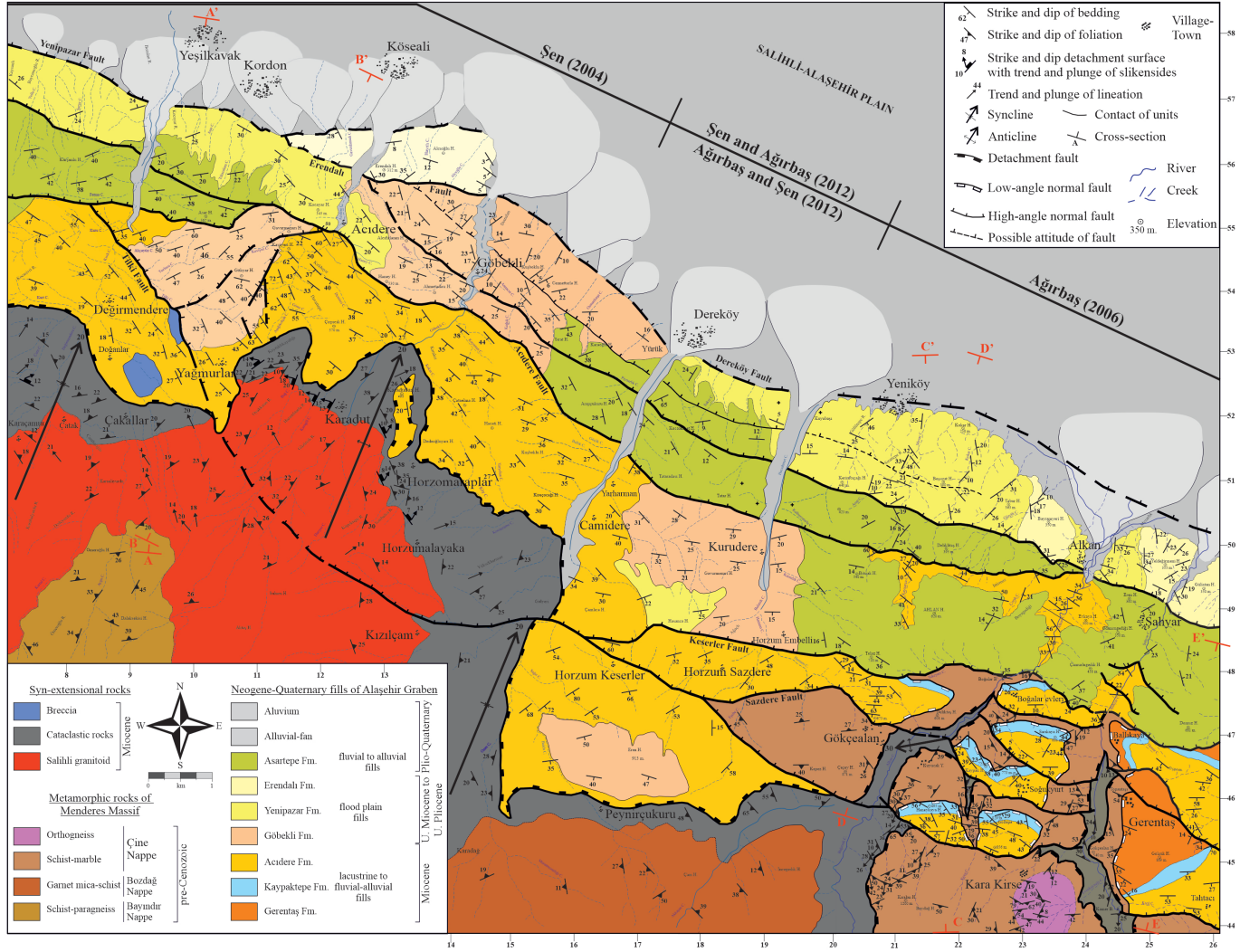
Western Anatolia consists of (a) NNE-SSW-trending grabens filled with Lower Miocene and younger deposits of siliciclastic, volcanoclastic, and volcanic rocks, and (b) E-W-trending grabens filled with Lower Miocene and younger siliciclastic rocks (Bozkurt, 2001; Öner and Dilek, 2013; Seyitoğlu and Işık, 2015) (Figure 1b). The NNE-SSW-trending grabens include the Gördes, Demirci, Uşak-Güre, Selendi and Baklan grabens, which are bounded by high-angle normal faults with strike-slip components (Yılmaz et al., 2000; Bozkurt, 2001) (Figure 1b). The E-W-trending basins are the Simav, Alaşehir, Küçük Menderes, and Büyük Menderes grabens, which are bounded by high-angle to moderately dipping normal faults that are seismically active (Yılmaz et al., 2000; Bozkurt, 2001) (Figure 1b). In the footwalls of the E-W trending grabens, the NNE-SSW trending grabens form 'hanging grabens' (Yılmaz et al., 2000; Seyitoğlu and Işık, 2015). The seismic profiles by Gürer et al. (2001) distinguish trapped structures and sedimentary rocks of the NNE-SSW trending grabens.

Geology of the Alaşehir Graben

Structural framework

Faults are the main structural elements in the Alaşehir Graben. These are divided into three groups (Şen et al., 2024). (a) The E-W trending, N-dipping (0° to 30°), currently low angle normal/detachment fault, called the ADF is extensively exposed along the southern margin of the Alaşehir Graben (e.g. Emre, 1996; Koçyiğit et al., 1999; Işık et al., 2003; Şen et al., 2024) (Figures 1b, 2a, b, c and 3). The ADF forms a cataclastic zone of 60 to 150 m thickness as the deep part of the fault approaches the surface (e.g. Işık et al., 2003). (b) Low-angle (5° - 30°) normal faults, which have no cataclastic rocks, with E-W strike and N- and S-dips. They are synthetic and antithetic faults of the ADF and join to it (Şen, 2004; Ağırbaş, 2006; Şen et al., 2024) (Figure 3). The initial position of these two types of faults was high-angle (Seyitoğlu et al., 2004; Çemen et al., 2005, 2006) and the original position had a dip of 55° - 75° during the Miocene (Şen et al., 2024). (c) E-W-trending, N-dipping ($\geq 40^\circ$) actual graben-bounding normal faults have variable sizes with a graben-facing step-like pattern dominated by first-order major and second-order synthetic to antithetic faults (Bozkurt and Sözbilir, 2004; Çiftçi and Bozkurt, 2009; Şen et al., 2024). The Plio-Quaternary high-angle normal faults control the southern margin of the Alaşehir Graben as well as the deformation pattern within the graben fill (Emre, 1996; Koçyiğit et al., 1999; Bozkurt and Sözbilir, 2004; Çiftçi and Bozkurt, 2009). The alluvial fans and alluvium of the Alaşehir Graben are cut by modern graben-bounding normal major faults, which caused the Alaşehir earthquake of 28 March 1969 ($M=6.9$) forming a $N50^\circ$ - 85° W-trending surface rupture of 30-35 km in length (Arpat and Bingöl, 1969; Eyidoğan and Jackson, 1985) (Figures 3 and 4). The Plio-Quaternary high-angle normal faults cross-cut and displace the ADF and its synthetic and antithetic faults (Şen, 2004, 2016; Ağırbaş, 2006; Şen and Ağırbaş, 2012; Ağırbaş and Şen, 2012; Şen et al., 2024) (Figures 3 and 4).





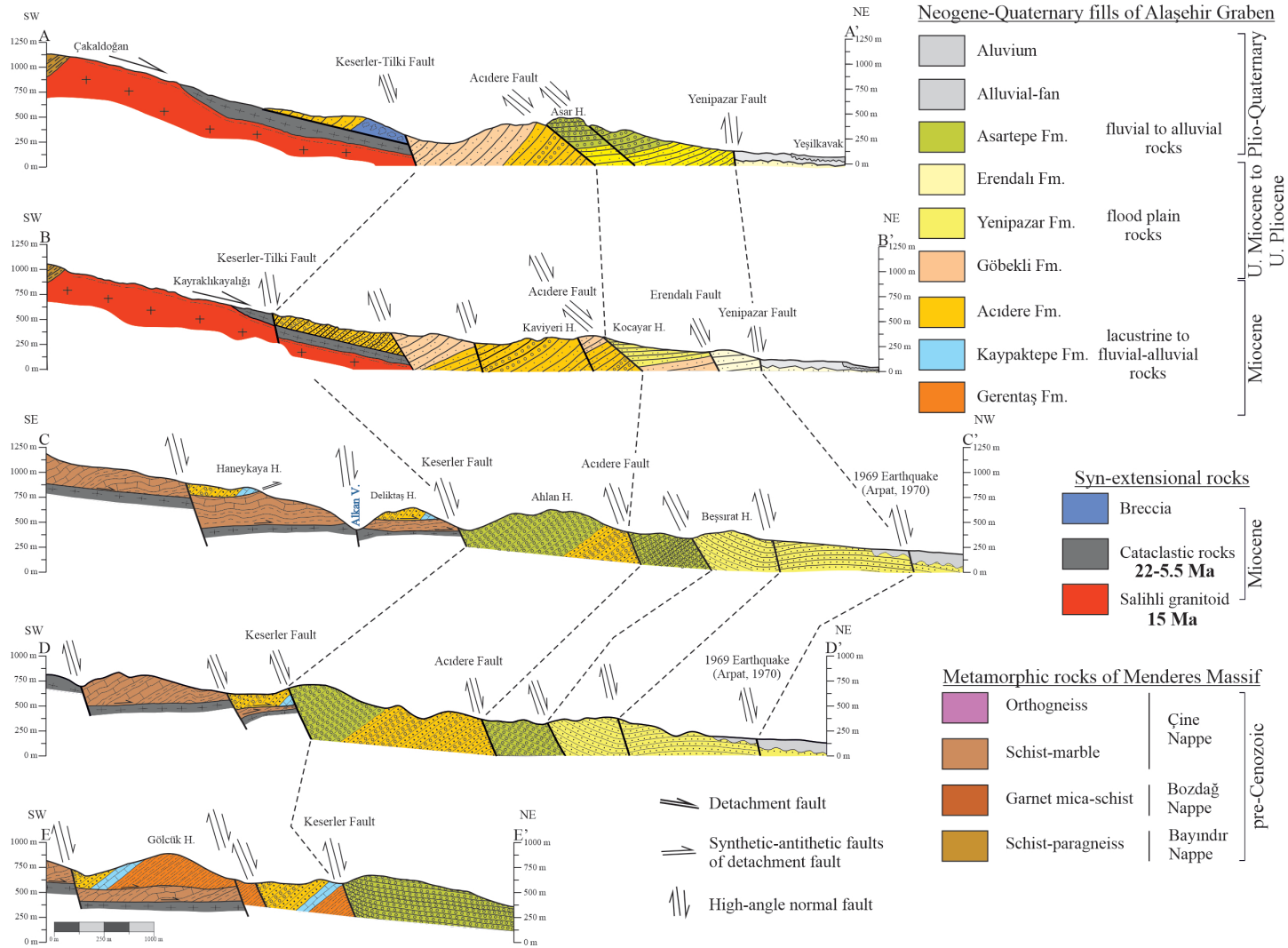


Figure 4. Geological cross-sections for the southern margin of the Alaşehir Graben. The locations of cross-sections in the study area are shown in Figure 3 (taken from Şen, 2004 for A-A' and B-B'; Ağırbaşı, 2006 for C-C', D-D' and E-E).

Şekil 4. Alaşehir Grabeni'nin güney kenarındaki jeolojik enine kesitler. Çalışma alanındaki kesitlerin yerleri Şekil 3'te gösterilmiştir (A-A' ve B-B için Şen, 2004'ten; C-C', D-D' ve E-E için Ağırbaşı, 2006'dan alınmıştır).

There are two main groups of folds on the southern margin of the Alaşehir Graben. (a) Narrow N-S broad anticlines and synclines, which are north-vergent, plunging, asymmetric to overturned geometry, are often observed in association with south-dipping small-scale thrust and reverse faults in the Miocene fills (Çiftçi and Bozkurt, 2008). They have NE-trend and plunge mainly NE, with E–W-trend plunging mainly west in the Salihli and Alaşehir segments in the footwall and hanging wall of the ADF (Şen, 2004; Ağırbaş, 2006; Şen et al., 2024) (Figure 3). They are related to extensional structures formed by layer-parallel shortening during the Miocene (Şengör and Bozkurt, 2012; Şen et al., 2024). (b) Broad E-W trending anticlines and synclines, which have fold axes sub-parallel to the graben bounding faults, are commonly observed in the Miocene fills (Seyitoğlu, 1999; Koçyiğit et al., 1999; Seyitoğlu et al., 2000; Bozkurt and Sözbilir, 2004; Çemen et al., 2006). They are due to the movement of Miocene fills over listric normal faults, forming drag folds and roll-over anticlines during ongoing extension, and displacement on Plio-Quaternary high-angle normal faults is responsible for their formation (Seyitoğlu et al., 2000, 2004; Çemen et al., 2006; Seyitoğlu and Işık, 2015).

Tectono-stratigraphic framework

The Alaşehir Graben is located on the boundary between the northern and central sectors of the Menderes Massif (Bozkurt, 2000, 2001; Öner and Dilek, 2013; Seyitoğlu and Işık, 2015) (Figure 1b). The study area is the Central sub-massif of the Menderes Massif, which forms the southern edge of the Alaşehir Graben between Salihli and Alaşehir (Figure 1b-c). The Central sub-massif of the Menderes Massif in the study area contains a nappe suite, including the Bayındır, Bozdağ and Çine Nappes, which formed during the Late Ediacaran to Early Cambrian and Early Cenozoic (Ring et al., 1999; Dora et al., 2001; Gessner et al., 2001) (Figure 1b). The emplacement of the nappes occurred during the Early Eocene as a result of closure of the Tethys Ocean along the İzmir-

Ankara-Erzincan suture (e.g., Okay and Tüysüz, 1999; Gessner, 2000; Gessner et al., 2001). The Bayındır Nappe is structurally the lowest nappe unit and contains mica-schist and paragneiss with greenschist-amphibolite metamorphism conditions (Dora et al., 2001; Erdoğan and Güngör, 2004). The Bozdağ Nappe consists of amphibolite facies garnet-mica schists (Gessner et al., 2001). The Çine Nappe is structurally the uppermost nappe unit and contains orthogneisses cutting schists and marbles alternating with metabasite with amphibolite to granulite metamorphic conditions (Oberhänsli et al. 1997; Candan et al. 2001).

The tectonostratigraphy of the study area is structurally separated by the ADF (Figures 2, 3 and 4). The footwall of the ADF consists of the Bayındır and Bozdağ Nappes and the syn-extensional Salihli granitoid (c. 15 Ma; Glodny and Hetzel, 2007) intruding the Bayındır Nappe (Figures 2, 3 and 4). The hanging wall of the ADF contains the Çine Nappe and Neogene-Quaternary sedimentary rocks. Miocene deposits tectonically overlie the Çine Nappe along the ADF (Şen et al., 2024) (Figures 2, 3 and 4).

The Neogene-Quaternary sedimentary rocks with thickness of c. 3000 m (Çiftçi and Bozkurt, 2009) include Miocene (Gerentaş, Kaypaktepe and Acidere Formations), Upper Miocene-Upper Pliocene (Göbekli, Yenipazar and Erendalı Formations) and Plio-Quaternary deposits (Asartepe Formation) (Figure 2). Although the nomenclature and contents of the Neogene-Quaternary sedimentary rocks in the Alaşehir Graben have been interpreted by different researchers (e.g. Emre, 1996; Koçyiğit et al., 1999; Seyitoğlu et al., 2002; Çiftçi and Bozkurt, 2009), the generalized stratigraphic section is given based on the stratigraphic dataset of Şen et al. (2024) and Şen (2004) and Ağırbaş (2006) because other researchers do not reflect the nature of the Alaşehir Graben in their columnar sections (Figure 2) (see Şen et al., 2024 for a detailed review).

The Alaşehir Graben succession forms a transgressive series beginning with Miocene

lacustrine shales, mudstones, limestones, sandstones and fluvatile sandstones, and conglomerates, overlain by Upper Miocene-Upper Pliocene floodplain mudstones sandstones and conglomerates. The floodplain deposits grade into a clastic sequence of semi-lithified sandstone and conglomerate (Şen et al., 2024). The Miocene fills are divided into three units of the Gerentaş, Kaypaktepe and Acidere Formations (Figures 2, 3 and 4). In the Alaşehir area, the Gerentaş Formation contains shale and mudstone alternating with conglomerate-sandstone conformably overlain by mudstone and conglomerate with limestone interbeds of the Kaypaktepe Formation (Ağırbaş, 2006; Şen et al., 2024). They were deposited in a lacustrine environment during the Early to Middle Miocene (Ediger et al., 1996; Seyitoğlu et al., 2002; Şen and Seyitoğlu, 2009), and tectonically overlie the Çine Nappe, which is structurally located above the Alaşehir segment of the ADF (Şen et al., 2024) (Figures 2, 3 and 4). They pass laterally and vertically into the Acidere Formation, which consists of mudstone and sandstone (Ağırbaş, 2006; Şen et al., 2024). In the Salihli area, the Acidere Formation contains mudstone and sandstone alternating with conglomerate (Emre, 1996). It was deposited in a fluvial and alluvial depocenter (Emre, 1996) during the Early to Late Miocene that tectonically overlies the Bayındır and Bozdağ Nappes, which structurally overlie the Salihli segment of the ADF (Şen, 2004; Şen et al., 2024) (Figure 2–4). The Upper Miocene-Upper Pliocene floodplain fills are divided into three units of the Göbekli, Yenipazar and Erendalı Formations (Figure 2–4). The Acidere Formation is conformably overlain by the Upper Miocene-Lower Pliocene Göbekli Formation, which consists of mudstones, sandstones and conglomerates (e.g., Emre, 1996; Purvis and Robertson, 2005). It passes vertically into the Yenipazar Formation, which consists of fine-grained clastics, and laterally into the Erendalı Formation, which consists of fine- and coarse-grained clastics and has Upper Pliocene age (Sarica, 2000). The Yenipazar Formation

passes vertically into the Asartepe Formation, which consists of coarse-grained clastics in the alluvial-fan depocenter (Emre, 1996; Şen, 2004; Ağırbaş, 2006; Şen et al., 2024), and depositional age is Plio-Quaternary (Sarica, 2000) (Figure 2–4).

MATERIAL and METHODS

Stratigraphic measurements were made within exhumed Miocene-Pliocene sedimentary rocks along the southern margin of the Alaşehir Graben, between the Salihli and Alaşehir areas, based on studies by Şen (2004) and Ağırbaş (2006) (Şen et al., 2024) (Figures 3, 5). Geological mapping was carried out in the summer of 2003 without examining previous studies. The map study was made according to the colors and dominant lithology of the rocks, named as a-unit, b-unit, c-unit, etc. When the field work was completed and the office work started, the formation names were assigned based on previous studies (Şen, 2004; p. 12; Ağırbaş, 2006; p. 12).

The stratigraphic relationships of the rocks were determined by tracing the contacts during geological mapping studies. The measured stratigraphic logs were made with a 150 cm long Jacob's stick divided into centimeters. During the stratigraphic measurements, both the actual thickness of the layers and the characteristics of the units along the section line were recorded in the field. These methods were chosen for high-precision measurements of stratigraphic variations within the Neogene sedimentary sequence of the Alaşehir Graben. Lithological diversity and structural accessibility were considered in the selection of measurement sites. The measured stratigraphic logs were made by Fatih Şen and Hakan Ağırbaş at seven different locations in the Salihli and Alaşehir areas in the summer of 2003. The routes and locations of the measured stratigraphic logs are shown in Figure 5. The results of the stratigraphic measurements are summarized below.

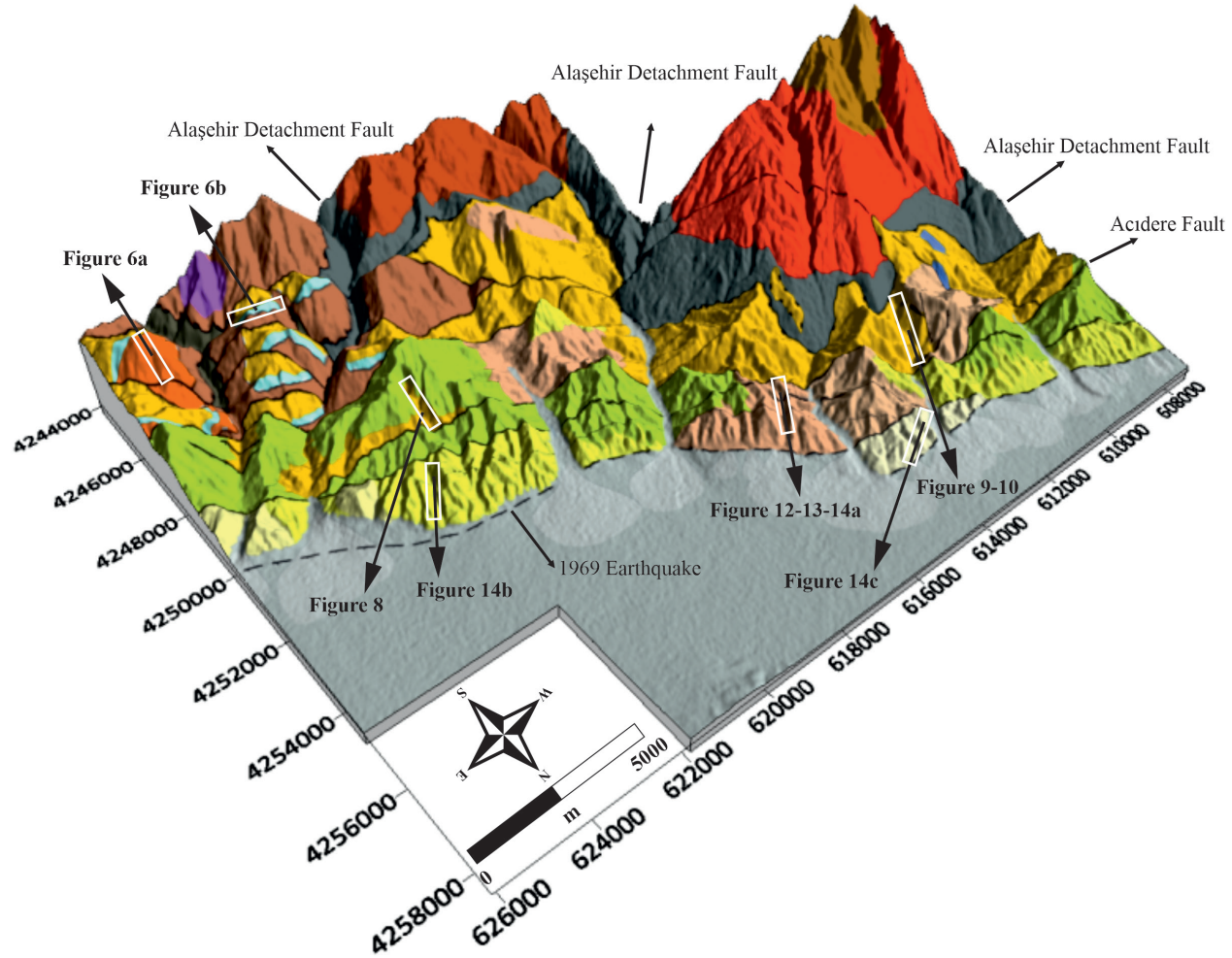


Figure 5. Geological map using 3D imagery for the southern margin of the Alaşehir Graben. Note the routes and locations of the measured stratigraphic logs.

Şekil 5. Alaşehir Grabeni' nin güney kenarında 3B görüntüleme kullanılarak elde edilen jeolojik harita. Ölçülü stratigrafik kesitlerin rotalarını ve yerlerini fark edin.

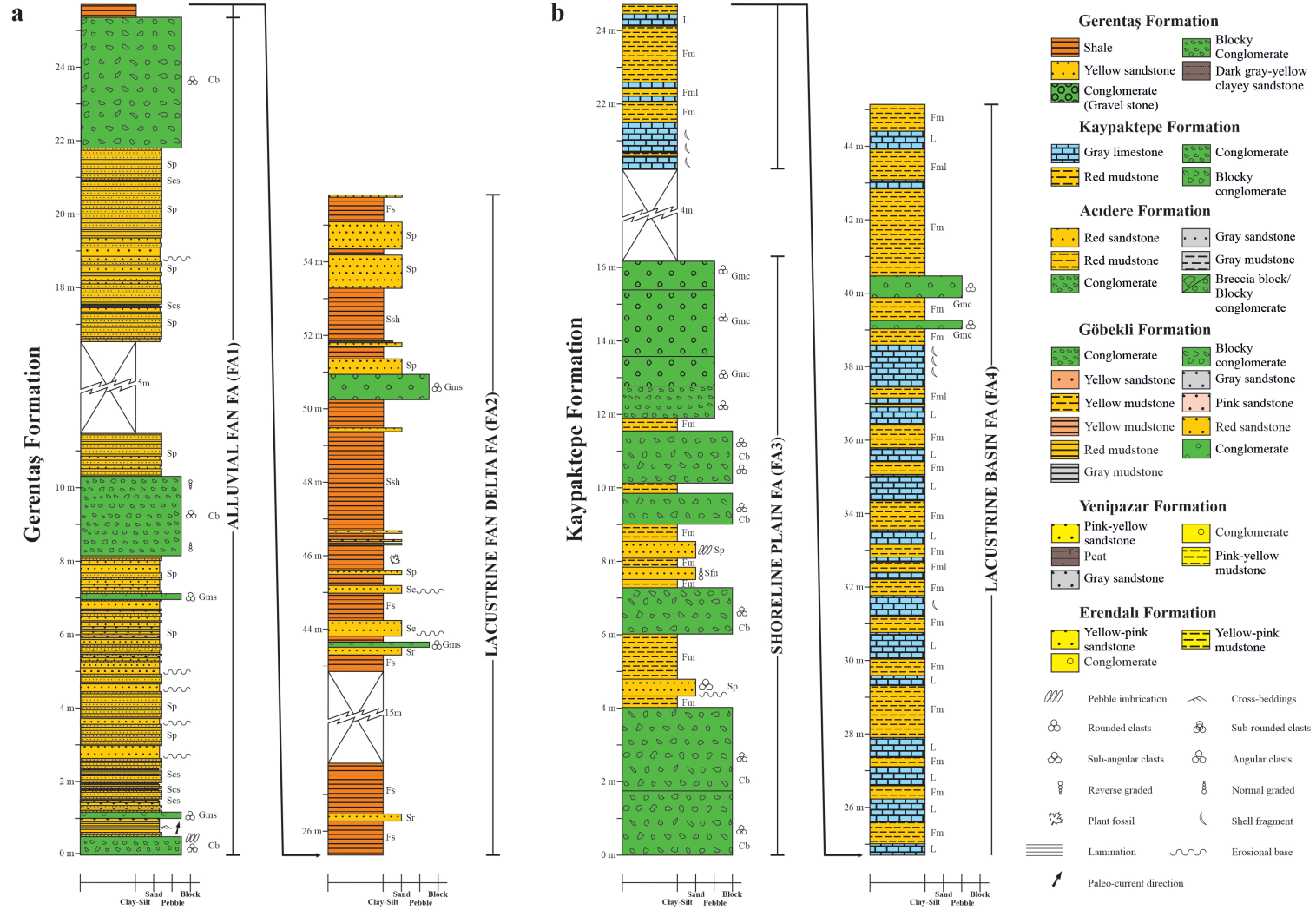


Figure 6. Measured stratigraphic logs of the Gerentaş Formation (a) and Kaypaktepe Formation (b) in the Alaşehir area (taken from Ağırbaş, 2006). See Figure 5 for location.

Şekil 6. Alaşehir bölgesindeki Gerentaş Formasyonu (a) ve Kaypaktepe Formasyonu'nun (b) ölçülü stratigrafik kesitleri (Ağırbaş, 2006'dan alınmıştır). Konum için Şekil 5'e bakınız.

RESULTS

In this section, each Neogene formation on the southern margin of the Alaşehir Graben is interpreted in terms of facies associations. This is based on the facies defined in the measured stratigraphic logs (Figures 6, 8, 9, 10, 11, 12 and 13). The measured thickness of the facies associations in the logs is much less than their actual thickness. This is due to dense forest areas and normal faulting, which makes it impossible to measure a complete section without a gap. The measured stratigraphic logs were therefore only used to characterize the facies of the formations. Precise cross-sections were used to determine the true thickness of the formations (Figure 4)

Gerentaş Formation

The Gerentaş Formation is well-exposed southwest of the Alaşehir area in the village of

Gerentaş (Figure 3). The exact thickness of the Gerentaş Formation remains uncertain due to the tectonic overlay of high-grade metamorphic rocks from the Çine Nappe (Figure 3). However, based on E-E' cross-section analysis, its maximum estimated thickness is ~ 600 m (Figure 4), whereas measured stratigraphic logs at Gölçük Hill indicate a thickness of 55 m (Figure 6a) (Ağırbaş, 2006), suggesting significant structural or erosional variation. A total of eight lithofacies were defined by bed type, grain size and primary sedimentary structure (Table 1). This lithofacies diversity is grouped into two main facies associations of FA1 (alluvial fan facies association) and FA2 (lacustrine fan delta facies association) (Table 2). FA1 refers to coarse-grained beds in the lower levels of the Gerentaş Formation and FA2 refers to fine-grained beds in the middle and upper levels of the Gerentaş Formation (Figure 6).

Table 1. Dominant facies, facies descriptions and interpretations for the Gerentaş Formation.

Çizelge 1. Gerentaş Formasyonu'nun baskın fasiyesleri, fasiyes tanımları ve yorumları.

Facies	Description	Interpretation
Cb, blocky conglomerates	Blocky conglomerates with sandy to gravelly matrix, matrix-supported, chaotic, poorly sorted to unsorted, polymictic angular and sub-angular clasts, irregular top, locally reverse and normal grading, pebbly imbrications; dimensions: bed thickness up to 3.5 m; lateral extent tens to hundred meters	Debris flow
Gms, matrix-supported gravel stones	Gravelstones with sandy matrix, poorly bedded, poorly sorted, polymictic subangular-rounded clasts, locally fining upward with an erosive base with or without a lag; dimensions: bed thickness up to 1 m; lateral extent few tens of meters	Debris flow to channel (channel fill)
Sp, pebbly sandstones	Coarse-grained sandstones, pebbly, poorly bedded, moderately cemented, erosive base; dimensions: bed thickness up to 50 cm; lateral extent few tens of meters	Deposits of flash floods
Scs, clayey sandstone	Clayey sandstone with argillaceous matrix, laminated; bed thickness up to 5 cm; lateral extent tens of meters	Channel fill-waning currents in channel
e, erosive-based sandstones	Coarse-grained sandstone, moderate to poorly sorted, yellow colored, lenses, cross bedded, erosive base, fining upward; dimensions: bed thickness up to 57 cm; lateral extent up to 5 meters	Scour-fills
Sr, rippled sandstones	Medium- to fine-grained sandstone, laminated at the lower parts of the bed and rippled at the top; dimensions: bed thickness up to 20 cm; lateral extent tens of meters	Subaqueous deposits in lower flow regime
Ssh, alternation of sandstone-shale	Fine-grained sandstone and shale, laminated, moderately cemented; dimensions: bed thickness up to 40 cm; lateral extent tens of meters	Deposition from suspension with episodic turbulent flows - low-energy (lacustrine)
Fs, shales	Shales, wavy laminated, very bituminous, abundant plant remnants, gray colored; dimensions: bed thickness up to 15 cm; lateral extent tens of meters	Deposition from suspension - low-energy (lacustrine)

Table 2. Facies associations of the Neogene succession at the southern margin of the Alaşehir Graben.

Çizelge 2. Alaşehir Grabeni'nin güney kenarındaki Neojen istifinin fasiyes ilişkileri.

Facies associations	Constituent lithofacies
FA1, Alluvial-fan facies associations	Cb, Gms, Sp, Scs in Table 1
FA2, Lacustrine fan delta associations	Gms, Sp, Se, Sr, Ssh, Fs in Table 1
FA3, Shoreline plain facies associations	Cb, Gmc, Sp, Sfu, Fm in Table 3
FA4, Lacustrine basin facies associations	Gmc, Fm, Fml, L in Table 3
FA5, Alluvial-fan/fluvial facies associations	Cb, Cbr, Gcg, Sp, Sc, Se, Ssc, Sl, M in Table 4
FA6, Alluvial-fan/fluvial facies associations	Cb, Sp, Ss, Sl, Se, S, M, Csm in Table 5
FA7, Floodplain facies associations	Gms, Sp, Se, Sc, Sl, SS, Ssc, Csm, S, M in Table 5
FA8, Floodplain facies associations	Gms, Sp, Sfg, M, C in Table 6
FA9, Floodplain facies associations	Gms, Sfg, Scg, M in Table 6

FA1: Alluvial-fan facies association is represented by relative abundance of facies Cb, Gms, Sp and Scs (Table 1, Figures 6a, 7a-b). FA1 is dominated by blocky conglomerates and gravel stones. They are generally thick-bedded to massive, poorly sorted to unsorted and structureless with sharp and erosive bases and irregular tops (facies Cm and Gms). Blocky conglomerates ranging in thickness from 20 cm to 4 meters occur in FA1. They consist of angular, sub-angular and rounded clasts of marble, gneiss, schist and quartz in a calcareous matrix, with graded and pebbly imbrications locally. They can be tracked laterally for up to a hundred meters. Poorly bedded, coarse-grained pebbly sandstones (facies Sp) are generally observed as interbeds to conglomerates alternating with thin-bedded clayey sandstones (facies Scs). They can be tracked laterally for up to a few tens of meters. The clasts in the pebbly sandstones consist of marble, gneiss, schist and metagranite in a calcareous matrix. The facies has cross-bedding, symmetrical ripple marks and rare erosional bases.

FA2: The lacustrine fan delta association consists of Gms, Sp, Se, Sr, Ssh and Fs facies (Table 1, Figures 6a, 7c-d-e). The associations are commonly formed by the yellow sandstones and gray shales with evidence of localized diagenetic alteration possibly due to oxidation or mineral

precipitation (facies Ssh, Sr, Se and Fs). The grain size of the sandstones varies greatly from fine to coarse sand, with mica and quartz being the dominant grains. The sandstones in the sandstone-shale interbeds have lenticular geometry and range in thickness from 10 to 30 cm. Their lateral continuity is several meters. Laminations, ripples and graded bedding are characteristics of syn-sedimentary structures. The gray shale in FA2 is between 10 and 15 cm thick. The shale beds, consisting of 1-2 cm thick laminations, contain undefined parts of coalified plants (facies Fs). The intercalation of debris-flow facies (Cb, Gms, Sp and Scs) shows an interference relationship with FA1.

Interpretation

The blocky conglomerates and gravels in FA1 were mainly deposited by debris flows with coarse-grained beds. The clasts are derived from high-grade metamorphic rocks of the Menderes Massif and cataclastic rocks of the ADF by stream debris flow processes based on the presence of angular and sub-angular clasts. The alternation of pebbly sandstones and laminated clayey sandstones indicates an area of water flow. All these facies in FA1 indicate deposition in an alluvial fan depocenter in front of a depositional area fed by the Menderes Massif.

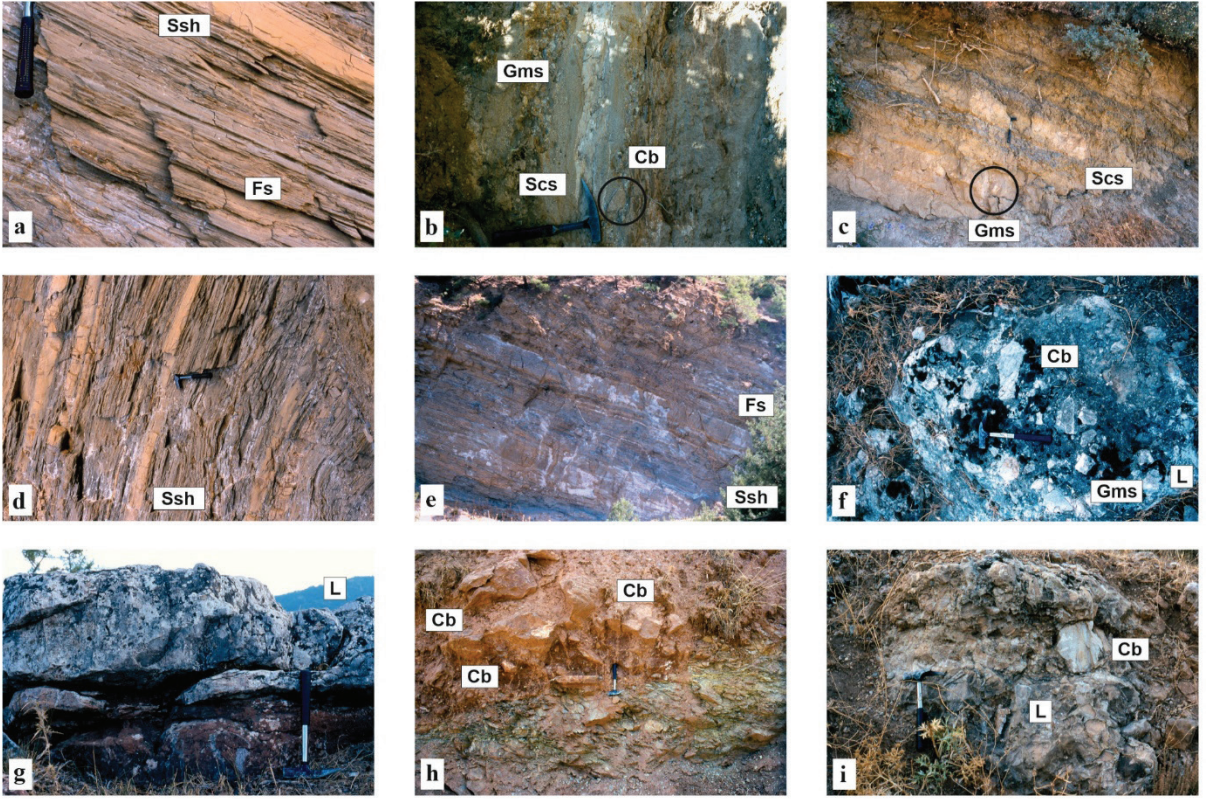


Figure 7. Outcrop views of the Lower-Middle Miocene sedimentary rocks of the Alaşehir Graben (photos taken from Şen, 2004; Ağırbaş, 2006). **(a)** Facies Fs (shales) and Ssh (alternation of sandstone and shale) consist of gray shale with yellow sandstone in the Gerentaş Formation. **(b)** Facies Cb (blocky conglomerates), Gms (gravel stones) and L (Limestones) in the Gerentaş Formation. **(c)** Facies Gms (gravel stones) and Scs (clayey sandstone) in the Gerentaş Formation. **(d-e)** Facies Ssh (alternation of sandstone-shale) and Fs (shales) in the Gerentaş Formation. **(f)** Facies Cb (blocky conglomerates) and Gms (gravel stones) are observed in the limestone bed (facies L) of the Kaypaktepe Formation, which contains angular to rounded clasts, including the cataclastic rock from the detachment fault. **(g)** The Kaypaktepe Formation consists mainly of gray limestone beds (facies L). **(h)** There are angular clasts (Cb) of cataclastic rocks above the synthetic and antithetic faults belonging to the Alaşehir detachment fault. **(i)** The limestone beds (facies L) of the Kaypaktepe Formation contain angular to sub-angular clasts (facies Cb), including Alaşehir detachment fault cataclastic rocks.

Şekil 7. Alaşehir Grabeni'ndeki Alt-Orta Miyosen tortul kayaçlarının mostra görünümleri (Şen, 2004; Ağırbaş, 2006'dan alınan fotoğraflardır). **(a)** Gerentaş Formasyonu'nda Fs (şeyl) ve Ssh (kumtaşı ve şeyl ardalanması) fasiyesleri, sarı kumtaşı ile gri şeylden oluşmaktadır. **(b)** Gerentaş Formasyonu'nda Cb (bloklı konglomeralar), Gms (çakıl taşları) ve L (kireçtaşları) fasiyesleri gözlenmektedir. **(c)** Gerentaş Formasyonu'nda Gms (çakıl taşları) ve Scs (killi kumtaşı) fasiyesleri gözlenmektedir. **(d-e)** Gerentaş Formasyonu'nda Ssh (kumtaşı-şeyl ardalanması) ve Fs (şeyl) fasiyesleri gözlenmektedir. **(f)** Kaypaktepe Formasyonu'nun kireçtaşı tabakalarında (fasiyes L) fasiyes Cb (bloklı konglomeralar) ve Gms (çakıl taşları) gözlenmektedir. Bu tabakalar, sıyrılma fayının kataklastik kayaçlarını da içeren köşeli ve yuvarlak kırıntıları içermektedir. **(g)** Kaypaktepe Formasyonu esas olarak gri kireçtaşı tabakalarından (fasiyes L) oluşmaktadır. **(h)** Alaşehir sıyrılma fayına ait sentetik ve antitetik fayın üstünde kataklastik kayaçların köşeli kırıntıları (Cb) bulunmaktadır. **(i)** Kaypaktepe Formasyonu'nun kireçtaşı tabakaları (fasiyes L), Alaşehir sıyrılma fayı kataklastik kayaçlarını da içeren köşeli ve yarı köşeli kırıntıları (fasiyes Cb) içermektedir.

The gravelly and sandy materials in FA2 were probably deposited in a lacustrine depocenter at the edge of FA1 where the alluvial fan system met the lacustrine system. Alluvial fans of FA1 facies allowed the deposition of sandstone-shale alternations due to their contact with lake water. FA2, therefore, represents deposition in the lacustrine fan delta.

The alluvial fans and fan deltas in the Gerentaş Formation are thought to result from the introduction of heavily loaded streams into a lacustrine depocenter where the lakes were small and localized as the outcrop is small (Cohen et al., 1995; İztan and Yazman, 1990; Seyitoğlu et al., 2002). However, subsurface evidence in the Alaşehir Graben suggests that lacustrine fills are more extensive (Yılmaz et al., 2000; Çiftçi and Bozkurt, 2009). The presence of angular and sub-angular clasts in blocky conglomerates and gravels in FA1 and FA2 indicates that different fragments of rock were transported into a lacustrine depocenter along alluvial fans under the

control of the ADF and its synthetic and antithetic faults (Ağırbaş, 2006) (Figures 6a and 7a-e).

Kaypaktepe Formation

The Kaypaktepe Formation crops out southwest of the Alaşehir area between the villages of Soğukyurt and Gerentaş (Figure 3). The thickness of this formation is 45 meters from the measured stratigraphic log at Kaypaktepe Hill (Figure 6b), although its maximum thickness was estimated to be ~200 meters based on D-D' and E-E' cross sections (Figure 4; Ağırbaş, 2006). Seven lithofacies are described based on the nature of individual beds, grain size and primary sedimentary structures (Table 3). This lithofacies diversity is grouped into two main facies associations of FA3 (shoreline plain facies association) and FA4 (lacustrine basin facies association) (Table 2). FA3 is represented by coarse- and fine-grained beds in the lower part of the Kaypaktepe Formation and FA4 is represented by fine-grained beds in the upper part of the Kaypaktepe Formation (Figure 6b, 7f-i).

Table 3. Dominant facies, facies descriptions and interpretations for the Kaypaktepe Formation.

Çizelge 3. *Kaypaktepe Formasyonu'nun baskın fasiyesleri, fasiyes tanımları ve yorumları.*

Facies	Description	Interpretation
Cb, blocky conglomerates	Blocky conglomerates with gray silty matrix and carbonate cement, matrix-supported, poorly sorted to unsorted, chaotic, polymictic angular and sub-angular, irregular top, locally reverse and normal grading; dimensions: bed thickness up to 8 m; lateral extent tens to hundred meters	Debris flow
Gmc, matrix-supported conglomerates	Conglomerates with red calcareous matrix, poorly bedded, poorly sorted, polymictic clasts angular, sub-angular and rounded, erosive base; dimensions: bed thickness up to 2.5 m; lateral extent few tens of meters	Deposits of flash flood (channel fill)
Sp, pebbly sandstones	Coarse-grained sandstone, pebbly, poorly bedded, moderately cemented, locally fining upward with an erosive base; dimensions: bed thickness up to 20 cm; lateral extent few tens of meters	Deposits of flash flood
Sfu, fining-upward sandstones	Medium-grained sandstone, formed as a single bed, laminated, fining upward, erosive base on the bottom and ripples at top; dimensions: bed thickness up to 25 cm; lateral extent tens of meters	Subaqueous deposits at lower flow regime - waning flows
Fm, mudstones	Red color, laminated; dimensions: bed thickness up to 20 cm; lateral extent tens of meters	Low-energy (shoreline plain-lacustrine)
Fml, alternation of mudstone-limestone	Mudstone, red/gray limestone, laminated; bed thickness up to 10 cm; lateral extent tens of meters	Low-energy (lacustrine)
L, limestones	Limestone, gray color, very hard, abundant shell fragments and bioturbations; dimensions: bed thickness up to 20 cm; lateral extent tens of meters	Low-energy (lacustrine)

FA3: The shoreline plain facies association includes Cb, Gmc, Sp, Sfu and Fm facies (Table 3, Figures 6b and 7f-g). The lower and upper parts of the association consist of blocky conglomerates and matrix-supported conglomerates, ranging in thickness from 35 cm to 8 meters and from 25 to 48 cm (facies Cb and Gme). They consist of poorly sorted, rounded, angular and sub-angular clasts of dark gray black marble, gneiss, schist, quartz, meta-granite, granitoid and pebbles of breccias and cataclastic rocks together with white marble and schist. The clasts range in size from 15 cm to 1 m. All clasts are bounded by a silty matrix and carbonate cement. The middle part of the association is dominated by pebbly sandstones (facies Sp), fining-upward and rippled sandstones with an erosive base (facies Sfu) and laminated mudstones (facies Fm). Their lateral extent is usually limited to a few tens of meters.

FA4: The lacustrine basin facies association includes Gmc, Fm, Fml and L facies (Table 3, Figure 7h-i). Micaceous, tabular and laminated red mudstones (facies Fm), 10 to 20 cm thick, with limestone interbeds (facies Fml) are observed. The gray limestone, 10 to 60 cm thick, contains several undefined shell fragments and bioturbations (facies L). The lateral extent of this facies is tens of meters.

Interpretation

The alternations of coarse- and fine-grained beds in FA3 were probably deposited on the shoreline plain of a lake system. This shows periodic variations in high- and low-energy depositional

processes. The association of laminated limestones and mudstones with coarse-grained clastic fills in FA4 is indicative of a lake margin depocenter. The presence of coalified plant fragments and bioturbations in the Kaypaktepe Formation suggests that its depositional setting was lacustrine, as proposed by previous researchers (İztan and Yazman, 1990; Seyitoğlu et al., 2002; Purvis and Robertson, 2005; Çiftçi and Bozkurt, 2009). The presence of rounded clasts in conglomerates indicates that different rock fragments were transported into the lake by fluvial systems, and the presence of angular and sub-angular clasts belonging to blocky conglomerates indicates that different rock fragments were transported into the lake along alluvial fans under the control of the ADF and its synthetic and antithetic faults (Ağırbaş, 2006) (Figures 6b and 7f-i).

Acidere Formation

The Acidere Formation is the most extensive Neogene unit along the southern margin of the Alaşehir Graben (Figure 3). The maximum thickness of the Acidere Formation is estimated to be ~1125 meters from stratigraphic logs measured on the path along Yağmurlar to Acidere villages and Kaynarca valley on the western part of the Ahlan Hill (Figure 8–10; Şen, 2004; Ağırbaş, 2006). Nine lithofacies are described in the Acidere Formation (Table 4). It is a Neogene sequence consisting of alluvial and fluvial systems (Emre, 1996) and the unit is defined as a single association, including the alluvial-fan/fluvial facies association, as it is very difficult to separate these two systems (Table 2 and Figure 8–10).

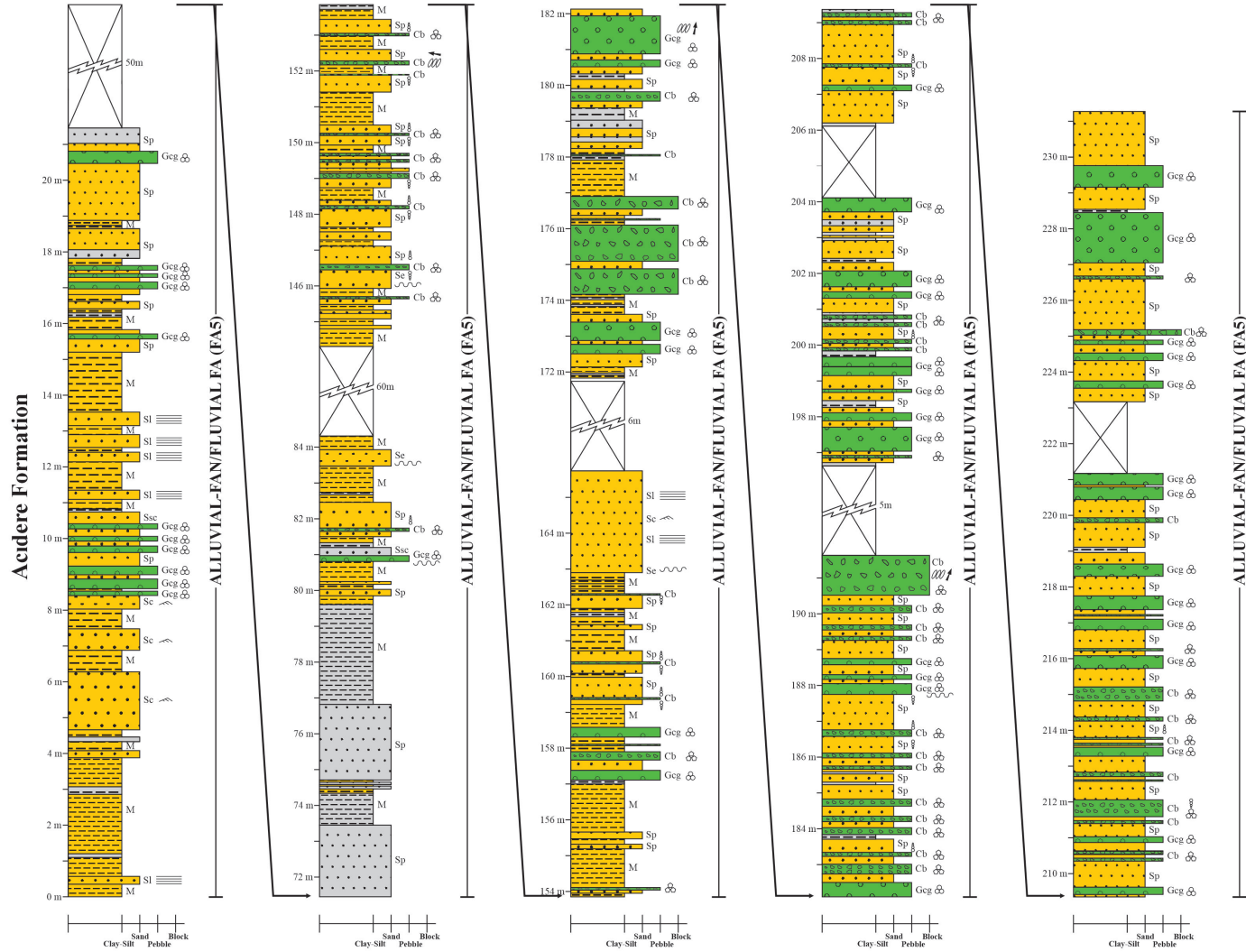


Figure 8. Measured stratigraphic log of the Acidere Formation along the Kaynarca valley in the Alaşehir area (taken from Ağırbaş, 2006). See Figure 5 for location.

Şekil 8. Alaşehir bölgesindeki Kaynarca Vadisi boyunca Acidere Formasyonu'nun ölçülü stratigrafik kesiti (Ağırbaş, 2006'dan alınmıştır). Konum için Şekil 5'e bakınız.

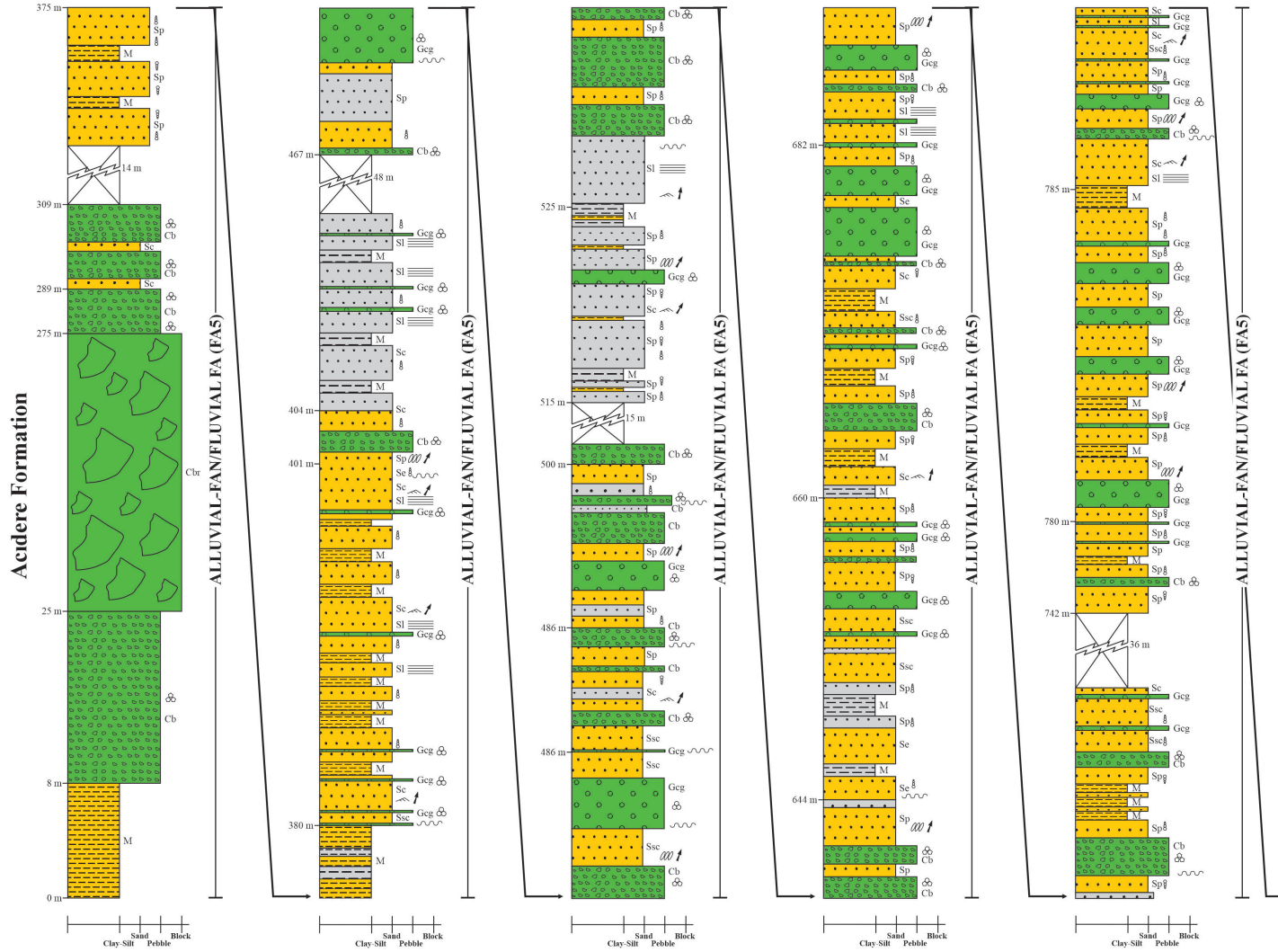


Figure 9. Measured stratigraphic log of the Acıdere Formation in the villages of Yağmurlar to Acıdere in the Salihli area (taken from Şen, 2004). See Figure 5 for location.

Şekil 9. Salihli bölgesinde Yağmurlar' dan Acıdere' ye kadar olan köyler boyunca Acıdere Formasyonu' nun ölçülü stratigrafik kesiti (Şen, 2004'ten alınmıştır). Konum için Şekil 5'e bakınız.

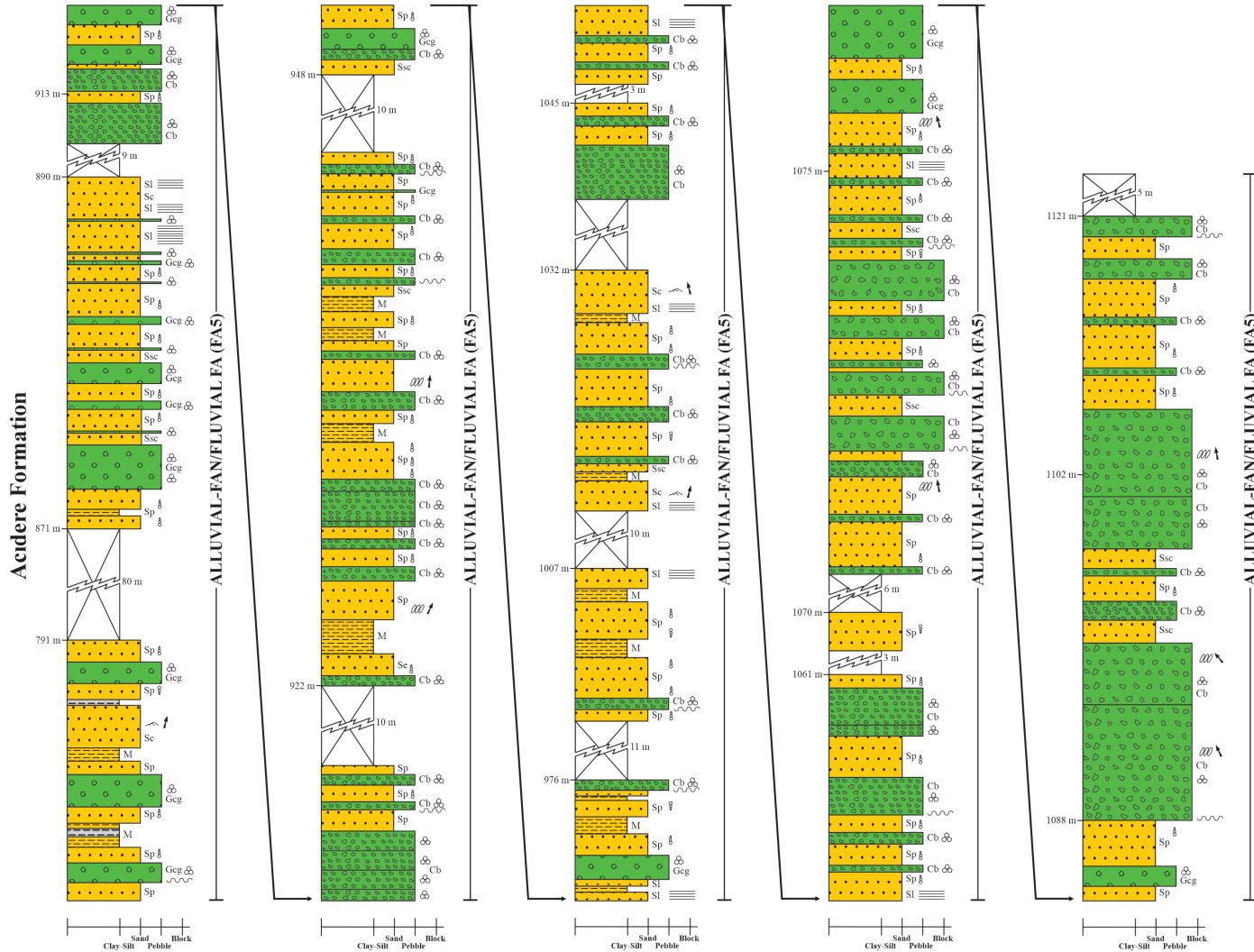


Figure 10. Measured stratigraphic log of the Acidere Formation in the villages of Yağmurlar to Acidere in the Salihli area (taken from Şen, 2004). Note that this is a continuation of Figure 9. See Figure 5 for location.

Şekil 10. Salihli bölgesinde Yağmurlar' dan Acidere' ye kadar olan köyler boyunca Acidere Formasyonu' nun ölçülü stratigrafik kesiti (Şen, 2004'ten alınmıştır). Bunun Şekil 9'un devamı olduğunu unutmayın. Konum için Şekil 5'e bakınız.

Table 4. Dominant facies, facies descriptions and interpretations for the Acidere Formation.**Çizelge 4.** *Acidere Formasyonu'nun baskın fasiyesleri, fasiyes tanımları ve yorumları.*

Facies	Description	Interpretation
Cb, blocky conglomerates	Blocky conglomerates with red sandy to gravelly matrix, matrix-supported, chaotic, poorly sorted, polymictic angular and sub-angular clasts, irregular top, pebbly imbrications; dimensions: bed thickness up to 5 m; lateral extent tens to hundred meters	Debris flow
Cbr, breccias	Breccias, blocks and gravel stones of breccias from the Alaşehir detachment fault, poorly sorted, angular clasts; dimensions: bed thickness up to 10 m; lateral extent tens to hundred meters	Debris flow
Gcg, cross-bedded gravel stones and conglomerates	Gravelstones and conglomerates with red sandy matrix and granule to pebble size clasts supported by coarse sand matrix, poorly sorted, moderately cemented, polymictic, erosive base, cross-bedding; dimensions: bed thickness up to 1 m; lateral extent few tens of meters	Channel fills
Sp, pebbly sandstones	Coarse-grained sandstones with red and gray silty matrix, pebbly, poorly sorted, moderately cemented, erosive base; dimensions: bed thickness up to 1 m; lateral extent few tens of meters	Deposits of flash flood - channel fills
Sc, cross-bedded sandstones	Medium- and fine-grained sandstones, red and gray color, good to moderate sorting, cross-bedding; dimensions: bed thickness up to 40 cm; lateral extent few tens of meters	Crevasse splays
Se, erosive-based sandstones	Coarse-grained sandstones, red and gray colored, good to moderate sorting, erosive based with cross-bedding and normal and reverse grading; dimensions: bed thickness up to 40 cm; lateral extent few less than 20 meters	Scour-fills
Ssc, scoured-based sandstones	Coarse-grained sandstones, red and gray color, good to moderate sorting, broad scoured based with lag, fining upward; dimensions: bed thickness up to 40 cm; lateral extent less than 10 meters	Scour-fills
Sl, laminated sandstones	Coarse- and fine-grained sandstones, well sorted, laminated; dimensions: bed thickness up to 40 cm; lateral extent few tens of meters	Deposits from planar bed flow-waning currents in channel
M, mudstones	Mudstones, red and gray color, laminated; dimensions: bed thickness up to 30 cm; lateral extent few tens of meters	Waning currents in channel

FA5: The alluvial-fan/fluvial facies association is composed of Cb, Cbr, Gcg, Sp, Sc, Se, Ssc, Sl and M facies (Table 4; Figures 8–11). The facies association is dominated by blocky conglomerates and gravel stones (facies Cb, Cbr and Gcg) with intercalations of sandy facies (Sp, Sc, Se, Ssc and Sl), including well to poorly-sorted, moderate- to well-cemented sandstones alternating with mudstones (facies M). Blocky conglomerates and conglomerates are characteristically red, poorly sorted, with pebble imbrications, angular to sub-angular clasts containing quartz, marble, gneiss, schist, granitoid, meta-granite and cataclastic rocks. Clasts range in size from 0.3 cm to 1 m. Bed thicknesses range from 1 to 5 meters (Figures 8–10, 11a-c). The sandstone beds are matrix-

supported in the lower part and grain-supported in the upper part of FA5. The sandstone is moderately well sorted, with normal-reverse graded, cross-bedding, and contains rounded small clasts of quartz, marble, gneiss, schist, granitoid, meta-granite, and cataclastic rocks in a carbonate matrix. The pebbles in the sandstone contain moderately poorly sorted, angular, sub-angular and rounded clasts, consisting of quartz, marble, gneiss, schist, granitoid, meta-granite and cataclastic rocks, and clast sizes range from 0.3 to 15-20 cm (Figures 8–10, 11d-i). Thicknesses range from 40 cm to 2 meters. The mudstones are 20 to 40 cm thick (Figure 8–10). They are red and locally gray. The gray color is usually observed in the gravelly and sandy facies.

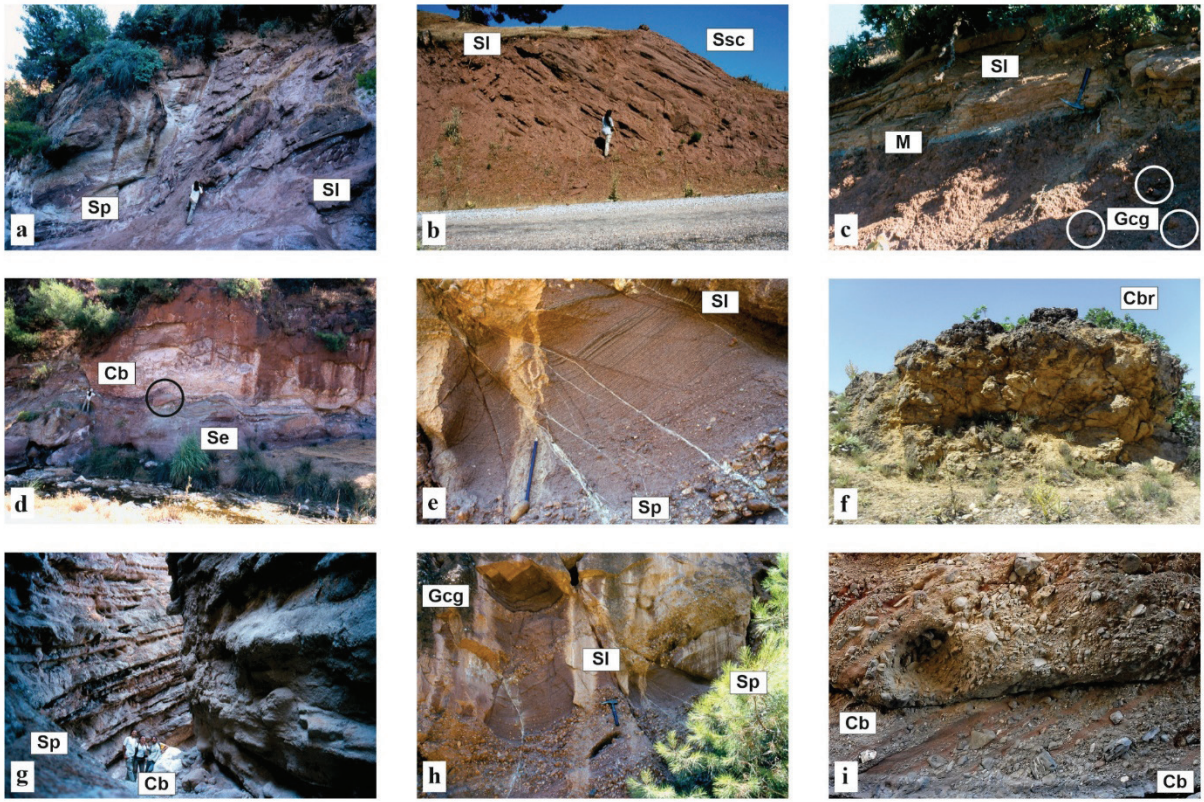


Figure 11. Outcrop views of the Lower-Upper Miocene sedimentary rocks of the Alaşehir Graben (photos taken from Şen, 2004; Ağırbaş, 2006). **(a)** Facies Sp (pebbly sandstones) and Sl (laminated sandstones) in the Acidere Formation. **(b)** Facies Sl (laminated sandstones) and Ssc (sandstones) in the Acidere Formation. **(c)** Facies Gcg (gravel stones and conglomerates), Sl (laminated sandstones) and M (mudstones) in the Acidere Formation. **(d)** Facies Cb (blocky conglomerates) and Se (erosive-based sandstones) in the Acidere Formation. **(e-f)** Facies Sp (pebbly sandstones) and Sl (laminated sandstones) in the Acidere Formation. **(g)** The Acidere Formation consists mainly of Cb facies (blocky conglomerates) and Sp (pebbly sandstones) in the Kaynarca valley. **(h-i)** The sandstone beds of the Acidere Formation in the Kısık valley contain angular to rounded clasts (facies Cb, Gcg and Sp), including cataclastic rock from the Alaşehir detachment fault.

Şekil 11. Alaşehir Grabeni' nin Alt-Üst Miyosen tortul kayaçlarının mostra görünümleri (Şen, 2004; Ağırbaş, 2006'dan alınan fotoğraflardır). **(a)** Acidere Formasyonu'nda Sp (çakıllı kumtaşları) ve Sl (laminalı kumtaşları) fasiyesleri gözlenmektedir. **(b)** Acidere Formasyonu'nda Sl (laminalı kumtaşları) ve Ssc (kumtaşları) fasiyesleri gözlenmektedir. **(c)** Acidere Formasyonu'nda Gcg (çakıl taşı ve konglomeralar), Sl (laminalı kumtaşları) ve M (çamurtaşları) fasiyesleri gözlenmektedir. **(d)** Acidere Formasyonu'nda Cb (bloklu konglomeralar) ve Se (aşındırıcı tabanlı kumtaşları) fasiyesleri gözlenmektedir. **(e-f)** Acidere Formasyonu'nda Sp (çakıllı kumtaşları) ve Sl (laminalı kumtaşları) fasiyesleri gözlenmektedir. **(g)** Kaynarca Vadisi'ndeki Acidere Formasyonu çoğunlukla Cb (bloklu konglomeralar) ve Sp (çakıllı kumtaşları) fasiyeslerden oluşur. **(h-i)** Kısık Vadisi'ndeki Acidere Formasyonu'nun kumtaşı katmanları, Alaşehir sıyrılma fayının kataklastik kayacı da dahil olmak üzere köşeli ve yuvarlak kırıntıları (fasiyes Cb, Gcg ve Sp) içermektedir.

Interpretation

The alternations of coarse- and fine-grained beds in FA5 were probably deposited in the fluvial depocenter under the control of alluvial-fan systems (Emre, 1996). The predominantly channeled appearance of the sandstones and conglomerates is texturally immature. This suggests a high-energy depocenter in the form of longitudinal and transverse bars in a braided river system (e.g., Emre, 1996; Purvis and Robertson, 2005; Çiftçi and Bozkurt, 2009). The alluvial fans were fed from south to north by the Menderes Massif and prograded northwards towards the Miocene graben, where they drained into river systems.

The lowermost part of the Acidere Formation begins with sandy beds alternating with muddy beds on the Alaşehir side, while the lowermost part of this unit begins with blocky and gravelly beds on the Salihli side ((Figures 8–10 and 11). The depositional age of the middle and upper levels of the Acidere Formation is middle to late Miocene based on an Eskihişar sporomorph association and some palynological fauna (Ediger et al., 1996; Seyitoğlu and Scott, 1996). The blocks containing large breccia from the ADF in the lower parts of this deposit on the Salihli side correspond to blocky conglomerates composed of breccias on the detachment fault in the lower parts of the Kaypaktepe Formation in the Alaşehir area. These breccias provide a reference level for comparison between the two units. Thus, the age of the Acidere Formation is Lower-Upper Miocene (Şen, 2004; Şen et al., 2024).

Deposition in the Salihli area took place in an alluvial-fan environment based on the presence of blocks with large breccias belonging to the ADF, while sedimentation in the lacustrine environment continued in the Alaşehir area during the Early to Middle Miocene. The lacustrine depocenter

for the Gerentaş and Kaypaktepe Formations is not observed in the Acidere Formation due to the presence of mudstone and sandstone with conglomerate interlayers in the upper parts of this unit in the Alaşehir area. The lakes fed by the rivers were filled with sediments from the Gerentaş and Kaypaktepe Formations. As a result, material carried by the rivers never reached a lacustrine depocenter and was deposited as fluvial fills in the Alaşehir area. The presence of pebble imbrications in the conglomerate beds and normal-reverse gradations, together with cross-bedding in the sandstone beds, indicate that its depocenter is in a fluvial system, as stated by Dunbar and Rodgers (1957) and Önalán (1997). Furthermore, the presence of angular and sub-angular clasts and pebble imbrications in the conglomerate beds and conglomerate-sandstone intercalations show that different rock fragments were transported into the fluvial systems along alluvial fans under the control of the ADF and its synthetic-antithetic faults (Şen, 2004; Ağırbaş, 2006).

Göbekli Formation

The Göbekli Formation is exposed southeast of the Salihli area between the villages of Göbekli and Kurudere and south of the village of Yağmurlar and north of the village of Peynirçukuru (Figure 3). The thickness of the unit is ~585 meters according to the measured stratigraphic log along the Koğukdere valley (Figure 12–14a; Şen, 2004, 2016). Eleven lithofacies are defined in the Göbekli Formation (Table 5). This lithofacies diversity is divided into two main facies associations of FA6 (alluvial-fan/fluvial facies association) and FA7 (floodplain facies association) (Table 2). FA6 refers to the dominant coarse-grained beds in the lower levels of the Göbekli Formation, and FA7 refers to the dominant fine-grained beds in its middle and upper levels.

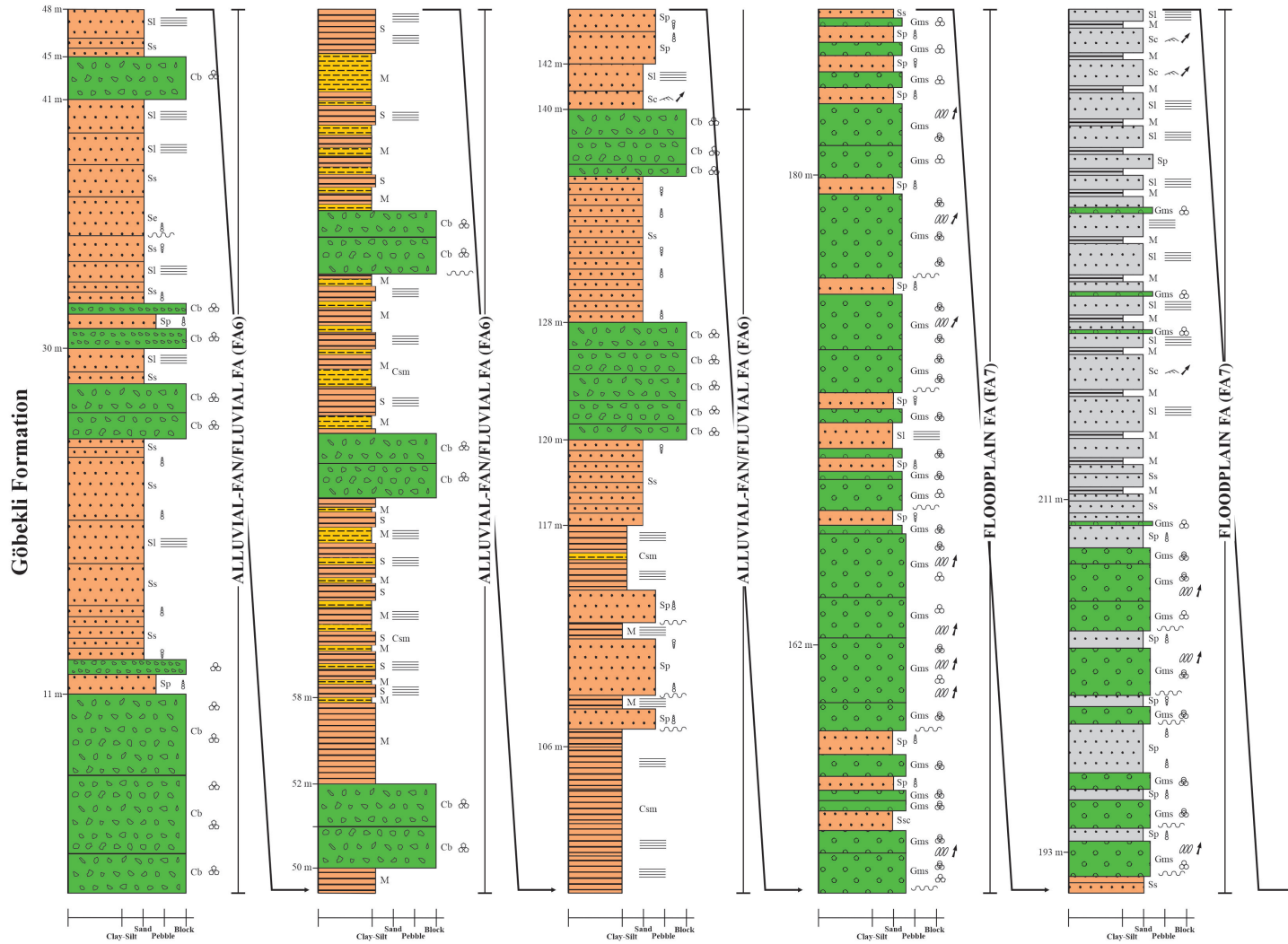
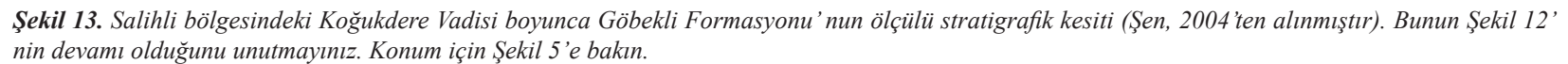


Figure 12. Measured stratigraphic log of the Göbekli Formation along the Koğukdere valley in the Salihli area (taken from Şen, 2004). See Figure 5 for location.

Şekil 12. Salihli bölgesindeki Koğukdere Vadisi boyunca Göbekli Formasyonu'nun ölçülü stratigrafik kesiti (Şen, 2004'ten alınmıştır). Konum için Şekil 5'e bakınız.



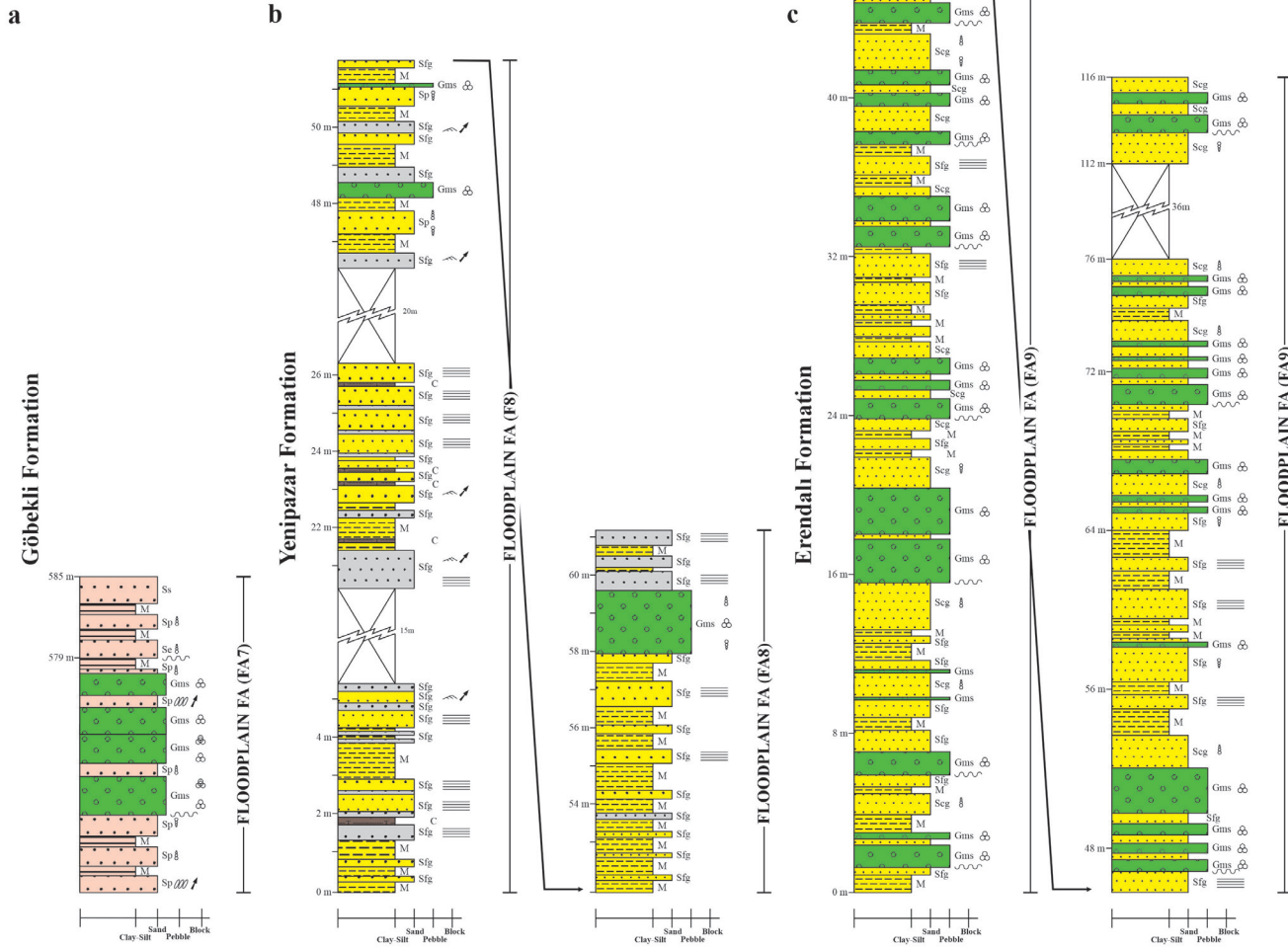


Figure 14. Measured stratigraphic log of the Göbekli Formation along the Koğukdere valley **(a)** and the Erendalı Formation on Erendalı Hill **(b)** in the Salihli area (taken from Şen, 2004) and the Yenipazar Formation along the Kokar valley **(c)** in the Alagöz area (taken from Ağırbaş, 2006). Note that Figure 14a is a continuation of Figure 13. See Figure 5 for location.

Şekil 14. Salihli yöresinde Koğukdere Vadisi boyunca Göbekli Formasyonu'nun **(a)** ve Erendalı Tepesi'nde Erendalı Formasyonu'nun **(b)** (Şen, 2004'ten alınmıştır) ve Alagöz yöresinde Kokar Vadisi boyunca Yenipazar Formasyonu'nun **(c)** ölçülü stratigrafik kesitleri (Ağırbaş, 2006'dan alınmıştır). Şekil 14a'nın Şekil 13'ün devamı olduğunu unutmayın. Konum için Şekil 5'e bakınız.

Table 5. Dominant facies, facies descriptions and interpretations for the Göbekli Formation.**Çizelge 5.** Göbekli Formasyonu'nun *baskın fasiyesleri, fasiyes tanımları ve yorumları*.

Facies	Description	Interpretation
Cb, blocky conglomerates	Blocky conglomerates with yellow color silty matrix and carbonate cement, matrix-supported, poorly sorted to unsorted, chaotic, polymictic angular and sub-angular clasts; dimensions: bed thickness up to 11 m; lateral extent tens to hundred meters	Debris flow
Gms, matrix-supported gravel stones	Gravel stones with yellow, gray, red, and pink silty matrix and carbonate cement, matrix-supported, sorted, polymictic sub-rounded to rounded clasts, erosive based, pebble imbrications; dimensions: bed thickness up to 5 m; lateral extent few tens of meters	Channel fills
Sp, pebbly sandstones	Coarse- and fine-grained sandstones with yellow, gray, red, and pink silty matrix and carbonate cement, matrix-supported, moderately well-sorted, normal to reverse graded; dimensions: bed thickness up to 6 m; lateral extent few tens of meters	Deposits of flash flood/channel deposits
Se, erosive-based sandstones	Coarse- and fine-grained sandstones with yellow, gray, red, and pink silty matrix and carbonate cement, matrix-supported, moderately well-sorted, erosive-based, locally normal graded; dimensions: bed thickness up to 1 m; lateral extent few less than ten meters	Scour-fills/channel fills and sand bars
Sc, cross-bedded sandstones	Medium- to fine-grained sandstones, yellow, gray, red, and pink color, moderately well-sorted, tabular cross-bedded; dimensions: bed thickness up to 1.2 m; lateral extent few tens of meters	Sand bars
Sl, laminated sandstones	Medium- to fine-grained sandstones, horizontally laminated; dimensions: bed thickness up to 50 cm; lateral extent several tens of meters	Planar bed flow deposits
Ss, stratified sandstones	Medium- to fine-grained sandstones, moderately sorted, locally laminated; dimensions: bed thickness up to 60 cm; lateral extent few tens of meters	Waning flood deposits
Ssc, clayey-silty sandstones	Sandstones with clayey and silty, well-sorted, locally laminated	Waning flood deposits
Csm, alternation of siltstone–mudstone	Siltstones and mudstones, laminated; bed thickness up to 20 cm; lateral extent several tens of meters	Waning currents in channel
S, siltstones	Siltstones, laminated, locally sandy; dimensions: bed thickness up to 30 cm; lateral extent tens of meters	Waning currents in channel
M, mudstones	Mudstones, locally laminated; dimensions: bed thickness up to 60 cm; lateral extent several tens of meters	Waning currents in channel/overbank

FA6: The alluvial-fan/fluvial facies association includes Cb, Sp, Ss, Sl, Se, S, M and Csm facies (Table 5; Figure 12). The dominant facies of this association is blocky conglomerate (facies Cb). The lower and upper parts of the association are dominated by sandy facies (Sp, Ss, Sl and Se); however, the sandy facies is replaced by siltstone-mudstone facies in the middle part of the association (facies Csm, S and M). Blocky conglomerates are observed in FA6

(Figure 12, 15d-f). They consist of angular to sub-angular clasts of marble, gneiss, metagranite, schist, granitoid, cataclastic rocks, and reworked fragments of the Acidere Formation. The clasts range in size from 0.1 cm to 1 m. All clasts are bounded by a silty matrix and carbonate cement. Bed thickness ranges from 1 to 11 meters. The shape and origin of the pebbles in the pebbly sandstones of the association are the same as in the blocky conglomerates.

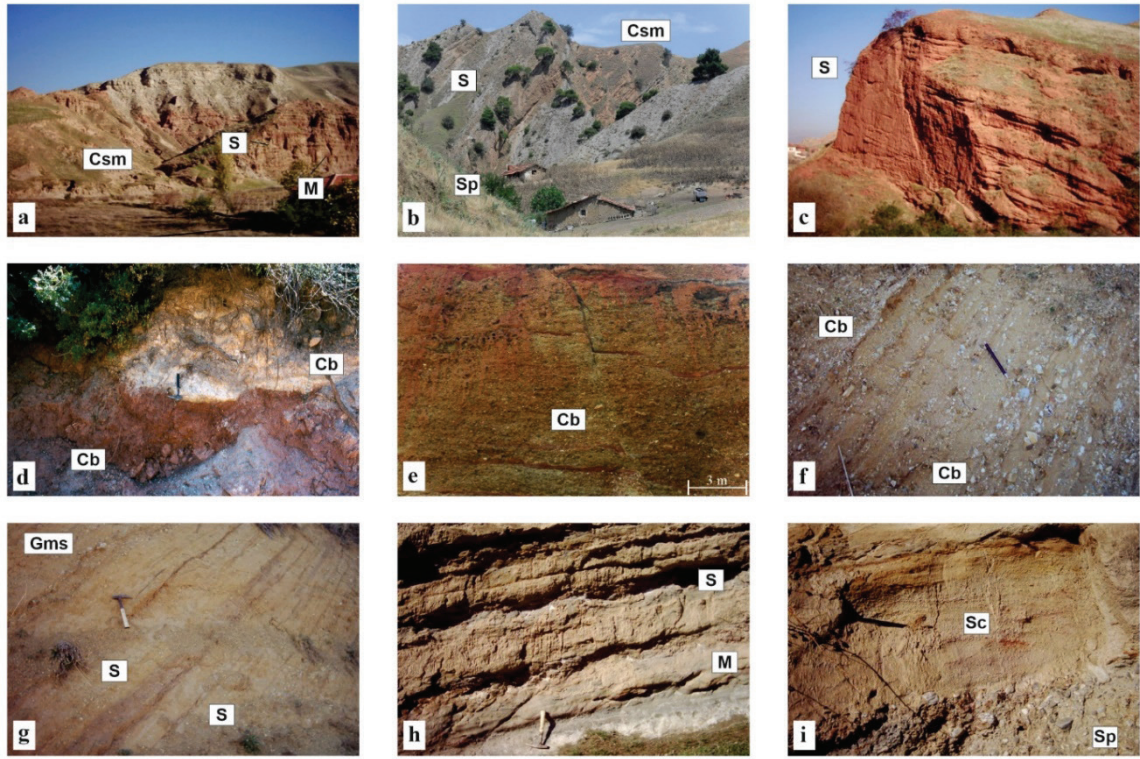


Figure 15. Outcrop views of the Upper Miocene-Upper Pliocene sedimentary rocks of the Alaşehir Graben (photos taken from Şen, 2004; Ağırbaş, 2006). **(a-c)** Facies Csm (alternation of siltstone–mudstone), S (siltstones), M (mudstones) Sp (pebbly sandstones) and S (stratified sandstones) in the Göbekli Formation. **(d)** There are angular clasts (facies Cb), including cataclastic rocks of the Alaşehir detachment fault, in the first 7 meters level of the Göbekli Formation overlying the Acidere Formation, and **(e)** there are angular to sub-angular clasts (facies Cb, including cataclastic rocks from the Alaşehir detachment fault in the first 140 meters in the Koşukdere valley. **(f)** There are angular to sub-angular clasts (facies Cb), including cataclastic rocks from the Alaşehir detachment fault between 7 and 140 meters; but the size of the clasts belonging to the cataclastic rocks is quite small compared to the sizes in the first 7 meters. **(g)** There are interbeds of fine- and coarse-grained sandstones (facies S) consisting of rounded clasts (facies Gms) lacking cataclastic rocks of the Alaşehir detachment fault. **(h)** Facies S (sandstones) and M (mudstones) in the Göbekli Formation. **(i)** Facies Sp (pebbly sandstones) and Sc (cross-bedded sandstones) in the Göbekli Formation after the first 140 meters and the sphericity of the pebbles in the sandstone beds is sub-rounded to rounded.

Şekil 15. Alaşehir Grabeni'nin Üst Miyosen-Üst Pliyosen tortul kayaçlarının mostra görünümleri (fotoğraflar Şen, 2004; Ağırbaş, 2006'dan alınmıştır). **(a-c)** Göbekli Formasyonu'nda Csm (silttaşı-çamurtaşı ardalanması), S (silttaşı), M (çamurtaşı), Sp (çakıllı kumtaşı) ve S (tabakalı kumtaşı) fasiyesleri gözlenmektedir. **(d)** Acidere Formasyonu üzerinde yer alan Göbekli Formasyonu'nun ilk 7 metrelik seviyesinde, Alaşehir sıyrılma fayının kataklastik kayaçlarını da içeren köşeli kırıntılılar (fasiyes Cb) ve **(e)** Koşukdere Vadisi'nde ilk 140 metrelik seviyede, Alaşehir sıyrılma fayının kataklastik kayaçlarını da içeren köşeli ve yarı köşeli kırıntılar (fasiyes Cb) bulunmaktadır. **(f)** 7 ile 140 metre seviyeleri arasında, Alaşehir sıyrılma fayının kataklastik kayaçlarını da içeren köşeli ve yarı köşeli kırıntılılar (fasiyes Cb) bulunmaktadır; ancak kataklastik kayaçlara ait kırıntıların boyutu ilk 7 metredeki boyutlara göre oldukça küçüktür. **(g)** Yuvarlak kırıntılardan (fasiyes Gms) oluşan, ince- ve kaba-taneli kumtaşları (fasiyes S) ara katmanları. **(h)** Göbekli Formasyonu'nda S (kumtaşı) ve M (çamurtaşı) fasiyesleri gözlenmektedir. **(i)** Göbekli Formasyonu'nda ilk 140 metreden sonra Sp (çakıllı kumtaşı) ve Sc (çapraz katmanlı kumtaşı) fasiyesleri gözlenmekte olup, kumtaşı katmanlarındaki çakılların küreselliği yarı yuvarlaktan yuvarlağa doğrudur.

FA7: The floodplain facies association is composed of Gms, Sp, Se, Sc, Sl, SS, Ssc, Csm, S and M facies (Table 5; Figures 12-14a, 15a-c). The facies association is dominated by gravel stones (facies Gms) with sandy facies (Sp, Se, Sc, Ss and Ssc) consisting of well to poorly sorted, moderate- to well-cemented sandstones alternating with siltstones and mudstones (facies Csm, S and M). Gravel stones contain sub-rounded to rounded clasts including rock fragments from the high-grade metamorphic rocks and from the Gerentaş, Kaypaktepe and Acidere Formations. The clasts range from 0.1 cm to 6 cm in size. They are bounded by a silty matrix and carbonate cement. Bed thickness ranges from 50 cm to 5 meters. The shape and origin of the clasts in the pebbly sandstones of FA7 are the same as in the gravels. The clast geometry is round in pebble and gravel sandstones in FA7 (Figures 12-14a, 15). The sandy facies contains moderately well sorted, normal to reverse graded, cross-bedded and pebble imbrications, with rounded clasts of quartz, marble, schist, and gneiss in a carbonate matrix. Thicknesses range from 2 cm to 6 m. Erosional structures are observed between coarse- and fine-grained beds (Figure 15g). The muddy and silty facies are interbedded with sandy facies (Figure 7g-i). Bed thickness is 50-60 cm (Figure 15h-i). The sedimentary rocks are yellow, gray, red and pink, and show lateral and vertical repetition at varying intervals in FA7 (Figures 12-14a, 15).

Interpretation

The depocenter where the Göbekli Formation was formed is a floodplain (Emre, 1996). Floodplain deposits are represented by a continuum of fill types, ranging from clay- to gravel-sized particles and including both terrigenous and organic fills. The shape of pebbles deposited in floodplain sedimentary rocks ranges from sub-rounded to rounded. Floodplain deposits consist of channel deposits and overbank deposits associated

with seasonal increases in river flow caused by prolonged periods of snowmelt and excessive rainfall (Gerard, 2003; Bølviken et al., 2004). However, the Göbekli Formation was deposited in two different depocenters, represented by alluvial-fan/fluvial (FA6) and floodplain (FA7) associations.

The alternation of coarse- and fine-grained beds in FA6 was probably deposited in the fluvial depocenter under the control of alluvial-fan systems. FA6 represents the first 140 meters of the Göbekli Formation. The presence of angular to sub-angular clasts of blocky conglomerate in the first 140 meters of the Göbekli Formation supports an alluvial-fan origin during an early stage of deposition (Figure 15d-f). The presence of normal-reverse graded, cross-bedding, and pebble imbrications in the pebbly sandstones in beds between 12 and 140 meters indicates a fluvial depocenter in the later levels of the sequence (Figure 12). The first 140 meters of the sequence formed as a result of transport to fluvial systems along the alluvial-fans above the Acidere Formation. After the first 140 meters (FA6), the presence of lenses and normal- to reverse-graded pebbles in gravel stone, pebbly sandstone and fine-grained sandstone beds indicates a low-energy depocenter (Figure 15g-i). There are also repeated erosional basal structures above the fine-grained sandstone beds after the first 140 meters. This indicates that these beds are channel deposits (Figures 12-14a and 15a, b). Channel deposits, consisting of channel-bar and channel-fill sediments with normal-reverse grading, cross-beddings and pebble imbrications, are dominated by coarse-grained fills such as sand and gravel. Channel-bar sediments are typically stratified sands and gravels and accumulate in response to river migration and changes in river systems. Channel-fill sediments range from coarse- to fine-grained deposits. There is a recurrent pattern of erosional base structures between the channel bar and fill sediments (Fisk, 1947; Gerard, 2003;

Bølviken et al., 2004). After this level, there are layers of mudstone and sandstone alternating with siltstone. This is indicative of low-dipping morphology. This means that these levels are overbank deposits (Figures 12–14a and 15a-b, i). Overbank deposits are fine-grained and accumulate vertically, consisting mainly of mud, silt, and lesser amounts of sand, and organic sediments, such as lignite and bituminous coal horizons, are important constituents in floodplains. They occur along rivers and streams with variable discharge. They are deposited on floodplains and embankments by the suspension of water during floods when the discharge exceeds what can be contained in the normal channel (Flores, 1981, Bølviken et al., 2004).

This clearly shows that the Göbekli Formation continues as a series of successive packages, resulting in a more monotonous sequence after the first 140 meters (Figure 12–14a) and the depositional environment of the Göbekli Formation is clearly identified as a floodplain setting within the Alaşehir Graben.

The blocky conglomerates and pebbles in the pebbly sandstone beds of the first 140 meters of the Göbekli Formation were formed in fluvial systems along alluvial fans under the influence of tectonic activity on the ADF and its synthetic and antithetic normal faults during the late Miocene (Şen, 2004, 2016). This is because the shapes of the pebbles are sub-rounded and round, and there are no more angular cataclastic pebbles after this level. This means that this sequence, except for the first 140 meters, was deposited in flat plain deposits without any tectonic activity on the ADF during the latest late Miocene to latest early Pliocene.

Yenipazar Formation

The Yenipazar Formation is exposed southwest of the Salihli and Alaşehir areas in the villages of Kaysanlı², Yeşilkavak and Yeniköy (Figure 3). The thickness of the Yenipazar Formation is 62 m from the measured stratigraphic log in the Kokar Valley (Figure 14b), although its maximum thickness has been estimated to be ~350 m based on B-B' and C-C' cross sections (Figure 4; Şen, 2004; Ağırbaş, 2006). Five lithofacies are described in the Yenipazar Formation, including FA8 (floodplain facies association) (Tables 2 and 6). FA8 refers to the predominance of fine-grained beds with a minor presence of coarse-grained beds.

FA8: The floodplain facies association consists of Gms, Sp, Sfg, M and C facies (Table 6; Figure 14b). The facies association is dominated by gravel stones (facies Gms) with sandy facies (Sp and Sfg), containing gray mudstones (facies M) alternating with lignite and bituminous coal horizons (C) in the lower part of the association (Figure 14b, 16a-c). The gravel stones in FA8, ranging in size from 1 to 5 cm, consist of sub-rounded and rounded clasts of high-grade metamorphic rocks in a calcareous matrix. Bed thickness ranges from 40 cm to 3 meters. The shape and origin of the pebbles in the pebbly sandstones are the same as those in the gravel stones. The fine-grained sandstones (facies Sfg) contain moderately to poorly consolidated, thin to medium bedded, and poorly sorted clastics alternating with mudstones (facies M) and exhibits cross-bedding and laminations. Pedogenic slickensides are abundant in the organic-bearing muddy beds (Figure 15c).

2 There are remains such as floor coverings and pottery at Kaysanlı, a historical area not excavated by archaeologists and located near Sfard or Sardis, the capital of the Lydian Empire in the 6th century BC. Furthermore, 'Kays' represents the protagonist of Majnun Layla, based on the classic love story of Arab legend in ancient Arabia, and is the actual name of Mecnun-i Amiri, named after a small island in the Sea of Oman, 'سَيِّق' in Arabic. 'Anlı' means <a famous person> in Turkish. We think that Majnun may have come here if the legend is true.

Table 6. Dominant facies, facies descriptions and interpretations for the Yenipazar Formation.**Çizelge 6.** Yenipazar Formasyonu'nun baskın fasiyesleri, fasiyes tanımları ve yorumları.

Facies	Description	Interpretation
Gms, matrix-supported gravel stones	Gravel stones with pink and yellow color silty matrix and carbonate cement, matrix-supported, moderately to poorly sorted, polymictic sub-rounded to rounded clasts, normal to reverse grading, erosive-based; dimensions: bed thickness up to 50 cm; lateral extent few tens of meters	Channel fills
Sp, pebbly sandstones	Coarse- and fine-grained sandstones with yellow and pink silty matrix and carbonate cement, matrix-supported, poorly sorted, normal to reverse graded; dimensions: bed thickness up to 1.2 m; lateral extent few tens of meters	Deposits of flash flood/ channel deposits
Sfg, fine-grained sandstones	Fine-grained sandstones, poorly sorted, bedded, laminated; dimensions: bed thickness up to 50 cm; lateral extent few tens of meters	Waning currents in channel
M, mudstones	Mudstones, laminated; dimensions: bed thickness up to 40 cm; lateral extent tens of meters	Overbank
C, lignite and bituminous coals	Coals, dark gray color, laminated; dimensions: bed thickness up to 40 cm; lateral extent less than ten meters	Overbank

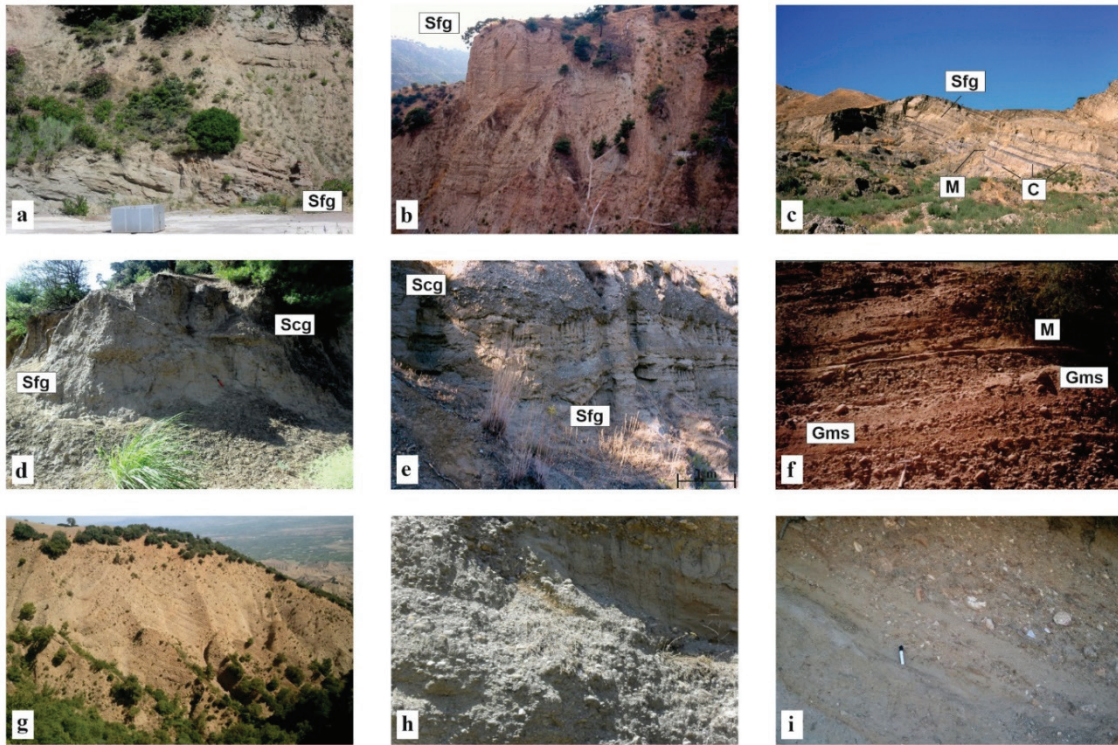


Figure 16. Outcrop views of the Upper Pliocene and the Plio-Quaternary sedimentary rocks of the Alaşehir Graben (photos taken from Şen, 2004; Ağırbaş, 2006). **(a-b)** The Yenipazar Formation contains fine-grained sandstones (facies Sfg). **(c)** The Yenipazar Formation consists mainly of fine-grained sandstones (facies Sfg) and mudstones (facies M) interbeds alternating with lignite and bituminous coal horizons (facies C). **(d-e)** The Erendalı Formation contains fine- and coarse-grained clastics (facies Sfg and Scg). **(f)** There are sub-rounded to rounded clasts (Gms), lacking cataclastic rocks of the Alaşehir detachment fault, in the Erendalı Formation. **(g)** The Asartepe Formation forms a series of sharp ridges, **(h)** and consists of angular to rounded clasts of older rocks including cataclastic rocks **(i)**.

Şekil 16. Alaşehir Grabeni'nin Üst Pliyosen ve Pliyo-Kuvaterner tortul kayaçlarının mostra görünüşleri (Şen, 2004; Ağırbaş, 2006'dan alınan fotoğraflar). **(a-b)** Yenipazar Formasyonu ince-taneli kumtaşları (Sfg fasiyesi) içerir. **(c)** Yenipazar Formasyonu esas olarak linyit ve bitümlü kömür horizonlarıyla (C fasiyesi) ardalanmalı ince-taneli

kumtaşları (Sfg fasiyesi) ve çamurtaşları (M fasiyesi) ara katmanlarından oluşur. **(d-e)** Ereğalı Formasyonu ince- ve kaba-taneli kırıntılıları (Sfg ve Scg fasiyesi) içerir. **(f)** Ereğalı Formasyonu'nda Alaşehir sıyrılma fayının kataklastik kayaçlarından yoksun, yarı-yuvarlak ila yuvarlaklaşmış kırıntılılar (Gms) bulunur. **(g)** Asartepe Formasyonu bir dizi keskin sırt oluşturur **(h)** ve kataklastik kayaçlar **(i)** dahil olmak üzere daha eski kayaçların köşeli ila yuvarlak parçalarından oluşur.

Interpretation

The presence of lignite and bituminous coal horizons in the Yenipazar Formation suggests that the depositional environment of this unit is lacustrine, as suggested by some researchers (e.g., İztan and Yazman, 1990). However, the presence of sub-rounded and rounded clasts of conglomerates and laminations in the sandstone-conglomerate interbeds and pedogenic slickensides in the mudstone beds indicates that the depositional setting is a floodplain. It is noted that the sandstone-conglomerate levels in this pile are channel deposits and the peat levels are overbank deposits. This means that it is an extension of the Göbekli Formation.

Eređalı Formation

The Ereğalı Formation is exposed in Ereğalı Hill in the southeast of the Salihli area (Figure 3). The thickness of the Ereğalı Formation is 116 m from the measured stratigraphic log in Ereğalı Hill (Figure 14c), although its maximum thickness was estimated to be ~250 m based on B-B' cross-section (Figure 4; Şen, 2004). Four lithofacies are defined in the Ereğalı Formation, including FA9 (floodplain facies association) (Tables 2 and 7). FA9 refers to the predominance of coarse- and fine-grained sandy beds with a minor presence of coarse-grained beds.

FA9: The floodplain facies association is composed of Gms, Sfg, Scg and M facies (Table 7; Figure 14b). The facies association is dominated by gravel stones (facies Gms) with sandy facies (Sfg and Scg) alternating with muddy beds (facies M) (Figure 8d-e). The gravel stones in FA9 consist of sub-rounded and rounded older clasts. The clasts range in size from 1 to 30 cm. The thickness of the beds ranges from 20 cm to 1 m. Coarse- and fine-grained sandstones (facies Sfg and Scg) are moderately to poorly sorted, thin- to medium-bedded. They have normal-reverse grading and laminations (Figures 14c, 16e-f).

Table 7. Dominant facies, facies descriptions and interpretations for the Eređalı Formation.

Çizelge 7. Ereğalı Formasyonu'nun baskın fasiyesleri, fasiyes tanımları ve yorumları.

Facies	Description	Interpretation
Gms, matrix-supported gravel stones	Gravel stones with pink and yellow silty matrix and carbonate cement, matrix-supported, moderately to poorly sorted, polymictic sub-rounded to rounded clasts, normal to reverse grading, erosive base; dimensions: bed thickness up to 40 cm; lateral extent few tens of meters	Channel fills
Sfg, fine-grained sandstones	Fine-grained sandstones, poorly sorted, cross-bedded, laminated; dimensions: bed thickness up to 20 cm; lateral extent few tens of meters	Deposits of flash flood/channel deposits
Scg, coarse-grained sandstones	Coarse-grained sandstones, poorly sorted, normal and reverse graded, cross-bedded, laminated; dimensions: bed thickness up to 50 cm; lateral extent few tens of meters	Channel deposits
M, mudstones	Mudstones, laminated; dimensions: bed thickness up to 20 cm; lateral extent tens of meters	Muddy channel

Interpretation

FA9 forms coarse- and fine-grained beds representing a repetitive succession and this association is indicative of floodplain deposition. It is noticeable that the Erendalı Formation continues as successive packages and a monotonous sequence like the Göbekli and Yenipazar Formations. Therefore, the Erendalı Formation is part of the fluvial channel-fills of the Göbekli Formation in the floodplain.

Asartepe Formation

A measured stratigraphic log could not be made for the Asartepe Formation. This is because it forms sharp ridges in the study area. Its maximum thickness was estimated to be ~600 m based on A-A', C-C', D-D' and E-E' cross-sections (Figures 4 and 16g-h; Şen, 2004; Ağırbaş, 2006).

The Asartepe Formation consists of massive to poorly bedded, poorly sorted, clast-supported, yellow conglomerate with medium- to coarse-grained sandstone-siltstone beds. The conglomerate is clast-supported, with pebbles and boulders ranging from 5 mm to 40 cm in a calcareous matrix. The clasts range in size from 5 mm to 40 cm. The deposit is pebbly in the upper and lower parts (Figure 16g-h).

Interpretation

The presence of pebble imbrications, angular to rounded clasts and thin sandstone layers above the conglomerate proves that the depositional setting was a fluvial-controlled alluvial fan under the control of Plio-Quaternary normal faults instead of the ADF. This is because the size of the clasts in the detachment fault cataclastic rocks is relatively small compared to the sizes in the Miocene units (Figure 8i).

DISCUSSION

The sequences in the Alaşehir Graben consist of well-developed sedimentary rocks that extend from the Miocene to the Plio-Quaternary without any unconformities³ (Figure 2; Emre, 1996; Şen et al., 2024). The Miocene sequence consists of three packages, including the lacustrine deposits known as the Gerentaş-Kaypaktepe Formations and the fluvial-alluvial deposits known as the Acidere Formation, while the Plio-Quaternary sequence represents the fluvial-alluvial deposits known as the Asartepe Formation (Figure 2; Şen, 2004; Ağırbaş, 2006; Şen et al., 2024). If Gölarmara Lake in the Salihli-Alaşehir Plain outside the study area is included, the Miocene and Plio-Quaternary sedimentary rocks in the Alaşehir Graben were deposited in similar depositional environments, including lacustrine, fluvial and alluvial-fan depocenters. They are separated from each other by floodplain deposits, which have a monotonous sequence and ages from the Upper Miocene to the Upper Pliocene (e.g., Emre, 1996; Purvis and Robertson, 2005). The floodplain deposits in the study area are represented by the Göbekli, Yenipazar and Erendalı Formations (Figures 12, 13 and 14).

The Acidere Formation, which was deposited in fluvial and alluvial fan depocenters under the control of the ADF and its synthetic and antithetic faults, passes conformably into the Göbekli Formation (Emre, 1996; Şen et al., 2024) (Figure 2). The lower parts of the Göbekli Formation, comprising the first 140 meters, form the alluvial-fan and fluvial deposits under the control of the

3 No significant unconformity was observed in this study, although some previous studies indicated the presence of one. This may be due to local depositional variations or different structural interpretations. Some researchers claim that there are discordance planes between the Pliocene and Plio-Quaternary successions in the Alaşehir Graben (Yılmaz et al., 2000; Seyitoğlu et al., 2002; Bozkurt and Sözbilir, 2004; Öner and Dilek, 2011, 2013; Seyitoğlu and Işık, 2015). However, the Göbekli Formation is conformably covered by the Yenipazar Formation, which has a gradual transition to the Asartepe Formation (Şen et al., 2024, Figure 7b, e, page of 29).

ADF and its synthetic and antithetic faults (Figure 12). There are three reasons for this view. The shapes of the clasts in the blocky conglomerates and pebbly sandstones are angular to sub-angular (Figures 12–14 and 15d-e-f). In this part of the deposit, the size of the clasts in the lower levels is relatively small compared to the sizes in the upper levels (Figure 15e-f). There are clasts of cataclastic rocks from the ADF (Figure 15d-e). After this level, the Göbekli Formation becomes a monotonous sequence without any tectonic activity of the ADF. There are four reasons why this point of view is important. The deposit continues as successive packages (Figures 12, 13, 14a and 15a-b). There are repeated erosional base structures over fine-grained sandstone beds, and the shape of the clasts is sub-rounded and rounded in the coarse-grained clastics, and no angular clasts come from the cataclastic rocks of the ADF (Figure 15g, i). The Göbekli Formation was therefore deposited without tectonic control, except for the first 140 meters. The presence of erosional base structures on fine-grained clastics in a repetitive monotonous sequence proves that the Göbekli Formation was deposited on a floodplain after the first 140 meters. Therefore, the beds in the coarse- and fine-grained clastic intercalations of the Göbekli Formation, except for the first 140 meters, represent the channel deposits of braided streams, and the fine-grained clastics in this fill also represent overbank deposits in the floodplain depocenter.

Öner and Dilek (2011, 2013) reported that the variability in thickness of the Göbekli Formation is associated with NNE-SSW trending scissor or hinge faults, which control the deposition of the sequence in the southern margin of the Alaşehir Graben. However, there are no structural data such as planes, slickensides and grooves of scissor-hinge faults, which have an oblique-slip component, along the bottoms and slopes of NNE-SSW trending valleys (Şen, 2004; Ağırbaş, 2006; Şen and Ağırbaş, 2012;

Ağırbaş and Şen, 2012; Şen et al., 2024). These faults are small reverse faults that do not cut the Göbekli-Yenipazar-Erendalı Formations, and they represent extensional structures formed by layer-parallel shortening during the Miocene (Şen et al., 2024). Furthermore, this view is contradicted by the depositional record of the Göbekli Formation (Figures 12, 13 and 14a). This is because the clasts in the Göbekli Formation are sub-rounded and rounded, except for the first 140 meters where sedimentation was controlled by the ADF and its synthetic and antithetic faults (Figure 12). Deposits thin or thicken away from channel edges depending on local floodplain morphology, and floodplain deposits are not observed with the same thickness everywhere due to differences in topography between channel-bars and -fills in this depocenter (Willis and Behrensmeier, 1994). Bed splays exhibit either upward-coarsening or upward-fining fills (Smith and Perez-Arlucea, 1994). Thus, the change in thickness of the Göbekli Formation depends on the difference in topography between the channel-bars and -fills in the floodplain (Figure 12–14a).

The Yenipazar Formation is defined as a lacustrine sequence based on fine-grained clastic sedimentary rocks intercalated with lignite and bituminous coal horizons and medium- to thick-bedded organic clay layers and pedogenic slickensides in the mudstone beds (e.g., İztan and Yazman, 1990; Yılmaz et al., 2000; Purvis and Robertson, 2005; Öner and Dilek, 2011, 2013). However, tabular deposits of clay, silt and organic particulates fill flood-basin depressions (Figure 14b). Water levels fluctuated seasonally and smectitic clays are present and pedogenic slickensides are abundant in the depocenter. In contrast, perennial saturation and low levels of clastic input led to widespread peat and coal formation (Flores, 1981). Therefore, these depositional environments are often erroneously defined as lacustrine depocenters (Farrell, 1987; Gerard, 2003). Floodplain deposits provide

a monotonous sequence and are depositional settings that occur during a period of tectonic quiescence (e.g., Kraus, 1999). Thus, the Yenipazar Formation overlying the Göbekli Formation is part of the floodplain deposits (Figure 14b). This is because the fill is as monotonous as the Göbekli Formation (Figures 12, 13 and 14b). If the Yenipazar Formation were a lake sequence, it should have the lithological characteristics of the Gerentaş-Kaypaktepe Formations, which are Early-Middle Miocene sequences in the Alaşehir Graben as shown in Figure 6a-b. Additionally, the Yenipazar Formation is part of the overbank deposits in the Göbekli Formation and the Erendalı Formation forms the channel-fills of braided streams in the Yenipazar Formation based on their sedimentological features (Figure 14b-c).

The Miocene to Late Pliocene sequence in the Alaşehir Graben was deposited during activity on the ADF, according to Seyitoğlu et al. (2002). But the sedimentological record of the deposits shows that the ADF and its synthetic and antithetic faults became inactive shortly after the deposition of the Göbekli Formation (Figure 12–14). Two important structural data sets supporting this event are available in the Alaşehir Graben. (a) The synthetic and antithetic faults belonging to the ADF do not cut the floodplain deposits consisting of the Göbekli, Yenipazar and Erendalı Formations (Figures 3 and 4; Şen et al., 2024). Experimental studies showed that when normal faulting occurs deep in the earth, traces of faulting, such as fault plane or surface ruptures, are not visible on the surface (Oertel, 1965). Therefore, traces of these faults may not be observed in these formations. However, if there was faulting at depth in the earth during the time of their formation, then materials from sudden debris flows from high morphology areas on the surface into the basin should be present in these units, and a scatter in the geometry of the clasts in these materials is expected. However, both the size and geometry of the clasts are uniform across the units (Table 5, 6, 7). (b) Small-scale reverse

faults cutting the Lower-Upper Miocene fills in the papers of Öner and Dilek (2011, 2013) represent extensional structures formed by layer-parallel shortening and they are not observed in the post-Miocene fills (Şen et al., 2024). This means that these structures were formed in the early to late Miocene, which corresponds to the period when the ADF was active.

In summary, the most recent period of tectonic activity on the ADF and its synthetic and antithetic faults was in the Late Miocene (c. 6-5.5 Ma), as stated by Lips et al. (2001) (Şen et al., 2024). This corresponds to recent movement of the detachment faults in the Rhodope, Kazdağ, Çataldağ, Uludağ, Menderes and Cycladic metamorphic core complexes (c. 12-6 Ma; U-Th/He zircon and apatite ages, Thomson and Ring, 2006; Okay et al., 2008; Cavazza et al., 2009; Kounov et al., 2015; Wölfler et al., 2017; Heineke et al., 2019; Altunkaynak et al., 2021; Lamont et al., 2023). The recent movement of the detachment faults controlling the core complexes becomes progressively younger from north to south (Figure 1a). The reason for this is probably that the Arabian continent collided with Anatolia in the latest Middle-earliest Late Miocene (Serravallian-Tortonian transition), and the Anatolian Block escaped westward along a larger displacement zone called the “North Proto-Anatolian Transform” by Dewey and Şengör (1979). When Western Anatolia is divided into northern and southern sectors (Figure 1a), this effect is seen immediately in the northern sector (c. 12-10 Ma), whereas it occurs over time in the southern sector (c. 6-5.5 Ma). In other words, the effect of the westward escape of the Anatolian Block lasted ~6-4 million years from the northern sector to the southern sector in Western Anatolia. It is clear from the literature that volcanism ceased during this period, as did tectonism in the region (see the papers of Helvacı et al., 2009, page of 183; Ersoy et al., 2012, page of 380) (Figure 1b). The change in the paleo-position of the subducting African oceanic lithosphere may have

been responsible for the cessation of tectonism and volcanism during the Late Miocene to Late Pliocene.

There are literature reports that the most recent movement of the ADF was in the Pliocene. The first of these reports is Early Pliocene (c. 4.5 ± 1.0 Ma; Th-Pb monazite, Catlos and Çemen, 2005). However, it could be either Late Miocene or Late Pliocene due to the high margin of error. According to the stratigraphic logs measured in this paper, the Upper Miocene-Lower Pliocene Göbekli Formation shows that the unit was deposited without any tectonic activity except for the first 140 meters (Figure 12-13-14a). This is evidenced by the fact that the clasts in the unit after the first 140 meters are round and semi-round (Figure 12-13-14a). In the Mississippi Basin, which is shaped by active tectonics (Cox et al., 2000), current clasts are round and sub-rounded. However, these clasts have acquired this geometry by being transported for approximately 3750 km (Bentley et al., 2016). The distance between the Göbekli Formation and the ADF in the Alaşehir Graben varies between 500 meters and 1 km (Figure 3). This means that the clasts of the Göbekli Formation were not deposited after transport over long distances. Thus, this radiometric age, with a high margin of error, probably represents the Late Miocene. This is because it coincides with the age of Lips et al. (2001), which is equivalent to with the recent frictional time of the ADF, and explains why the geometry of the clasts in the first 140 meters of the Göbekli Formation is angular and sub-angular. Besides, the Pliocene ages (4 Ma, K-Ar whole rock) obtained by Hetzel et al. (2013) are not supported in the data set (3.5-2.0 Ma, apatite and zircon fission track) of Buscher et al. (2013) (see Seyitoğlu et al. (2014) for a detailed review; Table 1, pages of 485-486). In other words, whole-rock ages obtained with the K-Ar dating method are not reliable for use today. Buscher et al. (2013) do not have 4 Ma data sets.

Plio-Quaternary thermal ages (c. 3.10-1.75 Ma, apatite fission track, Gessner et al., 2001; c. 3.50-0.80 Ma, apatite fission track and c. 3.5-2.0 Ma, zircon fission track, Buscher et al., 2013) indicate that the footwall and hanging wall of the ADF were exhumed under the control of Plio-Quaternary high-angle normal faults (Şen et al., 2024). Depositional records in the Asartepe Formation support the Plio-Quaternary thermal ages, corresponding to angular to rounded clasts, including high-grade metamorphic rocks of the Menderes Massif and cataclastic rocks of the ADF.

Overall, Miocene sedimentation took place under the control of the ADF and its synthetic and antithetic faults, and the Plio-Quaternary high-angle normal faults controlled the Plio-Quaternary sedimentation. They are separated from each other by floodplain deposits, which represent a period of tectonic quiescence during the late Miocene to late Pliocene. This suggests a two-stage rifting model, without contraction phases, during the Late Miocene to Late Pliocene (Bozkurt and Sözbilir, 2004; Şen et al., 2024).

CONCLUSION

In this paper, we presented measured stratigraphic logs of Miocene-Pliocene sedimentary rocks from the southern margin of the Alaşehir Graben from studies by Şen (2004) and Ağırbaş (2006), which allow us to explain the termination of the tectonic activity of the Alaşehir Detachment Fault.

The sedimentary rocks in the Alaşehir Graben are divided into three sequences, including the Lower-Upper Miocene (Gerentaş, Kaypaktepe and Acidere Formations), the Upper Miocene-Upper Pliocene (Göbekli, Yenipazar and Erendalı Formations) and the Plio-Quaternary successions (Asartepe Formation). The Miocene and Plio-Quaternary successions were deposited in similar depocenters, including lacustrine, fluvial and alluvial-fan environments. They are separated

by floodplain deposits, which are monotonous in sequence and range in age from Upper Miocene to Upper Pliocene. The floodplain deposits on the southern margin of the Alaşehir Graben include the Göbekli, Yenipazar and Erendalı Formations. The floodplain deposits are a monotonous sequence that repeats itself and is not tectonically mobile after the first 140 meters from the stratigraphic bottom based on sub-rounded to rounded clasts of cataclastic rocks belonging to the Alaşehir detachment fault. They represent a period of tectonic quiescence during the Late Miocene to Late Pliocene, thus indicating the termination of the tectonic activity on the Alaşehir Detachment Fault during the Late Miocene.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Alaşehir Grabeni'nin güney kenarı, aynı gerilmeli rejim içerisindeki sünek ve kırılğan kataklastik kayalar içeren Alaşehir Sıyrılma Fayı ile sınırlanmıştır (Işık vd., 2003; Şen vd., 2024). Bu sıyrılma fayı, Turgutlu'dan Alaşehir'e kadar yaklaşık 150 km boyunca yüzeylenmiş (Emre, 1996; Işık vd., 2003) ve kuzeye düşük bir açı (10^0 - 30^0) ile eğimli olan yüzeydir (Çemen vd., 2005; Şen vd., 2024). Alaşehir Sıyrılma Fayının tektonik aktivitesinin sonlanmasını yorumlayan iki temel görüş vardır. Birincisi, fayın son hareketinin, Pliyo-Kuvaterner yüksek açılı normal faylar tarafından kesilmiş olması gerçeğine dayanarak Geç Miyosen'de sona erdiği (Bozkurt ve Sözbilir, 2004; Şen vd., 2024). Diğer görüş ise, Alaşehir sıyrılma fayına ait kataklastik kayalardan elde edilen yüzeylenme yaşlarına dayanarak tektonik aktivitesinin Pliyo-Kuvaterner'e kadar devam ettiğidir (Seyitoğlu vd., 2002; Seyitoğlu ve Işık, 2015).

Bu makale, bu tartışmaya katkıda bulunmak için Salihli ve Alaşehir bölgelerindeki Alaşehir Sıyrılma Fayının tavan bloğundaki Neojen tortul kayalarının ölçülü stratigrafik kesitlerini Alaşehir Sıyrılma Fayı'na ait kataklastik kayalarının ve Menderes Masifi'nin yüksek dereceli metamorfik

kayaçlarına ait çakıl ve blokların küreselliği esasına göre rapor edilmektedir. Sedimentolojik kayıtlar, Alaşehir Grabeni'nin güney kenarında 2003 yaz döneminde üç ay süren Şen (2004) ve Ağırbaş (2006) tarafından yapılan iki bitirme tezine aittir.

Yapılan ölçülü stratigrafik kesitlere göre, Alaşehir Grabeni'nin güney kenarının sedimentasyon evrimi Erken-Geç Miyosen, Geç Miyosen-Geç Pliyosen ve Pliyo-Kuvaterner dönemi olarak ayrılır. Erken-Geç Miyosen ve Pliyo-Kuvaterner dönemleri göl, akarsu ve alüvyal yelpaze ortamları olmak üzere benzer sedimentasyon ortamları ile temsil edilir. Bu iki dönem taşkın yatağı sedimentasyon ortamını temsil eden Geç Miyosen-Geç Pliyosen zamanı ile ayrılmaktadır. Taşkın yatağı çökelleri, Alaşehir Sıyrılma Fayı'na ait kataklastik kayaların yarı-yuvarlak ve yuvarlak kırıntılarına dayanarak stratigrafik tabandan itibaren ilk 140 metreden sonra tektonik olarak hareketli olmayan ve kendini tekrarlayan monoton bir istiftir. Bunlar, Geç Miyosen-Geç Pliyosen zamanında oluşan tektonik sessizlik dönemini temsil eder ve Alaşehir Sıyrılma Fayı'ndaki tektonik aktivitenin Geç Miyosen döneminde sonlandığını gösterir.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is part of two BSc theses (Şen, 2004; Ağırbaş, 2006). The geologist Hakan Ağırbaş, who has left the earth sciences, gave his permission to publish his theses in this study with other researchers. The corresponding author would like to thank T. Ustaömer of İstanbul University for his thoughtful review and constructive comments during the preparation of the thesis. He would also like to thank the people of the villages of Yenipazar and Alkan in Salihli and Alaşehir for their help during the fieldwork. We thank the Editor-in-Chief, E. Yiğitbaş, and five anonymous reviewers for their thoughtful review and constructive criticism of our manuscript.

DECLARATIONS

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Fatih Şen  <https://orcid.org/0000-0002-9227-6324>

Serdal Karaağaç  <https://orcid.org/0000-0002-2458-3269>

REFERENCES

- Ağırbaş, H. (2006). *Alkan köyü (Alaşehir) ve yakın çevresinde Gediz grabeni' nin stratigrafisi ve yapısal özellikleri* [B.Sc. thesis]. İstanbul, İstanbul University, (in Turkish), 115 pp.
- Ağırbaş H. & Şen, F. (2012). Neogene-Quaternary stratigraphy and tectonics of Alaşehir graben, Western Anatolia. *International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, Proceedings* (pp:38), 1-5 October 2012, İzmir, Turkey.
- Akbayram, K., Şengör, A.M.C. & Özcan, E. (2016). The evolution of the Intra-Pontide suture: implications of the discovery of late Cretaceous–early Tertiary melanges. *Geological Society of America Special Papers*, 525, SPE525-18.
- Altunkaynak, Ş., Ünal, A., Sunal, G., Kamacı, Ö. & Dunkl, I. (2021). Miocene uplift and exhumation history of northwestern Anatolia (Turkey): Implications from apatite (U-Th)/He thermochronology of syn-extensional plutons. *Journal of Asian Earth Sciences*, 213, Article104770. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2021.104770>
- Arpat, E. & Bingöl, E. (1969). The rift system of western Turkey: Thoughts on its development. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute*, 75, 1-9.
- Baes, M., Govers, R. & Wortel, R. (2011). Subduction initiation along the inherited weakness zone at the edge of a slab: Insights from numerical models. *Geophysical Journal International*, 184(3), 991–1008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04896.x>
- Bentley, S. J., Blum, M. D., Maloney, J., Pond, L. & Paulsell, R. (2016). The Mississippi River source-to-sink system: Perspectives on tectonic, climatic, and anthropogenic influences, Miocene to Anthropocene. *Earth-Science Reviews*, 153, 139–174. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.11.001>
- Biryol, C. B., 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, 1037–1057. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04910.x>
- Bozkurt, E. (2000). Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications. In E. Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.D.A (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, Geological Society, London, Special Publications 173, 385–403.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta* 14, 3–30. [https://doi.org/10.1016/S0985-3111\(01\)01066-X](https://doi.org/10.1016/S0985-3111(01)01066-X)
- Bozkurt, E. (2003). Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 14, 61–81.
- Bozkurt, E. & Park, R. G. (1994). Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey. *Journal of the Geological Society, London*, 151, 213–216.
- Bozkurt, E. & Sözbilir, H. (2004). Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two extension in western Turkey. *Geological Magazine* 141, 63–79. <https://doi.org/10.1017/S0016756803008379>
- Bozkurt, E. & Rojay, B. (2005). Episodic, two-stage Neogene extension and short-term intervening compression in Western Turkey: field evidence from the Kiraz Basin and Bozdağ Horst. *Geodinamica Acta* 18, 299–316.
- Bølviken, B., Bogen, J., Jartun, M., Langedal, M., Ottesen, R. T. & Volden, T. (2004). Overbank sediments: a natural bed blending sampling medium for large—scale geochemical mapping. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 74 (2004), 183 – 199.
- Buscher, J.T., Hampel, A., Hetzel, R., Dunkl, I., Glotzbach, C., Struffert, A., Akal, C. & Ratz, M. (2013). Quantifying rates of detachment faulting and erosion in the central Menderes massif

- (western Turkey) by thermochronology and cosmogenic ^{10}Be . *Journal of Geological Society London*, 170, 669–683. <https://doi.org/10.1144/jgs2012-132>
- Candan, O., Dora, O., Oberhänsli, R., Çetinkaplan, M., Partzsch, J., Warkus, F. & Dürr, S. (2001). Pan-African high-pressure metamorphism in the Precambrian basement of the Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 793–811. <https://doi.org/10.1007/s005310000097>
- Catlos, E. J. & Çemen, İ. (2005). Monazite ages and rapid exhumation of the Menderes Massif, western Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 204 – 217. <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0470-7>
- Catlos, E. J., Baker, C., Sorensen, S. S., Çemen, İ. & Hançer, M. (2010). Geochemistry, geochronology and cathodoluminescence imagery of the Salihli and Turgutlu granites (Central Menderes Massif, western Turkey): Implications for Aegean tectonics. *Tectonophysics*, 488(1-4), 110–130. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.001>
- Cavazza, W., Okay, A. I. & Zattin, M. (2009). Rapid early middle Miocene exhumation of the Kazdağ Massif (western Anatolia): *International Journal of Earth Sciences*, 98, 1935–1947. <https://doi.org/10.1007/s00531-008-0353-9>
- Cohen, H. A., Dart, C. J., Akyüz, H. S. & Barka, A. (1995). Syn-rift sedimentation and structural development of the Gediz and Büyük Menderes Graben, western Turkey. *Journal of the Geological Society*, 152, 629–638. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.152.4.0629>
- Cox, R. T., van Arsdale, R. B., Harris, J. B., Forman, S. L., Beard, W. & Galluzzi, J. (2000). Quaternary faulting in the southern Mississippi embayment and implications for tectonics and seismicity in an intraplate setting. *GSA Bulletin* 112, 1724–1735. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2000\)112%3C1724:QFITS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2000)112%3C1724:QFITS%3E2.0.CO;2)
- Çemen, İ., Göncüoğlu, M. C. & Dirik, K. (1999). Structural evolution of the Tuzgölü basin in Central Anatolia, Turkey. *Journal of Geology*, 107, 693–706, <https://doi.org/10.1086/314379>.
- Çemen, İ., Tekeli, O., Seyitoğlu, G. & Işık, V. (2005). Are turtleback fault surfaces common tectono-morphologic features of highly extended terranes?. *Earth Science Reviews*, 73, 139–148, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.07.001>
- Çemen, İ., Catlos, E. J., Göğüş, O. & Özerdem, C. (2006). Postcollisional extensional tectonics and exhumation of the Menderes massif in the Western Anatolia extended terrane. In Dilek, Y. & Pavlides, S. (Eds.) *Postcollisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia. Geological Society of America Special Paper*, 409, 353–379. [https://doi.org/10.1130/2006.2409\(18\)](https://doi.org/10.1130/2006.2409(18))
- Çiftçi, N. B. & Bozkurt, E. (2008). Folding of the Gediz Graben fill, SW Turkey: extensional and/or contractional origin?. *Geodinamica Acta*, 21, 145–167. <https://doi.org/10.3166/ga.21.145-167>
- Çiftçi, N. B. & Bozkurt, E. (2009). Evolution of the Miocene sedimentary fill of the Gediz Graben, SW Turkey. *Sedimentary Geology*, 216(3-4), 49–79. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2009.01.004>
- Çiftçi, N. B. & Bozkurt, E. (2010). Structural evolution of the Gediz Graben, SW Turkey temporal and spatial variation of the graben basin. *Basin Research*, 22, 846–873. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2009.00438.x>
- Dewey, J. F. & Şengör, A. M. C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuous tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, 90, 84–92.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Kaya, O., Koralay, E. & Dürr, S. (2001). Revision of “Leptite-gneisses” in the Menderes Massif: a supracrustal metasedimentary origin. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 836–851. <https://doi.org/10.1007/s005310000102>
- Dunbar, C. O. & Rodgers, J. (1957). *Principles of Stratigraphy*. John Wiley and Sons (Chapman and Hall), London, 1957.
- Ediger, V., Batı, Z. & Yazman, M. (1996). Palynology of possible hydrocarbon source rocks of the Alaşehir- Turgutlu area in the Gediz graben (western Anatolia). *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 8, 94–112.
- Edwards, M. A. & Grasemann, B. (2009). Mediterranean snapshots of accelerated slab retreat: subduction instability in stalled continental collision. In van Hinsbergen D. J. J., Edwards M. A. & Govers,

- R. (Eds.), *Collision and collapse at the Africa-Arabia-Eurasia subduction zone. The Geological Society, London, Special Publication, 311*, 155–192
- Elitez, İ., Yaltırak, C. & Sunal, G. (2018). A new chronostratigraphy (⁴⁰Ar-³⁹Ar and U-Pb dating) for the middle section of the Burdur-Fethiye Shear Zone, SW Turkey (eastern Mediterranean). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 27(5), Article 4. <https://doi.org/10.3906/yer-1803-14>
- Elmas, A., Koralay, E., Duru, O. & Schmidt, A. (2016). Geochronology, geochemistry, and tectonic setting of the Oligocene magmatic rocks (Marmaros Magmatic Assemblage) in Gökçeada Island, northwest Turkey. *Journal International Geology Review*, 59(4), 420-447. <https://doi.org/10.1080/00206814.2016.1227941>
- Emre, T. (1996). Geology and tectonics of Gediz Graben. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 171–185.
- Emre, T. & Sözbilir, H. (2007). Tectonic evolution of the Kiraz Basin, Küçük Menderes Graben: evidence for compression/uplift-related basin formation overprinted by extensional tectonics in West Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences* 16, 441–470.
- Erdoğan, B. & Güngör, T. (2004). The problem of the core-cover boundary of the Menderes massif and an emplacement mechanism for regionally extensive gneissic granites, western Anatolia (Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences* 13(1), 15-36. <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol13/iss1/2>
- Ersoy, Y. E., Helvacı, C. & Palmer, M. R. (2012). Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE–SW-trending basins in western Anatolia, Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163, 379–401. <https://doi.org/10.1007/s00410-011-0679-3>
- Espurt, N., Hippolyte, J. C., Kaymakçı, N. & Sangu, E. (2014). Lithospheric structural control on inversion of the southern margin of the Black Sea Basin, Central Pontides, Turkey. *Lithosphere*, 6(1), 26-34. <https://doi.org/10.1130/L316.1>
- Eyidoğan, H. & Jackson, J. (1985). A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969–70 in western Turkey: Implication for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 81, 569–607.
- Faccenna, C., Jolivet, L., Piromallo, C. & Morelli, A. (2003). Subduction and the depth of convection of the Mediterranean mantle. *Journal of Geophysical Research*. 108(B2), 2099. <http://dx.doi.org/10.1029/2001JB001690> .
- Faccenna, C., Bellier, O., Martinod, J., Piromallo, C. & Regard, V. (2006). Slab detachment beneath eastern Anatolia: a possible cause for the formation of the North Anatolian Fault. *Earth and Planetary Science Letters*, 242(1-2), 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.11.046>
- Faccenna, C., Becker, T.W., Jolivet, L. & Keskin, M. (2013). Mantle convection in the middle East: reconciling Afar upwelling, Arabia indentation and Aegean trench rollback. *Earth and Planetary Science Letters*, 375, 254–269. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.05.043>
- Farrell, K. M. (1987). Sedimentology and facies architecture of overbank deposits of Mississippi River, False River region, Louisiana. In Ethridge F. G, Flores R. M. & Harvey M. D. (Eds.), *Recent developments in fluvial sedimentology, Soc Econ Paleontol Mineral Spec Publ*, 39, 111-120. <https://doi.org/10.2110/pec.87.39.0111>
- Fisk, H. N. (1947). *Fine-grained alluvial deposits and their effects on Mississippi River activity*. Waterways Experiment Station (U.S.), and United States, Mississippi River Commission, Vicksburg, Mississippi, 82 p.
- Flores, R. M. (1981). Coal deposition in fluvial paleoenvironments of the Paleocene Tongue River Member of the Fort Union Formation, Powder River area, Powder River Basin, Wyoming and Montana. In F.G. Ethridge & R.M. Flores (Eds.), *Recent and Ancient Nonmarine Depositional Environments--Models for Exploration. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.*, 31, 169-190.
- Gans, C. R., Beck, S. L., Zandt, G., Biryol, C. B. & Özacar, A. A. (2009). Detecting the limit of slab break-off in central Turkey: new high resolution Pn tomography results. *Geophysical Journal International*, 179(3), 1566–1577. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04389.x>

- Gerard, V. M. (2003). *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*. Cornwall, Kluwer Academic Publishers.
- Gessner, K. (2000). *Eocene Nappe Tectonics and Late-Alpine Extension in the Central Anatolide Belt, Western Turkey-Structure, Kinematics and Deformation History* [Ph.D thesis]. Johannes Gutenberg University Earth Sciences Department, Mainz, Germany.
- Gessner, K., Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R., Passchier, C. W. & Güngör, T. (2001). An active bivergent rolling hinge detachment system: Central Menderes metamorphic core complex in western Turkey. *Geology* 29, 611-614. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<0611:AABRH D>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0611:AABRH D>2.0.CO;2)
- Gessner, K., Gallardo, L.A., Markwitz, V., Ring, U. & Thomson, S.T. (2013). What caused the denudation of the Menderes massif: review of crustal evolution, lithosphere structure, and dynamic topography in southwest Turkey. *Gondwana Research*, 24(1), 243–274. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2013.1001.1005>
- Glodny, J. & Hetzel, R. (2007). Precise U–Pb ages of syn-extensional Miocene intrusions in the central Menderes Massif, western Turkey. *Geological Magazine* 144, 235-246. <https://doi.org/10.1017/S0016756806003025>
- Govers, R. & Wortel, M. J. R. (2005). Lithosphere tearing at STEP faults: Response to edges of subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 236(1–2), 505–523. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.03.022>
- Gürer, A., Gürer, Ö.F., Pinçe, A. & Ilkisik, O.M. (2001). Conductivity structure along the Gediz graben, west Anatolia, Turkey: Tectonic implications: *International Geology Review*, 43, 1129-1144. <https://doi.org/10.1080/00206810109465065>
- Heineke, C., Hetzel, R., Nilius, N.P., Zwingmann, H., Todd, A., Mulch, A., Wölfler, A., Glotzbach, C., Akal, C., Dunkl, I. & Raven, M. (2019). Detachment faulting in a bivergent core complex constrained by fault gouge dating and low-temperature thermochronology. *Journal of Structural Geology*, 127, Article 103865. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.103865>
- Helvacı, C., Ersoy, E.Y., Sözbilir, H., Erkül, F., Sümer, Ö. & Uzel, B. (2009). Geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: implications for amphibole-bearing lithospheric mantle source, western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 185(3), 181–202. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.05.016>
- Hetzel, R., Passchier, C. W., Ring, U. & Dora, Ö. O. (1995). Bivergent extension in orogenic belts: the Menderes massif (southwestern Turkey). *Geology* 23, 455–458.
- Hetzel, R., Zwingmann, H., Mulch, A., Gessner, K., Akal, C., Hampel, A., Güngör, T., Petschick, R., Mikes, T. & Wedin, F. (2013). Spatiotemporal evolution of brittle normal faulting and fluid infiltration in detachment fault systems: a case study from Menderes massif, western Turkey. *Tectonics*, 32(3) 364-376. <https://doi.org/10.1002/tect.20031>
- Hippolyte, J.C., Müller, C., Kaymakçı, N. & Sangu, E. (2010). Dating of the Black Sea Basin: new nannoplankton ages from its inverted margin in the Central Pontides (Turkey). In Stephenson, R.A., Kaymakçı, N., Sosson, M., Starostenko, V., Bergerat, F. (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. London, UK: Geological Society London Special Publications, 113-136.
- Işık, V., Seyitoğlu, G. & Çemen, İ. (2003). Ductile-brittle transition along the Alaşehir detachment fault and its structural relationship with the Simav detachment fault, Menderes Massif, western Turkey. *Tectonophysics* 374, 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00275-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00275-0)
- İzitan, H. & Yazman, M. (1990). Geology and hydrocarbon potential of the Alaşehir (Manisa) area, western Turkey. In Savaşçın, M. Y. & Eronat, A. H. (Eds.), *Proceedings International Earth Sciences Congress Aegean Region 1990*, Izmir, pp. 327– 333.
- Jackson, J. A. & McKenzie, D. P. (1988). The relationship between plate motions and seismic tensors, and the rate of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophysical Journal International*, 93, 45-73. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1988.tb01387.x>

- Jolivet, L. & Patriat, M. (1999). Ductile extension and the formation of the Aegean Sea. In Durand, B., Jolivet, L., Seranne, M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications, 156, 356–427.
- Jolivet, L. & Faccenna, C. (2000). Mediterranean extension and the Africa–Eurasia collision. *Tectonics*, 19, 1095–1106. <https://doi.org/10.1029/2000TC900018>.
- Jolivet, L. & Brun, J. P. (2010). Cenozoic Geodynamic Evolution of the Aegean. *International Journal of Earth Sciences*, 99(1), 109–138. <https://doi.org/10.1007/s00531-008-0366-4>
- Jolivet, L., Faccenna, C., Huet, B., Labrousse, L., Le Pourhiet, L., Lacombe, O., Lecomte, E., Burov, E., Denele, Y., Brun, J.P., Philippon, M., Paul, A., Salaun, G., Karabulut, H., Piromallo, C., Monie, P., Gueydan, F., Okay, A.I., Oberhänsli, R., Pourteau, A., Augier, R., Gadenne, L. & Driussi, O. (2013). Aegean tectonics: strain localization, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics*, 597–598, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.011>
- Kissel, C. & Laj, C. (1988). Tertiary geodynamical evolution of the Aegean arc: a palaeomagnetic reconstruction. *Tectonophysics*, 146, 183–201.
- Koçyiğit, A. & Yusufoglu, H., Bozkurt, E. (1999). Evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society* 156, 605–616. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.156.3.0605>
- Konak, N. (2002). *Geological map of Turkey in 1/500,000 scale. İzmir Area Map* (Şenel, M. (Ed.). General Directorate of Mineral Research and Exploration, Publication of Mineral Research and Exploration Directorate of Turkey.
- Kounov, A., Wüthrich, E., Seward, D., Burg, J. P. & Stockli, D. (2015). Low-temperature constraints on the Cenozoic thermal evolution of the Southern Rhodope Core Complex (Northern Greece). *International Journal Earth Sciences*, 104, Article 1337e1352. <https://doi.org/10.1007/s00531-015-1158-2>
- Kraus, M. J. (1999). Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geologic applications. *Earth Science Reviews*, 47, 41–70.
- Lamont, T. N., Smye, A. J., Roberts, N. M. W., Searle, M. P., Waters, D. J. & White, R. W. (2023). Constraints on the thermal evolution of metamorphic core complexes from the timing of high-pressure metamorphism on Naxos, Greece. *Geological Society of America Bulletin*, 135(11–12), 2767–2796. <https://doi.org/10.1130/B36332.1>
- Le Pichon, X. & Angelier, J. (1979). The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1–42.
- Le Pichon, X. & Angelier, J. (1981). The Aegean Sea. *Philosophical Transactions of Royal Society, London, Seri A* 300, 357–372.
- Lips, A. L. W., Cassard, D., Sözbilir, H., Yılmaz, Y. & Wijbrans, J. R. (2001). Multistage exhumation of the Menderes Massif, western Anatolia (Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, 89, 781–792.
- Mack, G. H., Leeder, M. R. & Salyards, S. L. (2002). Temporal and spatial variability of alluvial-fan and axial-fluvial sedimentation in the Plio-Pleistocene Palomas half graben, southern Rio Grande rift, New Mexico, USA. In Renault, R. W. & Ashley, G. M. (Eds.), *Sedimentation in Continental Rifts*. SEPM Special Publications, 73, 165–177.
- McKenzie, D. (1978). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal of Astronomical Society*, 55, 217–254.
- Menant, A., Sternai, P., Jolivet, L., Guillou-Frottier, L. & Gerya, T. (2016). 3D numerical modeling of mantle flow, crustal dynamics and magma genesis associated with slab roll-back and tearing: The eastern Mediterranean case. *Earth and Planetary Science Letters*, 442, 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.03.002>
- Mercier, J. L. (1981). Extensional-compressional tectonics associated with the Aegean arc: comparison with the Andean Cordillera of south Peru–north Bolivia. *Philosophical Transactions of Royal Society, London, Seri A* 300, 337–355.
- Meulenkamp, J. E., Wortel, W. J. R., Van Wamel, W. A., Spakman, W. & Hoogerduyn-Strating, E. (1988). On the Hellenic subduction zone and geodynamic evolution of Crete in the late Middle Miocene. *Tectonophysics*, 146, 203–215.

- Meulenkamp, J. E., Van Der Zwaan, G. J. & Van Wamel, W. A. (1994). On Late Miocene to recent vertical motions in the Cretan segment of the Hellenic arc. *Tectonophysics*, 234, 53–72.
- Nijholt, N., & Govers, R. (2015). The role of passive margins on the evolution of Subduction-Transform Edge Propagators (STEPs). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120, 7203–7230. <https://doi.org/10.1002/2015JB012202>
- Oertel, G. (1965). The mechanism of faulting in clay experiments. *Tectonophysics* 2, 343-393.
- Oberhänsli, R., Candan, O., Dora, O. Ö. & Dürr, S. (1997). Eclogites within the Menderes Massif/ western Turkey. *Lithos* 41, 135-150. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(97\)82009-9](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(97)82009-9)
- Okay, A. I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Séranne, M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within the Alpine Orogen: Special Publications. Geological Society, London*, pp. 475–515.
- Okay, A. İ & Satır, M. (2000). Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*, 137, 495–516.
- Okay, A. I, Satır, M., Zattin, M., Cavazza, W. & Topuz, G. (2008). An Oligocene ductile strike-slip shear zone: the Uludağ Massif, northwestern Turkey- Implications for the westward translation of Anatolia. *Bulletin of the Geological Society of America*, 120, 893-911.
- Önalın, M. (1997). *Çökelmenin Fiziksel ilkeleri Fasiyes Analizleri ve Karasal Çökelme Ortamları*, İkinci baskı. İstanbul Üniversitesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul/Türkiye
- Öner, Z. & Dilek, Y. (2011). Supradetachment basin evolution during continental extension: The Aegean province of western Anatolia, Turkey. *GSA Bulletin* 123, 2115-2141. <https://doi.org/10.1130/B30468.1>
- Öner, Z. & Dilek, Y. (2013). Fault kinematics in Supradetachment basin formation, Menderes core complex of western Turkey. *Tectonophysics* 608, 1394–1412. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.06.003>
- Özsayın, E. & Dirik, K. (2007). Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba fault zones: İnönü-Eskişehir fault system, Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 471-492.
- Paton, S. (1992). *The relationship between extension and volcanism in western Turkey, the Aegean Sea and central Greece* [PhD Thesis]. Cambridge University, Cambridge, UK.
- Philippon, M., Brun, J.P. & Gueydan, F. (2012). Deciphering subduction from exhumation in the segmented Cycladic Blueschist Unit (Central Aegean, Greece). *Tectonophysics*, 524–525, 116–134. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.12.025>
- Platevoet, B., Scailliet, S., Guillou, H., Blamart, D., Nomade, S., Massault, M., Poisson, A., Elitok, O., Özgür, N., Yağmurlu, F. & Yılmaz, K. (2008). Pleistocene eruptive chronology of the Gölcük volcano, Isparta Angle, Turkey. *Quaternaire* 19, 147–156.
- Purvis, M. & Robertson, A. (2005). Sedimentation of the Neogene-Recent Alaşehir (Gediz) continental graben system used to test alternative tectonic models for western (Aegean) Turkey. *Sedimentary Geology*, 173, 373–408. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2003.08.005>
- Renaut, R.W. & Ashley, G.M. (2002). *Sedimentation in Continental Rifts*. SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication, 73, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- Ring, U., Laws, S. & Bernet, M. (1999). Structural analysis of a complex nappe sequence and late orogenic basins from the Aegean Island of Samos, Greece. *Journal of Structural Geology*, 21, 1575-1601. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(99\)00108-X](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00108-X)
- Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R. & Gessner, K. (2003). Tectonic denudation of a Late Cretaceous–Tertiary collisional belt: regionally symmetric cooling patterns and their relation to extensional faults in the Anatolide belt of western Turkey. *Geological Magazine*, 140, 421-441. <https://doi.org/10.1017/S0016756803007878>
- Rojay, B., Toprak, V., Demirci, C. & Süzen, L. (2005). Plio–Quaternary evolution of the Küçük Menderes Graben (Southwestern Anatolia, Turkey). *Geodinamica Acta*, 18, 317–331.

- Sarıca, N. (2000). The Plio-Pleistocene age of Büyük Menderes and Gediz grabens and their tectonic significance on N-S extensional tectonics in West Anatolia: mammalian evidence from the continental deposits. *Geological Journal*, 35, 1-24. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1034\(200001/03\)35:1<1::AID-GJ834>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1034(200001/03)35:1<1::AID-GJ834>3.0.CO;2-A)
- Seyitoğlu, G. (1999). Discussion on evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society London*, 156, 1240-1242. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.156.6.1240>
- Seyitoğlu, G. & Scott, B. C. (1996). Age of the Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Journal*, 31(1), 1-11. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1034\(199603\)31:1%3C1::AID-GJ688%3E3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1034(199603)31:1%3C1::AID-GJ688%3E3.0.CO;2-S)
- Seyitoğlu, G., Çemen, İ. & Tekeli, O. (2000). Extensional folding in the Alaşehir (Gediz) graben, western Turkey. *Journal of the Geological Society London*, 157, 1097-1100. <https://doi.org/10.1144/jgs.157.6.1097>
- Seyitoğlu, G., Tekeli, O., Çemen, İ., Şen, Ş. & Işık, V. (2002). The role of flexural rotation/rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir Graben, western Turkey. *Geology Magazine* 139, 15-26. <https://doi.org/10.1017/S0016756801005969>
- Seyitoğlu, G., Işık, V. & Çemen, İ. (2004). Complete Tertiary exhumation history of the Menderes Massif, western Turkey: an alternative working hypothesis. *Terra Nova* 16, 358-363.
- Seyitoğlu, G., Işık, V. & Esat, K. (2014). A 3D model for the formation of Turtleback surfaces: The Horzum Turtleback of Western Turkey as a case study. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23, 479-494. <https://doi.org/10.3906/yer-1401-23>
- Seyitoğlu, G. & Işık, V. (2015). Late Cenozoic extensional tectonics in western Anatolia: Exhumation of the Menderes core complex and formation of related basins. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 151, 49-109 <https://doi.org/10.19111/bmre.49951>
- Smith, N.D. & Perez-Arlucea, M. (1994). Fine-grained splay deposition in the avulsion belt of the lower Saskatchewan River, Canada. *Journal of Sedimentary Research*, B64, 159-168.
- Soder, C., Altherr, R. & Romer, R. L. (2016). Mantle metasomatism at the edge of a retreating subduction zone: Late Miocene lamprophyres from the island of Kos, Greece. *Journal of Petrology* 57(9), 1705-1728. <https://doi.org/10.1093/petrology/egw054>
- Şen, F. (2004). *Karadut ve çevresinde Gediz grabeni'nin stratigrafisi ve yapısı* [B.Sc. thesis]. İstanbul, İstanbul University, (in Turkish), 110 pp.
- Şen, F. (2016). Late Miocene termination of tectonic activity on the detachment in the Alaşehir Rift, Western Anatolia: Depositional records of the Göbekli Formation and high-angle cross-cutting faults. *EGU General Assembly*, 18, 3541
- Şen, F. (2020). Middle Eocene high-K acidic volcanism in the Princes' Islands (İstanbul) and its geodynamic implications. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(SI-1), Article 9, 208-219. <https://doi.org/10.3906/yer-1905-19>
- Şen, Ş. & Seyitoğlu, G. (2009). Magnetostratigraphy of early-middle Miocene deposits from east-west trending Alaşehir and Büyük Menderes grabens in western Turkey, and its tectonic implications. *Geological Society of London Special Publication*, 311, 321-342. <https://doi.org/10.1144/SP311.13>
- Şen, F. & Ağırbaş, H. (2012). Fold geometry in Karadut fault, Alaşehir graben, Western Anatolia. *International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, Proceedings*, İzmir, Turkey, pp: 31.
- Şen, F., Karaağaç, S. & Erbil, Ü. (2024). Evidence for High-Angle Origin of the Alaşehir Detachment Fault and Layer-Parallel Shortening During Miocene Time in Alaşehir Graben, Western Anatolia. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 67(1), 17-50. <https://doi.org/10.25288/tjb.1318465>
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. & Rangin, C. (2005). The North Anatolian Fault: a new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 33, 37-112. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120415>
- Şengör, A. M. C. & Bozkurt, E. (2012). Layer-parallel shortening and related structures in zones undergoing active regional horizontal extension.

- International Journal of Earth Sciences*, 102, 101-119. <https://doi.org/10.1007/s00531-012-0777-0>
- Thomson, S.N. & Ring, U. (2006). Thermo-chronologic evaluation of postcollision extension in the Anatolide orogen, western Turkey. *Tectonics*, 25(3), Article TC3005. <https://doi.org/10.1029/2005TC001833>
- Uzel, B., Langereis, C. G., Kaymakçı, N., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç. & Özkaptan, M. (2015). Paleomagnetic evidence for an inverse rotation history of Western Anatolia during the exhumation of Menderes core complex. *Earth and Planetary Science Letters*, 414, 108-125. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.01.008>
- van Hinsbergen, D. J. J., Langereis, C. G. & Meulen-kamp, J. E. (2005). *Revision of the timing, magnitude and distribution of Neogene rotations in the western Aegean region*. *Tectonophysics* 396, 1-34.
- van Hinsbergen, D. J. J., Dekkers, M. J., Bozkurt, E. & Koopman, M. (2010). Exhumation with a twist: Paleomagnetic constraints on the evolution of the Menderes metamorphic core complex, western Turkey: *Tectonics*, 29, Article TC3009. <https://doi.org/10.1029/2009TC002596>
- Wawrzenitz, N. & Krohe, A. (1998). Exhumation and doming of the Thasos metamorphic core complex (S Rhodope, Greece): structural and geochronological constraints. *Tectonophysics* 285, 301-332.
- Willis, B. J. & Behrens-meyer, A. K. (1994). Architecture of Miocene overbank deposits in northern Pakistan. *Journal of Sedimentary Research*, B64, 60-67.
- Wölfler, A., Glotzbach, C., Heineke, C., Nilius, N.P., Hetzel, R., Hampel, A., Akal, C., Dunkl, I. & Christl, M. (2017). Late Cenozoic cooling history of the central Menderes Massif: Timing of the Büyük Menderes detachment and the relative contribution of normal faulting and erosion to rock exhumation. *Tectonophysics* 717, 585-598. <https://doi.org/10.1016/J.TECTO.2017.07.004>
- Wright, D.T. (1999). The role of sulphate-reducing bacteria and cyanobacteria in dolomite formation in distal ephemeral lakes of the Coorong region, South Australia. *Sedimentary Geology*, 126(1-4), 147-157. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(99\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(99)00037-8)
- Yang, X. B., Wang, H. Y., Li, Z. Y., Guan, C. & Wang, X. (2021). Tectonic-sedimentary evolution of a continental rift basin: A case study of the Early Cretaceous Changling and Lishu fault depressions, southern Songliao Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 128, Article 105068. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105068>
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, Ö.F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş. & Elmas, A. (2000). When did western Anatolian grabens begin to develop?. *Geological Society of London Special Publication*, 173, 353-384. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.173.01.17>
- Yılmaz, Y. (2017). Major Problems of Western Anatolian Geology. Çemen, İ. & Yılmaz, Y. (Eds.), *Active Global Seismology: Neotectonics and Earthquake Potential of the Eastern Mediterranean Region, Book Series, Geophysical Monograph Book Series*, 225, 141-187. <https://doi.org/10.1002/9781118944998.ch6>
- Yuretich, R.F. & Ervin, C.R. (2002). Clay minerals as palaeoenvironmental indicators in two large lakes of the African Rift Valleys: Lake Malawi and Lake Turkana. In Renaut, R. W. & Ashley, G.M. (Eds.), *Sedimentation in Continental Rifts: SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication 73*, 221-232, <https://doi.org/10.2110/pec.02.73.0221>



Paleosismolojik Veriler Işığında Eskişehir Fayı'nın Batı Segmentinin Deprem Davranışı
Earthquake Behaviour of the Western Segment of the Eskişehir Fault in Light of Paleoseismological Data

**İsmet Elma^{*1}, Mirza Agha Safarov¹, Volkan Karabacak¹,
Çağlar Özkaymak², Ökmen Sümer³**

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
Jeoloji Mühendisliği, Eskişehir, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, Afyonkarahisar, Türkiye

³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, İzmir, Türkiye

• Geliş/Received: 26.02.2025

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 16.05.2025

• Kabul/Accepted: 25.05.2025

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 17.07.2025

• Baskı/Printed: 31.08.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu makale, Eskişehir Fayı batı segmenti boyunca detaylı fay haritalamalarını, paleosismolojik gözlem ve analitik yaş verileri ışığında elde edilen eski deprem davranışına ilişkin çıkarımları sunmaktadır. Fayın en batı segmentini temsil eden uzanımı ile uyumlu olarak birkaç metreden birkaç yüz metreye kadar sağ yanal ötelenmeler Eskişehir Fayı'nın bu kesiminde güncel hareketin baskın olarak sağ yönlü doğrultu atımlı karakterde olduğunu göstermektedir. Erikli (Bilecik) ve Kandilli (Eskişehir) Mahallelerinde gerçekleştirilen paleosismolojik fay kazılarında elde edilen bulgulara göre, Eskişehir Fayı batı segmentinde Holosen döneminde tekrarlanan yüzey kırıkları gerçekleştiği görülmektedir. 1956 Eskişehir depreminin ($M=6,5$) Eskişehir Fayı orta kesimlerinden kaynaklanmış olma olasılığı ve komşu segmentlere gerilim transferi yapabileceği hususu da göz önünde bulundurulduğunda, batı segment üzerinde ortaya konulan sismik suskunluk dönemi (~1500 yıl) ardından her an yüzey kırığı meydana getirebilecek bir deprem ($M \sim 6,59$) olma olasılığının yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eskişehir fayı, paleosismoloji, sismik tehlike.

Abstract: This paper presents the implications regarding earthquake behaviour through detailed fault mapping of the western segment of the Eskişehir Fault in light of paleoseismological observations and analytical age data. The stream beds are offset right-laterally by a few meters to a few hundred meters along the western extension of the fault, indicating that the current movement of the Eskişehir Fault is of right-lateral strike-slip character. Findings obtained from paleoseismological trenches in Erikli (Bilecik) and Kandilli (Eskişehir) villages reveal that recurrent surface ruptures occurred during the Holocene Period on the western segment of the Eskişehir Fault. Considering the possibility that the 1956 ($M=6.5$) Eskişehir earthquake may have originated from the central segments of the fault and transferred stress to adjacent segments, it is assessed that there is a high probability of a future earthquake ($M \sim 6.59$) on the western segment, which could potentially produce surface faulting following a seismic quiescence period of approximately 1500 years in this segment.

Keywords: Eskişehir fault, paleoseismology, seismic hazard.

GİRİŞ

Batıda Uludağ'dan doğuda Kaymaz'a kadar uzanan BKB-DGD doğrultulu bir deformasyon zonunun varlığı pek çok çalışmada delillendirilmiş olmakla birlikte, Eskişehir Fay Zonu (EFZ) olarak adlanan zonun genel uzanımı ve geometrik davranışı üzerine tartışmalar henüz netlik kazanmamıştır. EFZ'nin sağ yanal doğrultu atım bileşenli normal faylar ve baskın olarak sağ yanal doğrultu atımlı faylardan oluştuğuna dair farklı görüşler bulunmaktadır (Altunel ve Barka, 1998; Bozkurt, 2001; Yaltırak, 2002; Koçyiğit, 2005; Emre vd., 2013; Emre vd., 2018; Dirik ve Erol, 2003; Selçuk ve Gökten, 2012; Seyitoğlu vd., 2015). Örneğin; Şaroğlu vd. (1987) tarafından, Eskişehir ile Bursa arasında yer alan ve genel doğrultuları KB-GD olan diri faylar Eskişehir-Bursa Fay Zonu olarak adlanmıştır. Bu zon içerisinde yer alan faylar araştırmacılar tarafından İnönü-Dodurga Fay Zonu, EFZ ve Kaymaz Fayı olarak kendi içinde alt zonlara ayrılmıştır. Şaroğlu vd. (1987) Eskişehir havzasının kuzey ve güneyini sınırlayan eğim atım karakterindeki fayları EFZ olarak değerlendirmektedir. Tüm bu alt zonlar, Altunel ve Barka (1998) tarafından EFZ olarak değerlendirilmektedir. Yaltırak vd. (1998; 2010) ise bu zonun sağ yanal bir transform zon (Trakya-Eskişehir Fay Zonu) olarak Trakya'ya kadar uzandığını öne sürmektedir. Dirik ve Erol (2003), EFZ'yi Eskişehir-Sultanhanı Fay Sistemi'nin batıdaki kısmı olduğunu ileri sürmektedir. Benzer şekilde, Özsayın ve Dirik (2007) Uludağ ile Sivrihisar arasında BKB-DGD gidişli EFZ'nin, İnönü-Eskişehir Fay Sistemini oluşturan fay zonlarından biri olduğunu belirtmişlerdir.

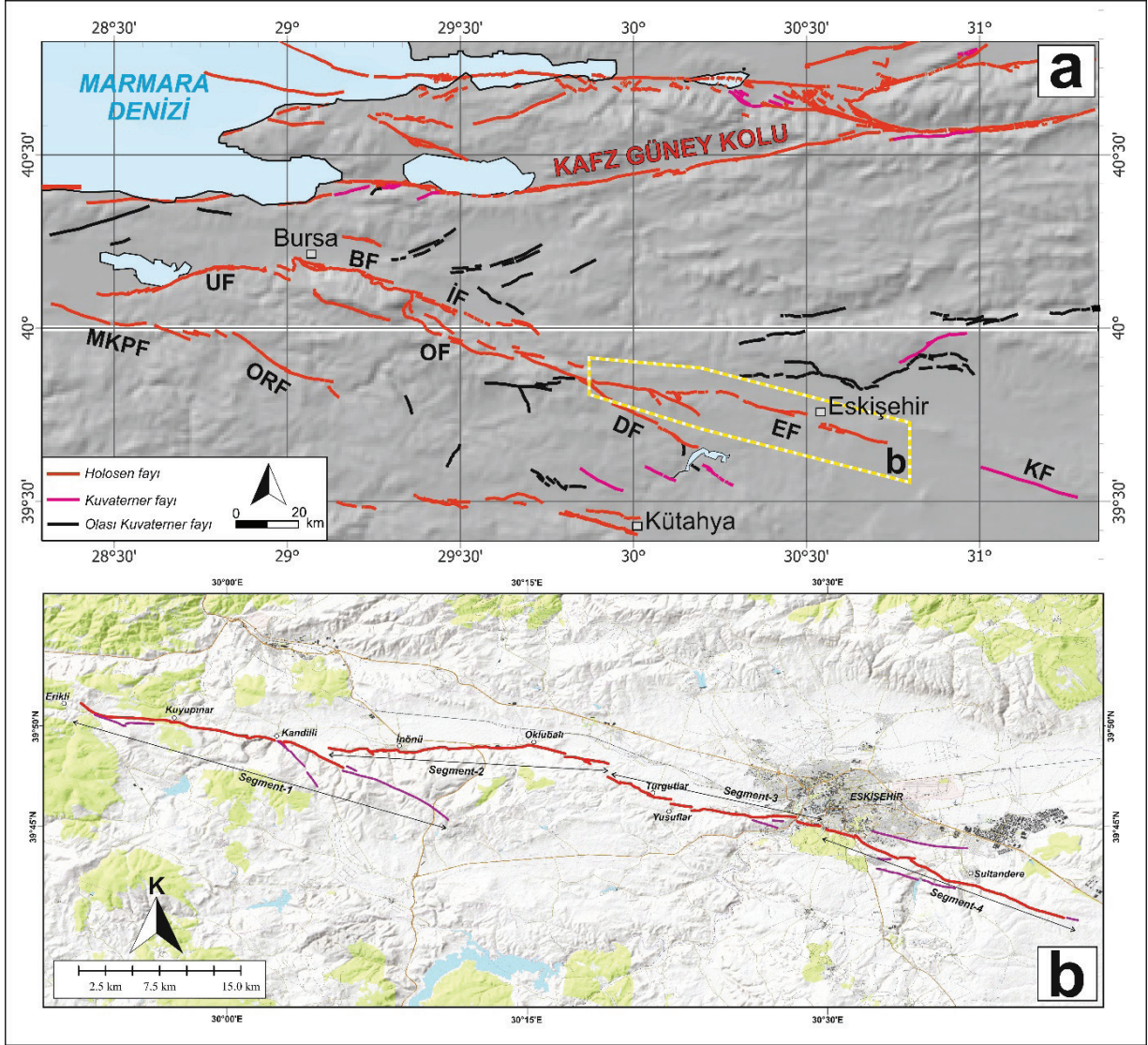
EFZ'nin Bilecik ili güneyinde Dodurga Fayı ile kesişiminden daha doğuya uzanımı güncel çalışmalarda Eskişehir Fayı olarak adlanmakta (örneğin; Emre vd., 2013; Elma vd., 2024) ve Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Emre vd., 2013), Eskişehir Fayı batıdan doğuya; BKB-DGD, D-B ve KB-GD uzanımına sahip, yaklaşık 75-85 km uzunluğunda Holosen fayı olarak

tanımlanmaktadır (Şekil 1). Eskişehir Fayı'nın kinematik evrimi ve fay geometrisi ile ilgili iki ana görüş bulunmaktadır; 1) Bölgede normal faylanma hakimdir (Gözler vd., 1985; Altunel ve Barka, 1998; Koçyiğit, 2005; Ocakoğlu, 2007). Bazı araştırmacılara göre, ilk evresinde sağ yanal doğrultu atımlı fay niteliği taşıırken günümüzde re-aktive olmuş normal fay olarak davranmaktadır (Yaltırak, 2002). Ocakoğlu (2007) Eskişehir Fayı'nın Bozüyük ile Alpu arasında Pliyosen sonrası aktif normal fay olarak ve KB-uzanımlı doğrultu atımlı fayları kestiğini belirtmektedir. 2) Bölgede aktif doğrultu atımlı faylar hakimdir (Şaroğlu vd., 2005; Seyitoğlu vd., 2010; Tün vd., 2010). Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Emre vd., 2013) ise, Eskişehir Fayı sağ yanal doğrultu atım bileşenli normal bir fay olarak tanımlanmaktadır. Güncel çalışmalarda ise, Elma vd. (2024) baskın normal faylanmanın jeolojik geçmişte uzunca bir dönem bölgeyi kontrol ettiğini ve güncel hareketin doğrultu atımlı karaktere evrildiğini ileri sürmektedir. Fay zonunun genel uzanımı hakkında tartışmalar devam etmekle birlikte, Eskişehir Fayı'nın Anadolu Bloku içerisinde kıta içi deformasyona neden olan önemli bir fay olduğu açıktır.

Eskişehir Fayı orta ve doğu kesimlerinde sınırlı olmakla birlikte hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalar bulunmaktadır (Ocakoğlu vd., 2005; Kürçer vd., 2014; Altunel vd., 2015; Elma vd., 2024). Bununla birlikte, Eskişehir Fayı'nın en batı uzanımı ile ilgili yayınlanmış herhangi bir paleosismolojik veri literatürde yer almamaktadır. Fayın batı uzanımı Güney Marmara'da yoğun nüfus ve sanayi altyapısıyla stratejik konumundaki Bozüyük (Bilecik) ve İnönü (Eskişehir) ilçelerini etki alanı içerisine almaktadır. Dolayısıyla bu segmentin deprem tehlikesi açısından bütüncül olarak değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, KB'da Erikli Mahallesi'nin doğusundan itibaren GD'da Kandilli yerleşim alanına doğru uzanan ve yıkıcı deprem üretme

potansiyeline sahip olan Eskişehir Fayı'nın batı segmentinin (Segment-1, Şekil 1b) bazı karakteristik özelliklerinin (geometrisi ve deprem davranışı) ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu

kapsamda belirlenen alanlarda, paleosismolojik nitelikli fay kazısı çalışmaları yürütülmüş, segment özelinde deprem davranış özellikleri hakkında çıkarımlarda bulunulmuştur.



Şekil 1. a) Eskişehir Fay Zonu'nun, Türkiye'nin ana tektonik hatları ile ilişkisini gösteren aktif fay haritası (Emre vd., 2013). **b)** Eskişehir Fayı'nın genel uzanımını ve segment yapısını gösterir harita (Faylar Emre vd., (2011), Emre vd., (2013), Duman vd., (2017)'den faydalanılarak tarafımızdan arazide haritalanmıştır).

Figure 1. a) Active fault map showing the relationship of the Eskişehir Fault Zone with the main tectonic lines of Turkey (Emre et al. 2013). **b)** The map showing the general extension of the Eskişehir Fault and its segmentation (Faults were mapped by us based on Emre et al. (2011), Emre et al. (2013), Duman et al. (2017)).

ESKİŞEHİR FAYI ve YAKIN ÇEVRESİNİN SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ

Eskişehir Fayı ve yakın civarının depremselliği incelendiğinde; kataloglarda tarihsel dönemlerde meydana gelmiş depremlere ait sınırlı sayıda bilgilere rastlanılmaktadır. Örneğin, bazı tarihsel deprem kataloglarında (Pınar ve Lahn, 1952; Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981) bölgedeki tarihsel depremlere değinilmemiş olmakla birlikte, Ambraseys (2009), 17 Ocak 1862 tarihinde meydana gelen depremin Eskişehir’de yapısal hasarlara neden olduğunu ve bazı eski evlerin yıkıldığını belirtmiştir. Aynı deprem kataloğunda 15 Mart 1895 ve 10 Temmuz 1895 tarihlerinde İnönü ve batısında meydana gelen ve Bozüyük, Karaköy, Bilecik’te hissedilen depremlerden de bahsedilmektedir. Bununla beraber, diğer tarihsel deprem kataloglarında değinilmemiş olan bu depremlerin büyüklükleri ve depremlerin dış merkezleri tartışmalıdır.

Aletsel dönemde meydana gelen en büyük deprem, 20 Şubat 1956 ($M_w=6,5$) Eskişehir depremi (Öcal, 1959) olup, depremin kaynak fayı, merkez üssü ve büyüklüğü hala tartışılmaktadır. Öcal (1959), anket verilerine dayalı olarak yaptığı makrosismik değerlendirmelere göre depremin dış merkezini Çukurhisar yakınlarında belirlemiştir. Aynı çalışmada depremin yüzey kırığına ilişkin bilgi yer almamakla birlikte, depremin odak derinliğinin 23-24 km olduğu ileri sürülmektedir. Canitez ve Üçer (1967) depremin episantrının Eskişehir’in kuzeyine olduğunu ve büyüklüğünün $M=6,5$ olduğunu ileri sürmektedir. McKenzie (1972)’de depremin episantrının Eskişehir’in kuzeyinde olduğunu ileri sürmekle birlikte, depremin büyüklüğünün $M=6,0$ olduğunu belirtmiştir. Öcal (1959)’ın 1956 Eskişehir depremi için önerdiği izoseistleri ve McKenzie (1972)’nin odak mekanizması çözümlerini birlikte değerlendiren Altunel ve Barka (1998) depremin Oklubalı-Turgutlar arasındaki segment üzerinde meydana geldiğini ve yüzey kırığı oluşturduğunu ileri sürmüşlerdir. Ocakoğlu vd. (2007) ve

Ocakoğlu ve Açıkalın (2010) depremin hasar dağılımı, depreme ait ikincil yüzey kırıkları ve kütle hareketlerini inceleyerek, 1956 depreminin kaynağının Eskişehir kuzeyinde yer alan faylar (Uludere-Kavacık, Muttalıp segmenti) olduğunu ileri sürmüşlerdir. Seyitoğlu vd. (2015) ise uluslararası sismolojik istasyonlarda ölçülen verileri derleyerek depremin dış merkezini yeniden hesaplamışlardır. Aynı çalışmada, 20 Şubat 1956 depreminin, 40 km uzunluğundaki Çukurhisar-Sultandere segmenti üzerinde meydana geldiğini ve episantrının Eskişehir yerleşim alanı içerisine düştüğünü belirtmişlerdir.

Güncel bazı çalışmalarda Eskişehir Fayı’nın orta ve doğu kesimlerinde gerçekleştirilen hendek tabanlı paleosismolojik veriler ile fayın Holosen aktivitesi ortaya konmuştur (Ocakoğlu vd., 2009; Kürçer vd., 2014; Altunel vd., 2015; Elma vd., 2024). Örneğin; Kürçer vd. (2014) Eskişehir Fayı’nın en doğusunda yer alan segment üzerinde açtıkları paleosismolojik hendekte son 2800 yılda en az 3 olayın meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir. Hendekten elde edilen yaş verilerine göre son olayın MS 1280-1320 yılları arasında meydana geldiğini belirtmişlerdir. Altunel vd. (2015) ise Eskişehir’in hemen batısında açtıkları bir hendekte çökellerin son 12000 yıl içinde en az 3 adet yüzey kırığı oluşturan depremden etkilendiklerini belirtmişlerdir. Hendekte gözlenen en son depremin ise günümüzden yaklaşık 3200 yıl önce meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir. Ocakoğlu vd. (2009) ise İnönü’nün hemen doğusunda, fay boyunca gelişmiş 3 farklı moloz akmasını günümüzden 18000 yıl, 7900 yıl öncesine ve 1960’lara tarihlendirmişler ve bu kütle hareketlerinin Geç Pleyistosen-Holosen döneminde fay boyunca meydana gelen depremler tarafından tetiklenmiş olabileceğini öne sürmüşlerdir. Elma vd. (2024) ise, İnönü ile Oklubalı arasında (Segment 2) yaptıkları paleosismolojik hendek çalışmalarında 2 eski yüzey faylanmasının varlığını net olarak ortaya koymuşlardır. Açtıkları hendeğin paleosismolojik

yorumlarına göre, bir önceki olayın günümüzden yaklaşık 6000-6500 yıl önce, en genç olayın ise günümüzden yaklaşık 2000-3000 yıl önce meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir. En güncel çalışmalarda ise Segment 3 boyunca ötelenen genç dere yataklarının çökelleri tarihlendirilerek Eskişehir Fayı orta kesimlerinde sağ yanal kayma hızının $0,50 \pm 0,02$ mm/yıl olduğu ortaya konulmuştur (Karabacak vd., 2024; Elma vd., 2025).

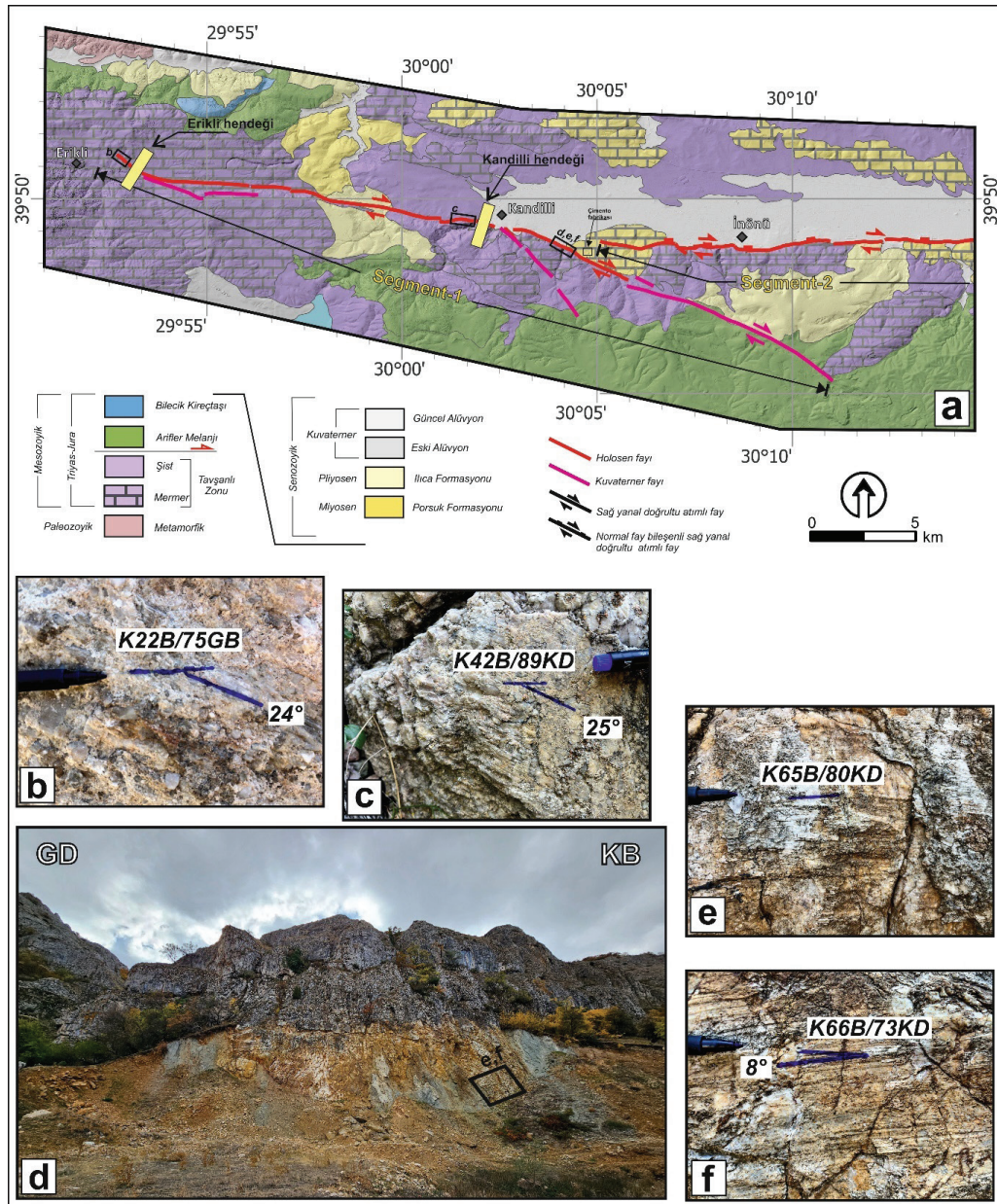
FAYLANMAYA İLİŞKİN ARAZİ GÖZLEMLERİ

Batıda Erikli'nin (Bilecik) hemen doğusundan başlayan BKB-DGD doğrultulu Eskişehir Fayı, Eskişehir yerleşim alanını güneyden sınırlayarak Kalkanlı (Eskişehir) Mahallesi'nin kuzeybatısına kadar uzanan farklı uzunluklarda dört segmentten oluşmaktadır. Bu çalışma Eskişehir Fayı'nın en batı segmenti üzerine odaklanmış olup, çalışma kapsamında bu segment boyunca diri fay haritalamaya ilişkin jeolojik ve jeomorfolojik gözlemler yapılarak 2 adet hendek tabanlı paleosismolojik fay kazısı gerçekleştirilmiştir.

Batı segment, kuzeybatıda Erikli Mahallesi'nin hemen doğusunda başlamaktadır (Şekil 1 ve 2). Bu alandan itibaren Kandilli Mahallesi'ne kadar yaklaşık BKB-DGD doğrultusunda çizgisel gidişli ve kesintisiz uzanmaktadır. Bu kesimde faya ait en önemli morfolojik yapılar dağ önlerinde gelişmiş fay sarplıklarıdır (Şekil 3a-c). Fayın oluşturduğu kuzeye eğimli morfolojik sarplık, Erikli hendeğinin yaklaşık 1 km güneydoğusundan itibaren başlamakta ve Kandilli Mahallesi'nin güneyine kadar takip edilebilmektedir. Benzer şekilde fayın aktivitesinin önemli delillerinden bir tanesi de Erikli köyü yolu üzerinde yüzlek veren fakat güncel yol yapımı çalışmaları sırasında morfolojisi tamamen dağıtılmış olan karbonat çökelleri kalıntılarıdır. Eski bir traverten kütesine ait olabileceği düşünülen çökeller günümüzde sadece yol yarmasında faya ait kırık dolgusu şeklinde gözlenmektedir (Şekil 3d).

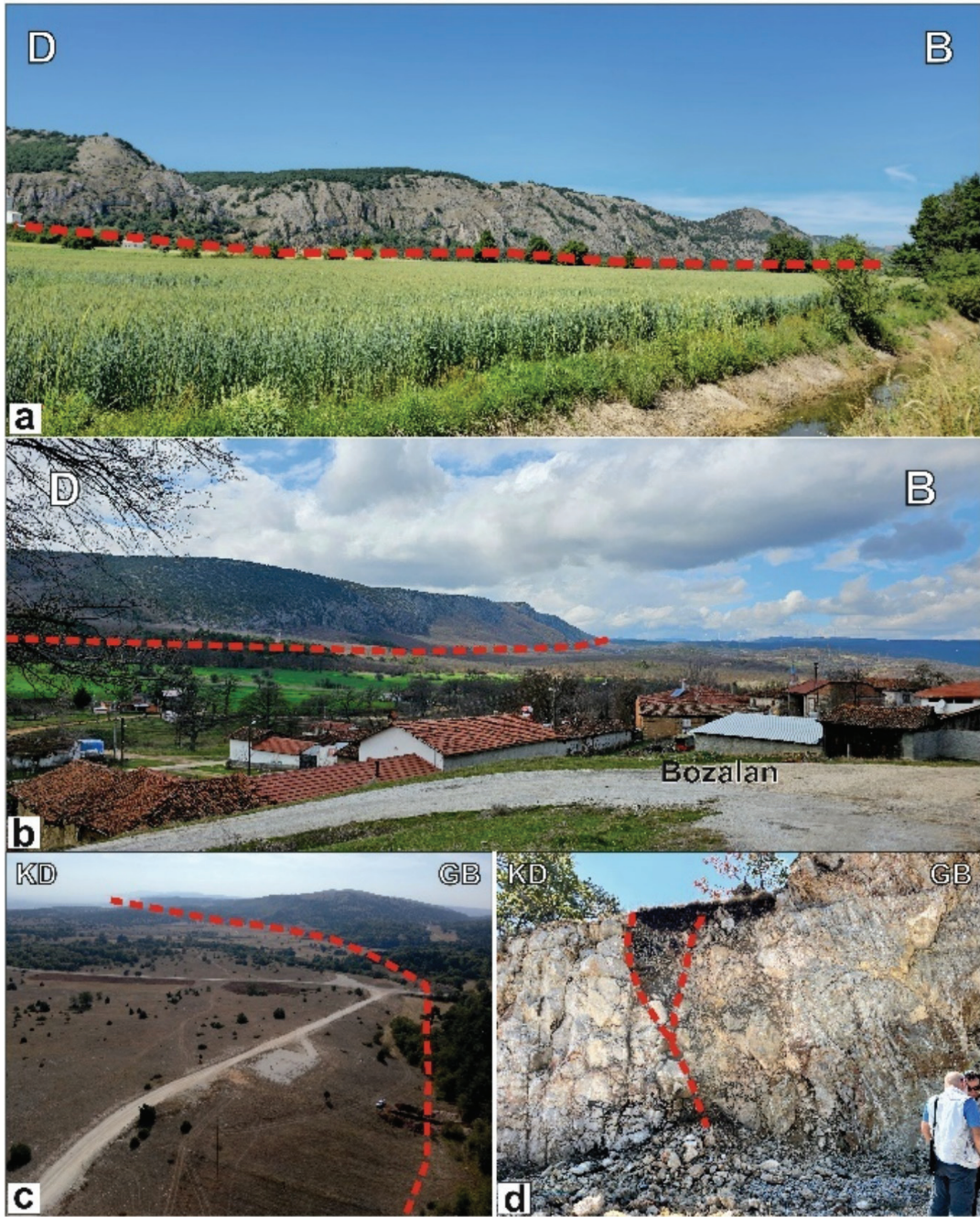
Kandilli Mahallesi'nin hemen doğusunda, KB-GD uzanımlı görece kısa fay kolu ile oblik olarak kesintiye uğradıktan sonra ($30^{\circ}03'$ boyları), yayvan bir yay çizerek GD yönüne dönmektedir. Bu alanda çimento fabrikası güneyinde, GD yönünde ($K50^{\circ}B$) yaklaşık 5 km'lik bir uzanım boyunca morfolojik ve jeolojik verilerle aktif faylanma varlığı belirgindir (Şekil 2a). Aynı doğrultuda Dutluca yönünde faylanmaya ait izler azalarak kaybolur. Çimento fabrikası kuzeyinde yaklaşık 1 km'lik bir sıçrama alanı sonrasında, yaklaşık D-B uzanımlı geometrisi ile Segment-2 en batı segmentten ayrılır (Şekil 1b ve 2a).

Bölgedeki deformasyonu kontrol eden gerilme sistemi ve fay hareket yönünün ortaya konulması amacıyla, segment boyunca farklı lokasyonlarda, iyi korunmuş fay düzlemleri üzerinde kinematik veriler toplanmıştır. Faylanmaya ait kinematik veriler, Eskişehir Fayı'nın batı segmentinin baskın olarak sağ yanal doğrultu atım karakterinde olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 2b-f). Batı segment boyunca yapılan jeomorfolojik arazi gözlemlerinde, derelerin fayın uzanımı ile uyumlu olarak farklı miktarlarda sağ yanal ötelenmeleri görülmektedir. Örneğin; segmentin en batı kesiminde genç bir dere yatağı fay tarafından 15 ± 1 metre sağ yanal olarak ötelenirken, aynı alanın doğusunda bir başka dere yatağının 70 ± 10 metre sağ yanal olarak ötelendiği gözlenmektedir (Şekil 4a). Segmentin doğu kesiminde ise Sarısu Çayı, fay tarafından sağ yanal olarak yaklaşık 230 ± 10 metre ötelenmekte olup, bu ötelenme miktarı segment boyunca en yüksek ötelenme miktarını göstermektedir. Fayın GD'ya dönerek devam eden uzanımı boyunca bir başka dere yatağı 140 ± 10 metre sağ yanal olarak ötelenmiştir (Şekil 5). Jeolojik arazi gözlemleri sırasında segment boyunca görülen kayma düzlemlerinde ölçülen kinematik göstergelerin, fayın sağ yanal doğrultu atımlı karakterine işaret etmesi morfolojik gözlemleri desteklemesi açısından oldukça önemlidir.



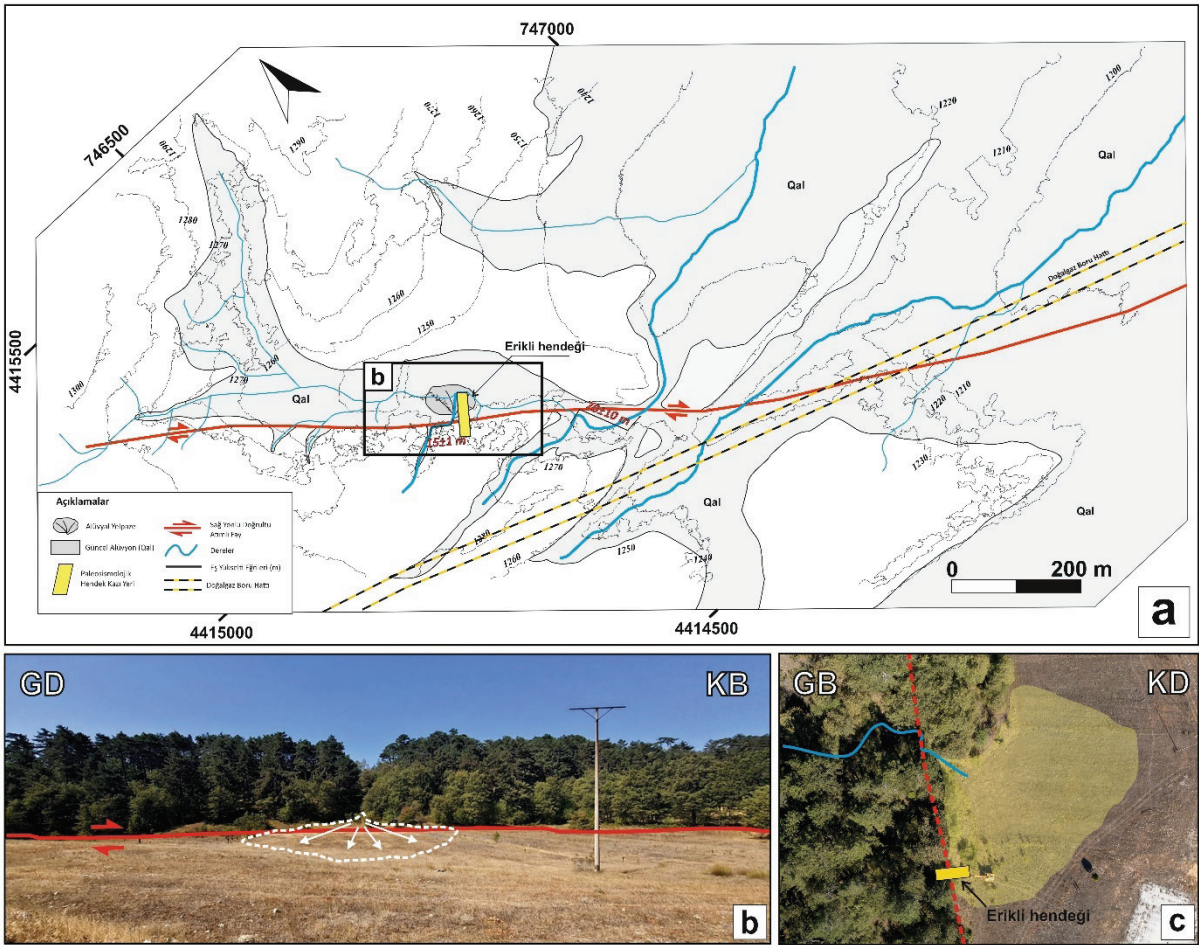
Şekil 2. a) Eskişehir Fayı batı kesiminin jeoloji haritası (Gözler vd., 1985'ten değiştirilmiştir). Siyah dikdörtgenler ilgili şekillerde görülen arazi verilerinin yerlerini göstermektedir. (Faylar Emre vd., (2011), Emre vd., (2013), Duman vd., (2017)'den faydalanılarak tarafımızdan arazide haritalanmıştır). **b)** Erikli civarında, Eskişehir fayına ait kayma düzleminin yakın görünümü. **c)** Kandilli batısında Eskişehir fayına ait kayma düzleminin yakın görünümü. **d)** Kandilli güneydoğusunda Eskişehir fayının genel görünümü. **e-f)** Kandilli güneydoğusunda Eskişehir fayına ait kayma düzleminin yakın görünümü.

Figure 2. a) Geological map of the western part of the Eskişehir Fault (revised after Gözler et al. 1985) Black rectangles are the locations of the field data seen in the related figures. Faults were mapped by us based on Emre et al. (2011), Emre et al. (2013), Duman et al. (2017)). **b)** Close-up view of the Eskişehir fault slickenside around Erikli. **c)** Close-up view of the Eskişehir fault slickenside west of Kandilli. **d)** General view of the Eskişehir fault southeast of Kandilli. **e-f)** Close-up view of the Eskişehir fault slickensides southeast of Kandilli.



Şekil 3. a) Kandilli mahallesinin güneydoğusunda fay boyunca belirgin morfolojik sarplık. **b)** Erikli hendek alanından itibaren doğuya doğru fay uzanımını gösteren İHA görüntüsü. **c)** Eskişehir Fayı'nın Bozalan ile Kandilli arasındaki uzanımı (tüm şekillerde kırmızı kesikli çizgiler fayın uzanımını göstermektedir). **d)** Faylanma boyunca deformasyon zonunu kullanan karbonatlı çökellerin görünümü.

Figure 3. a) Significant morphological scarp along the fault southeast of Kandilli village. **b)** Aerial imagery showing the extension of the fault eastward from the Erikli trench. **c)** The extent of the Eskişehir Fault between Bozalan and Kandilli (in all figures red dashed lines indicate the extension of the fault). **d)** View of the carbonate deposits utilizing deformation zone along faulting.



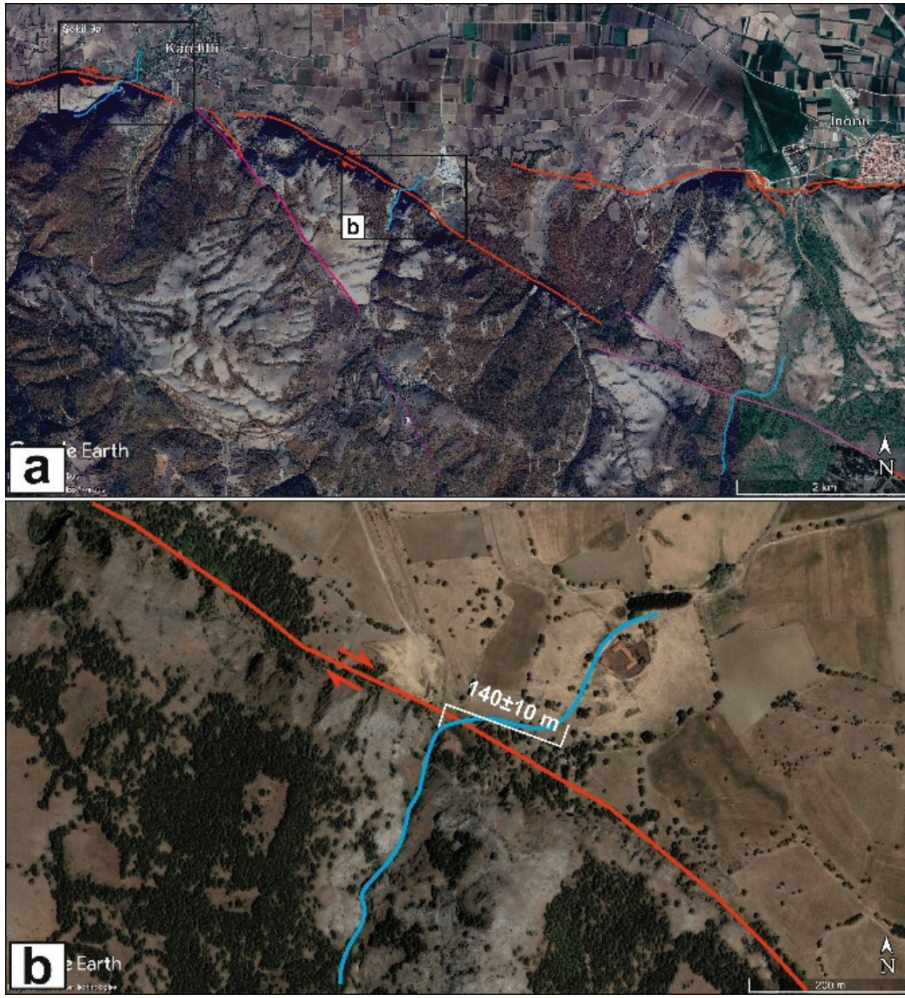
Şekil 4. a) Eskişehir Fayı en batı ucunun Kuvaterner haritası ve dere ötelenmelerinin konumu (temel birimler beyaz renkle gösterilmiştir, sağ yanallı faylanmaya işaret eden 15 ± 1 ve 70 ± 10 metrelik dere ötelenmeleri). **b)** Erikli hendeginin hemen batısında yer alan, azalan bir kalınlık ve eğime sahip alüvyal yelpazenin görünümü. **c)** Erikli hendek alanında ötelenmiş dere ve alüvyal yelpazeyi gösterir İHA görüntüsü.

Figure 4. a) Quaternary map of the westernmost extension of the Eskişehir Fault and the location of stream offset (basement is represented in white, and the observed stream offsets of 15 ± 1 meters and 70 ± 10 meters indicate right-lateral faulting). **b)** View of the alluvial fan with decreasing thickness and slope located west of the Erikli trench. **c)** Aerial imagery showing stream offset and alluvial fan in the Erikli trench site.

PALEOSİSMOLOJİK HENDEK ÇALIŞMALARI

Eskişehir Fayı batı segmentinin Holosen aktivitesi ve deprem üretme potansiyelinin ortaya konulabilmesi amacıyla Erikli ve Kandilli Mahalleleri yakınlarında iki adet paleosismolojik

fay kazısı yapılmıştır (Şekil 2a). Jeolojik ve jeomorfolojik arazi gözlemleri neticesinde, fayın denetlediği morfoloji üzerinde ve stratigrafik/sedimentolojik olarak genç çökellerin yer aldığı iki farklı lokasyonda hendek yerleri seçilmiştir.



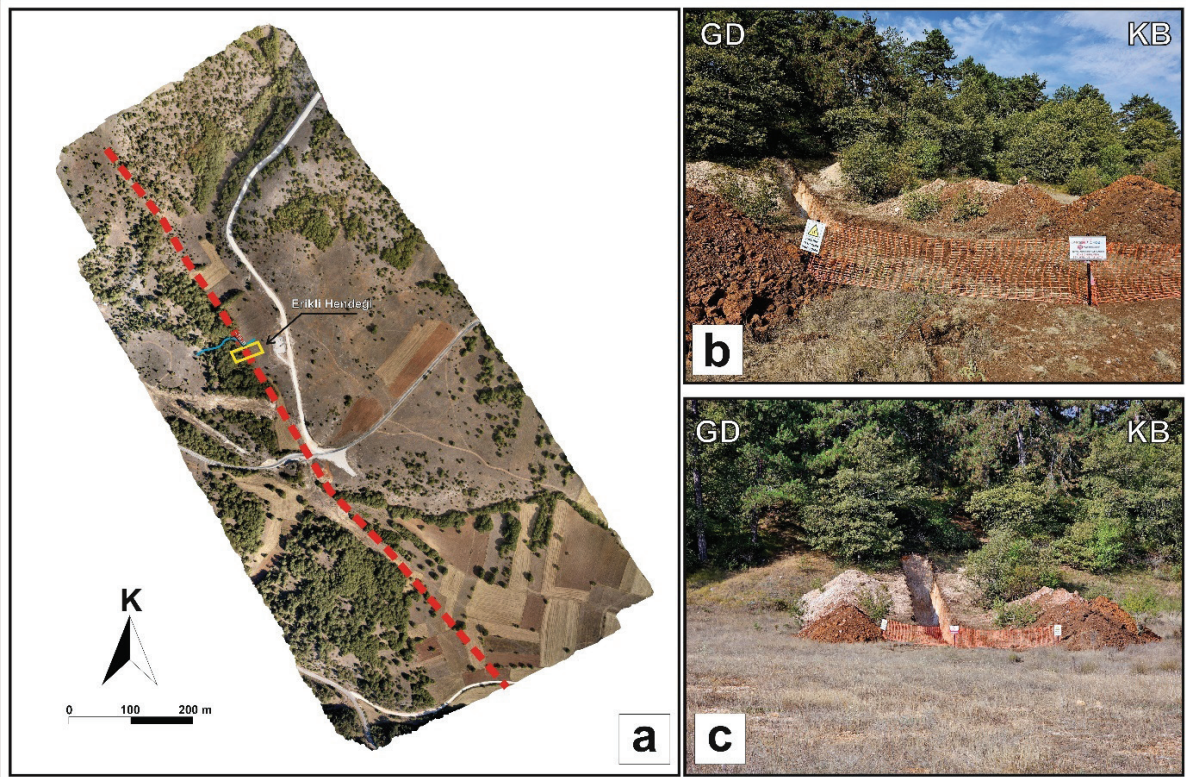
Şekil 5. a) Kandilli mahallesi civarında, Eskişehir Fayı boyunca ötelenmiş derelerin konumunu gösterir Google Earth uydu görüntüsü. **b)** Kandillinin doğusundan itibaren GD'ya dönen ana kol üzerinde sağ yanal faylanmaya işaret eden 140 ± 10 metrelik dere ötelenmesi

Figure 5. a) Google Earth satellite image showing the location of stream offset along the Eskişehir Fault near Kandilli village. **b)** A stream offset of 140 ± 10 meters indicates right-lateral faulting along the main branch, which turns to the southeast south of Kandilli.

Erikli Hendeği

Erikli hendeği, Erikli yerleşim yerinin yaklaşık 1,5 km doğusunda, fayın kuzeybatıya büküm yaptığı alanda morfolojik çizgisellik üzerinde açılmıştır. Bu alanda fayın uzanımına dik olacak

şekilde yaklaşık K40°D doğrultulu açılan hendek 25 metre uzunluğunda, 2,2 metre genişlikte ve ortalama 3,2 metre derinliğindedir (Şekil 6).

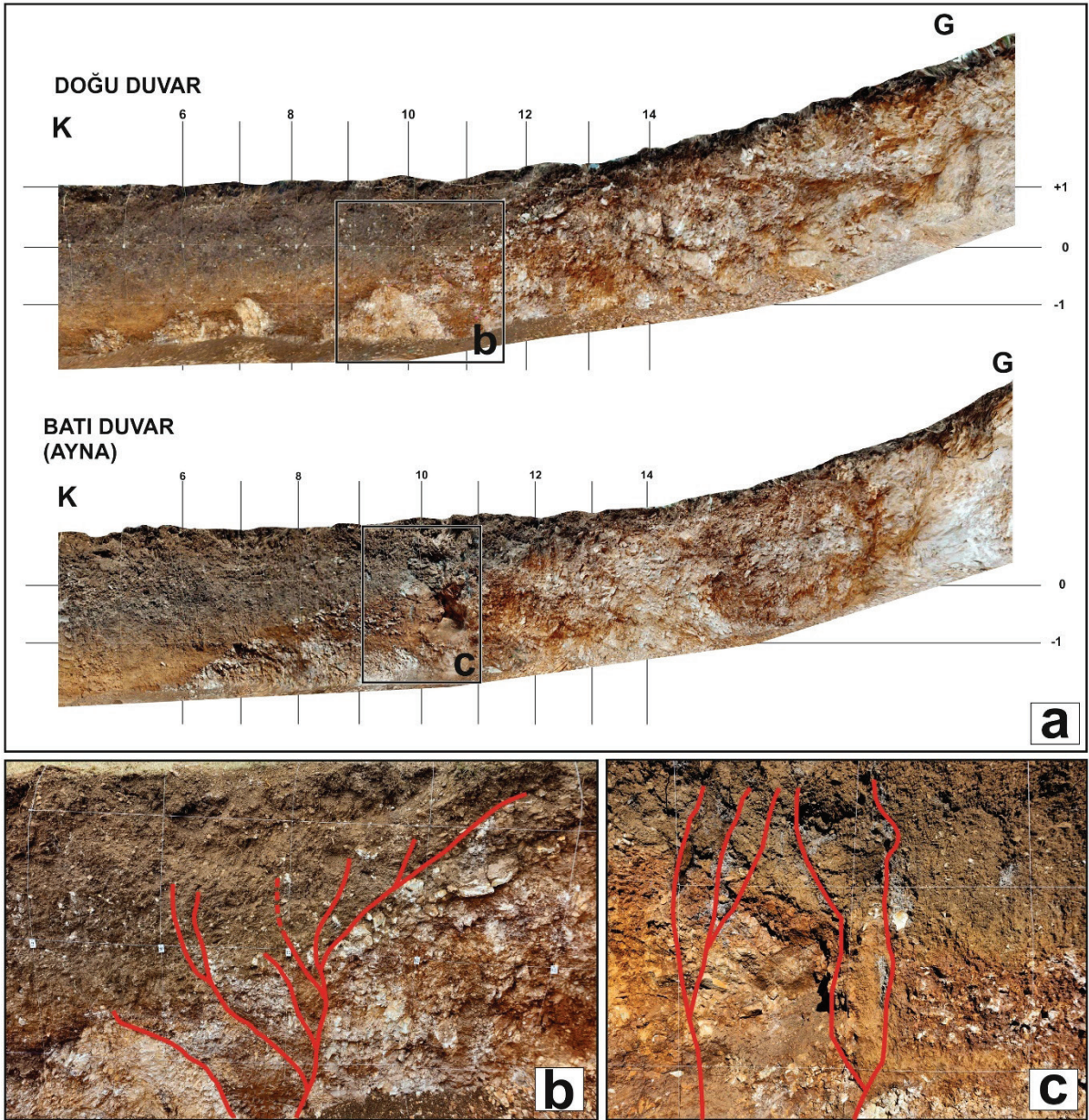


Şekil 6. a) Eskişehir Fayı'nın Erikli hendeki civarındaki uzanımını gösterir İHA görüntüsü (Kırmızı kesikli çizgi fay uzanımını göstermektedir). **b, c)** Erikli hendeginin yerini gösterir saha fotoğrafları.

Figure 6. a) Aerial imagery showing the extension of the Eskişehir Fault in the vicinity of the Erikli trench (red dashed lines indicate the extension of the fault). **b, c)** Field photographs indicating the location of the Erikli trench.

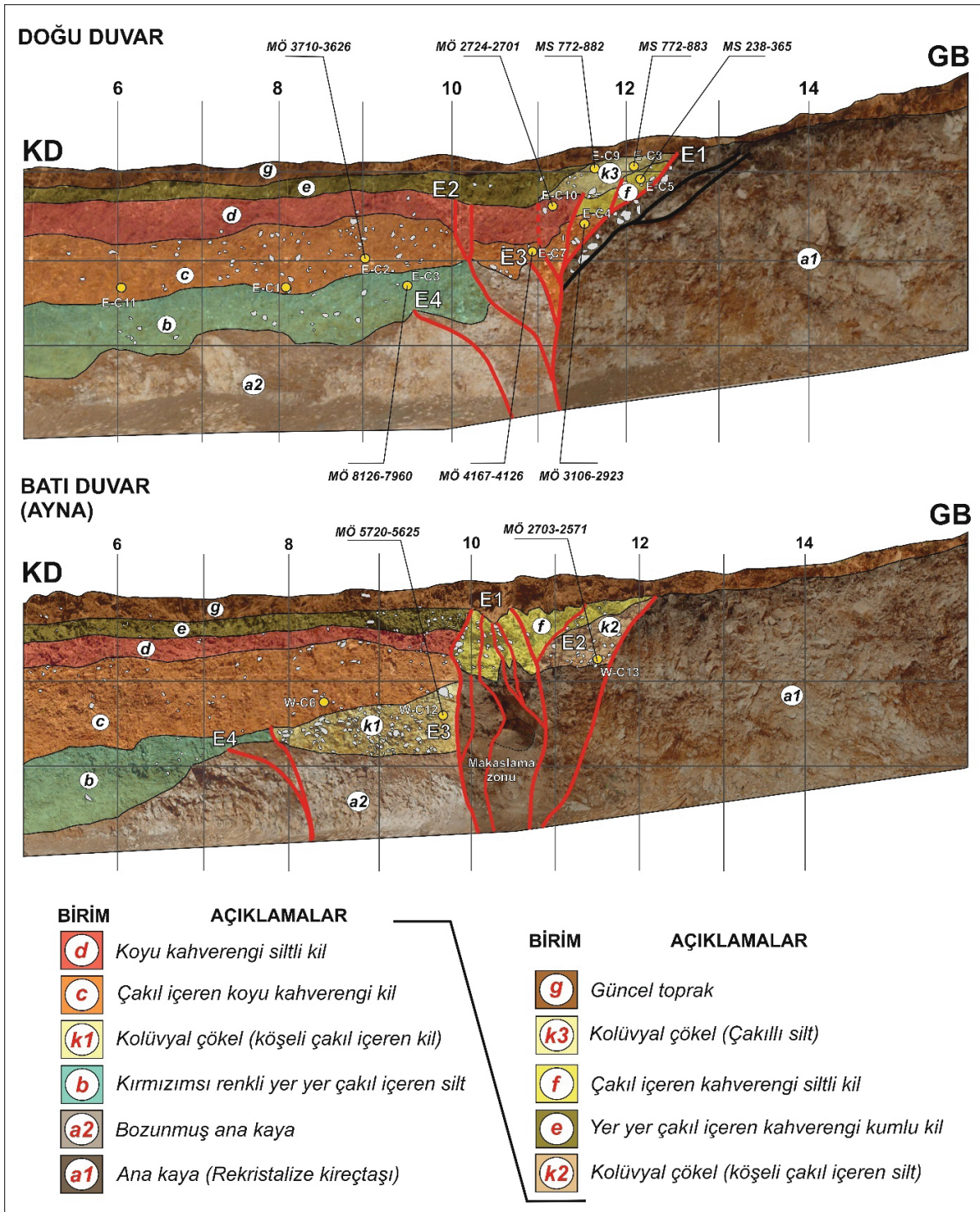
Erikli hendesinde yapılan loglama çalışmalarının ardından her iki duvarda stratigrafik olarak 9 farklı birim ayırt edilmiştir (Şekil 7 ve 8). Tanımlanan en yaşlı birim güney blokta yer alan rekristalize kireçtaşı (*a1*) birimidir. Bu birim kuzeye eğimli bir yapısal dokanak ile daha genç sedimanter paketlerden ayrılmakta ve yan yana gelmektedir. Fayın kuzey bloğunda ana kayadan ayrılmış paket (*a2*) stratigrafik olarak en alttaki birimi oluşturmaktadır. Ana kayaya ait ayrışma zonu, kırmızımsı renkli, yer yer çakıl içeren silt (*b*) birimi tarafından üzerlenmektedir. Hendeğin batı duvarının 10. metresinde görülen kol önünde köşeli çakıllarla temsil edilen kil tane boyu baskın kolüvyal çökel (*k1*) birimi yer almaktadır. Bu birimler üstte, çakıl içeren koyu kahverengi kil birimi (*c*) tarafından örtülmektedir. Bu birimin

üzerinde ise koyu kahverengi siltli kil birimi (*d*) yer almaktadır. Fayın kuzey bloğunda yer alan daha genç sedimanter birimler, yer yer çakıl içeren kahverengi kumlu kil (*e*) litolojisindeki çökel tarafından üzerlenmektedir. Hendeğin batı duvarında, en güneydeki kırık önünde gelişmiş köşeli çakıl içeren silt biriminden oluşan bir başka kolüvyal çökel (*k2*) birimi yer almaktadır. Kolüvyal çökelin üzerinde ise kireçtaşı çakılları içeren kahverengi siltli kil (*f*) birimi yer almaktadır. Doğu duvarda gözlenen en genç olayla ilişkili kırıklar *f* birimi tarafından doldurulmakta ve bu birimin hemen üzerinde çakıllı silt ile temsil edilen kolüvyal çökel (*k3*) yer almaktadır. Hendeğin her iki duvarı boyunca gözlenen tüm birimler, en üstte güncel toprak seviyesi (*g*) tarafından örtülmektedir.



Şekil 7. a) Erikli hendeği doğu ve batı duvarı (ayna görünümü) yorumlanmamış fotomozayiği **b)** Erikli hendeği doğu duvarında fay zonunun yakın görünümü. **c)** Erikli hendeği batı duvarında fay zonunun yakın görünümü.

Figure 7. a) Photomosaics of the east and west wall (mirror symmetry) of the Erikli trench. **b)** Close up view of the fault zone in east wall of the Erikli trench. **c)** Close up view of the fault zone in west wall of the Erikli trench.



Şekil 8. Erikli hendeği doğu ve batı duvarı (ayna görünümü) yorumlanmış logu. Dar bir deformasyon zonu içerisinde gelişmiş faylar 4 farklı olayın varlığına işaret etmektedir (tüm olaylara ait detaylar için metne bakınız).

Figure 8. Interpreted trench log of the east and west wall (mirror symmetry) of the Erikli trench. Faults developed within a narrow deformation zone reveal evidence of four paleo-earthquakes (see text for details).

Erikli hendeğindeki deprem ilişkili deformasyon yaklaşık 4 m genişlikteki dar bir zon içerisinde gelişmiştir (Şekil 7 ve 8). Fayların birimleri kesme ve birimler tarafından örtülme ilişkileri değerlendirildiğinde, en az 4 farklı olaya ait izler dikkati çekmektedir. Hendek boyunca gözlenen en eski olaya ait kırıklar (E4) *a2* birimini keserek deformasyona uğrattıkları görülmektedir. En eski olaya ait kırıklar *b* birimi tarafından örtülmektedir. Daha sonraki bir başka olaya ait kırıklar (E3), *a2*, *b* birimlerini kesmekte ve *c* birimi tarafından örtülmektedir. Daha genç bir olay ile ilişkili kırıklar (E2) ise yaşlıdan gence doğru sırasıyla *a2*, *b*, *c* ve *d* birimlerini kesmekte ve alüvyal çökel birimleri (*e*) tarafından örtülmektedir. Hendekte gözlenen en genç olaya ait kırıklar (E1) açılma geometrisi sunmakta ve *f* birimi tarafından doldurulurken kolüvyal çökeller (*k3*) tarafından örtülmektedir.

Erikli hendeğinde gözlenen olayları tarihlendirmek amacıyla stratigrafik birimlerden 10 adet C14 örnekleme yapılmıştır (Çizelge 1). Stratigrafik birimlerden toplanan örneklerin tarihlendirme analiz sonuçları olası olay ilişkilerini desteklemektedir. Elde edilen yaş sonuçlarına göre, ana kayanın deformasyon zonunun üzerinde çökelmiş olan kırmızı renkli, çakıllı silt (*b*) biriminden alınan C14 örneği MÖ 8126-7960 yıllarına tarihlenmiştir. Bu birimin üzerinde çökelmiş olan, çakıl içeren kahverengi kil (*c*) biriminden alınan C14 örnekleri MÖ 4167-4126, MÖ 3710-3626 ve MÖ 3106-2923 yıllarına tarihlenmiştir. Bu birimi örten *d* biriminden alınan C14 örneği MÖ 2724-2701 yıllarına tarihlenmiştir. Doğu duvarda en genç olayla ilişkili kırıkları dolduran *f* biriminden alınan C14 örneği MS 238-365 yıllarına tarihlenirken bu birimi örten kolüvyal çökellerden (*k3*) alınan örnekler ise MS 772-882 ve MS 772-883 yıllarına tarihlenmiştir. Batı duvarda 10. metre seviyesinde yer alan kırık önünde çökelmiş olan ve kolüvyal çökel niteliğindeki (*k1*) birimden alınan C14 örneği MÖ 5720-5625 yıllarına tarihlenmiştir. Aynı şekilde

daha farklı bir olay ile ilişkili diğer kolüvyal çökel (*k2*) biriminden alınan C14 örneği ise, MÖ 2703-2571 yıllarına tarihlenmiştir (Çizelge 1).

Hendekte gözlenen en eski olaya (E4) ait kırıkların *b* birimini kesmediği göz önünde bulundurulduğunda bu olayın MÖ 8126-7960 yıllarından daha önce meydana gelen bir depremle ilişkili olduğu görülmektedir. Daha sonraki olay (E3) ile ilişkili kolüvyal çökelin (*k1*) ve olayı örten birimlerin yaşı birlikte değerlendirildiğinde ise bu olayın MÖ 6896±712 tarihlerinde meydana gelen bir deprem olduğu görülmektedir. Hendekte gözlenen bir önceki olaya (E2) ait kolüvyal çökelin (*k2*) ve bu olaya ait kırıkların kestiği birimlerin yaşı birlikte değerlendirildiğinde ise bu olayın MÖ 2736±79 tarihlerinde meydana gelen bir deprem ile ilişkili olduğu görülmektedir. Hendekte gözlenen en genç olaya (E1) ait kırıkları örten birim (*g*) ile bu olayla ilişkili kolüvyal çökelin (*k3*) yaşı birlikte değerlendirildiğinde, son depremin MS 542±144 tarihlerinde meydana geldiğine işaret etmektedir.

Kandilli Hendeği

Jeolojik ve jeomorfolojik arazi gözlemleri sonucunda, Kandilli yerleşim yerinin yaklaşık 500 m güneyinde, morfolojik olarak belirgin olan fay sarplığı üzerinde hendek lokasyonu seçilmiştir. Kuzeye eğimli fay, güney blokta yer alan temel kayalar ile kuzey blokta yer alan yamaç çökelleri/alüvyal çökeller arasında yapısal bir sınır oluşturmaktadır. Hendek alanının kuzeybatısında Sarısu Çayı'nın fay tarafından sağ yanal olarak yaklaşık 230±10 metre ötelendiği dikkati çekmektedir (Şekil 9a). Genç ve tarihlendirilebilir çökellerin yer aldığı bu alanda fayın uzanımına dik olacak şekilde yaklaşık K05°D doğrultulu açılan hendek, 10 metre uzunluğunda, 2,5 metre genişlikte ve ortalama 3,1 metre derinliğindedir (Şekil 9).

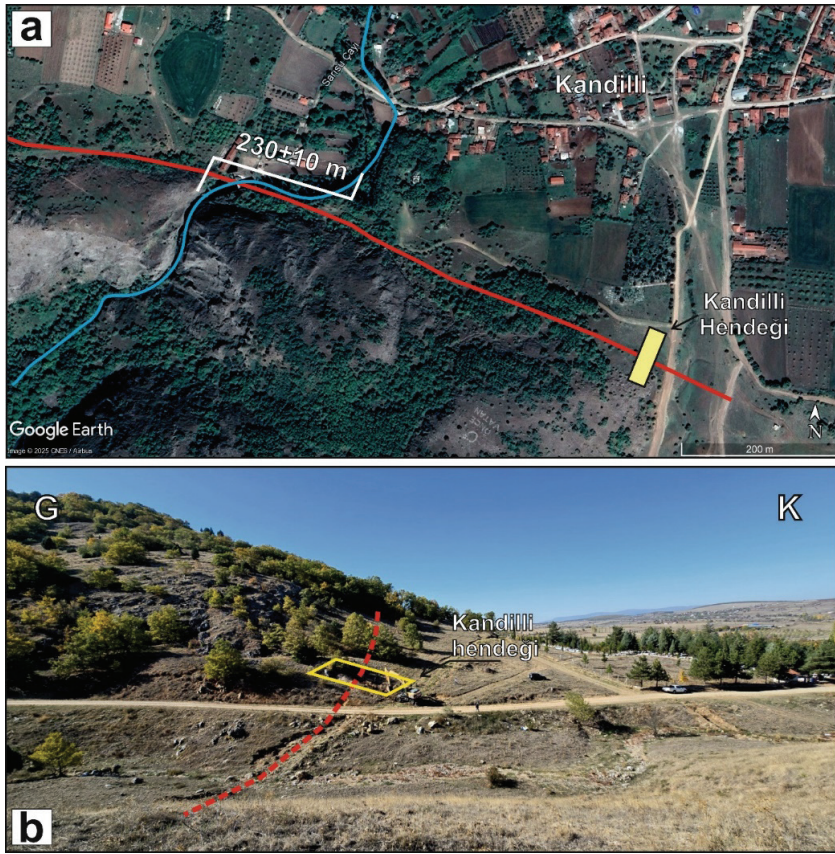
Çizelge 1. Paleosismolojik Fay kazılarında el edilen radyokarbon yaş analiz sonuçları (Geleneksel radyokarbon yaşları, Reimer vd. (2020) veri tabanına göre kalibre edilerek takvim yaşına OxCal formatında dönüştürülmüş ve Ramsey (2009)'da verilen olasılık yöntemi kullanılarak en yüksek ihtimalli yaş aralıkları (INTCAL20) belirlenmiştir.)

Table 1. Radiocarbon age analysis results of the paleoseismological trenches (Conventional radiocarbon ages were calibrated according to the Reimer et al. (2020) database and converted to calendar age in OxCal format, and the highest probability age intervals (INTCAL20) were determined using the probability method given in Ramsey (2009).)

Hendek	Stratigrafik birim	Örnek No	Malzeme türü Yaş (GÖ)	Geleneksel radyokarbon yaşı		Takvim yılına kalibre edilmiş radyokarbon yaşı
				Olasılık (%)	Tarih (MÖ/MS)	
ERİKLİ	<i>k3</i>	E-E-C8	Kömürleşmiş malzeme	1222±22	83,5	MS 772-883
	<i>k3</i>	E-E-C9	Kömürleşmiş malzeme	1224±21	82,5	MS 772-882
	<i>f</i>	E-E-C5	Sediman	1757±23	95,4	MS 238-365
	<i>k2</i>	E-W-C13	Sediman	4098±26	64,4	MÖ 2703-2571
	<i>d</i>	E-E-C10	Sediman	4223±26	9,0	MÖ 2724-2701
	<i>c</i>	E-E-C4	Sediman	4422±26	80,6	MÖ 3106-2923
	<i>c</i>	E-E-C2	Kavkı	4865±31	82,6	MÖ 3710-3626
	<i>c</i>	E-E-C7	Sediman	5240±29	17,9	MÖ 4167-4126
	<i>k1</i>	E-W-C12	Sediman	6761±30	95,4	MÖ 5720-5625
	<i>b</i>	E-E-C3	Kavkı	8944±33	51,7	MÖ 8126-7960
KANDİLLİ	<i>e</i>	KF-3	Sediman	583±31	65,7	MS 1303-1367
	<i>d</i>	KF-1	Kavkı	2410±30	81,1	MÖ 547-399
	<i>c</i>	KF-2	Sediman	2810±30	93,4	MÖ 1048-896

Kandilli hendeğinde yapılan loglama çalışmalarının ardından doğu duvarda stratigrafik olarak 7 farklı birim ayırt edilmiştir (Çizelge 1). Hendek içerisinde tanımlanan en yaşlı birim güney blokta yer alan kireçtaşı birimidir (*a1*). Ana kayanın hemen önünde, kuzey blokta ana kayadan ayrılmış (*a2*) birim yer almaktadır. Bu birimin üzerinde ise, hendeğin kuzey kesiminde gözlenen sarımsı renkli kil birimi (*b*) yer almaktadır. Bu birimler, üstte ana kayadan türemiş kireçtaşı blok ve çakılları içeren koyu kahverengi kil birimi (*c*) tarafından örtülmektedir. Hendekte gözlenen deformasyon zonu içerisinde gelişmiş paleotoprak (*d*) dikkati çekmektedir. 3. ve 6. metreler arasında son olaya ait kırıklar kolüvyal çökel (*k*) tarafından örtülmektedir. Bu birimin üzerinde ise köşeli, yarı köşeli çakıllar içeren kahverengi siltli kil birimi (*e*) yer almaktadır. Tüm birimler ise hendek boyunca güncel toprak (*f*) tarafından örtülmektedir.

Kandilli hendeğindeki deprem ilişkili deformasyonlar yaklaşık 4 m genişlikteki dar bir zon içerisinde gelişmiştir (Şekil 10). Fayların birimleri kesme ve birimler tarafından örtülme ilişkilerine göre değerlendirildiğinde en az 2 farklı olaya ait kırıkların varlığı dikkati çekmektedir. Kandilli hendeğinde, ana kaya kuzeye eğimli bir fay ile daha genç sedimanter birimlerden ayrılmaktadır. Hendek boyunca gözlenen en eski olaya ait kırıklar *b* birimini keserek *b* ve *c* birimlerini yan yana getirmektedir. Daha sonraki bir olaya ait kırıklar ise *a2*, *c* ve *d* birimlerini kesmekte olup *e* birimi tarafından örtülmektedir. Hendekte gözlenen en genç olaya ilişkin kırıklar genç sedimanter pakette yer alan *a2*, *b* ve *c* birimlerini kesmekte ancak güncel toprak seviyesine ulaşmamaktadır.

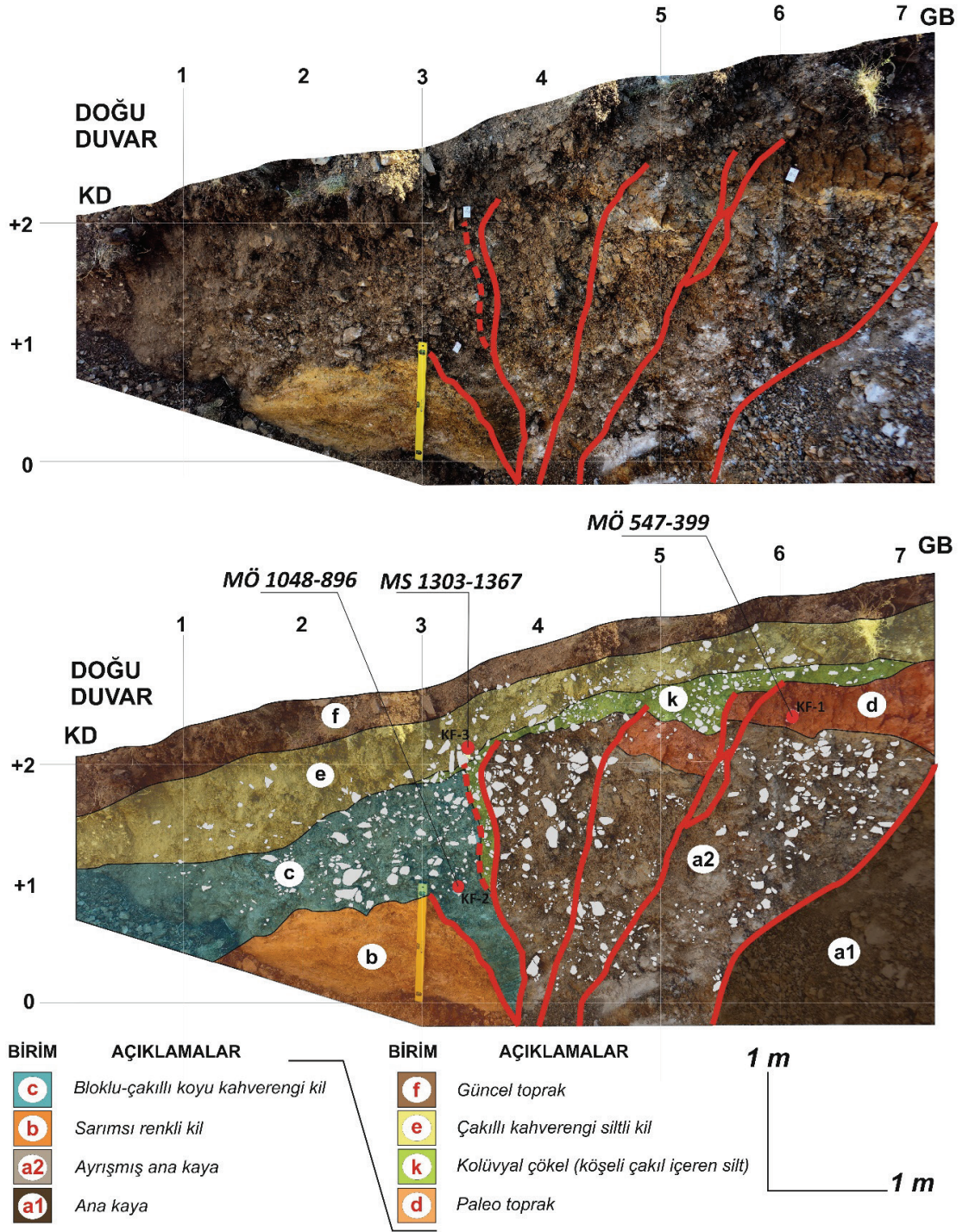


Şekil 9. a) Kandilli hendek alanını gösterir uydu görüntüsü. Kandilli civarında sağ yanal faylanmaya işaret eden 230 ± 10 metrelik dere ötelenmesi. **b)** Kandilli hendeğinin yerini gösterir saha fotoğrafı. Hendek kuzeye eğimli fay sarplığı üzerinde açılmıştır.

Figure 9. a) Satellite image of the Kandilli trench site. An approximately 230 ± 10 meter stream offset indicates right-lateral faulting near Kandilli. **b)** Field photograph indicating the location of the Kandilli trench. The trench was excavated across the scarp.

Kandilli hendeğinde gözlenen olayları tarihlendirmek amacıyla stratigrafik birimlerden 3 adet C14 örnekleme yapılmıştır (Çizelge 1). Stratigrafik olarak ayırt edilen olay tanımlamaları, segment üzerinde Holosen döneminde çökelmiş birimlerin en az 2 farklı yüzey faylanması ile sonuçlanmış deprem ürettiğini göstermektedir. Elde edilen yaş sonuçlarına göre, bloklu ve çakıllı koyu kahverengi kil (c) biriminden alınan C14 örneği MÖ 1048-896 yıllarına tarihlenmiştir. Ana kayanın önünde çökelmiş olan paleotoprak (d) biriminden alınan C14 örneği MÖ 547-399 yıllarına tarihlenmiştir. Son olayı örten e biriminin tabanından alınan C14 örneği ise MS 1303-1367

yıllarına tarihlenmiştir. Hendekteki en eski olaya ait kırıkları örten birimden (c) alınan örneğin yaşı, hendekteki en eski olayın MÖ 1048-896 yıllarından daha önce meydana geldiğine işaret etmektedir. Erikli hendeğinde gözlenen olaylar ile birlikte değerlendirildiğinde, E2 olayını desteklediği görülmektedir. Hendekteki en genç olaya ait kırıkların kestiği birimden (d) ve bu kırıkları örten birimden (e) alınan örneklerin yaşı ise, son olayın MS 1303-1367 ile MÖ 547-399 yılları arasında meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum, Erikli hendeğinde gözlenen son olayı (E1) desteklemesi açısından önemlidir.



Şekil 10. Kandilli hendeki doğu duvarı fotomozayik ve yorumlanmış logu. Hendekte gözlenen faylar en az 2 farklı olayın varlığına işaret etmektedir (Kırmızı daireler C14 örneklerinin yerini göstermektedir.)

Figure 10. Photomosaic and interpreted trench log of the east wall of the Kandilli trench. Faults reveal the presence of at least 2 events. (Red circles indicate the location of C14 samples)

TARTIŞMA ve SONUÇ

Arazide yaklaşık 19 km'lik bir uzanım boyunca morfolojide belirgin bir çizgisel gidiş sunan batı segment, Erikli Mahallesi'nin hemen doğusunda başlamakta ve Kandilli Mahallesi'ne kadar genel anlamda BKB-DGD doğrultusunda uzanmaktadır. Kandilli Mahallesi'nin doğusunda GD'ya dönerek Dutluca Mahallesi'nin kuzeybatısında sonlanmaktadır. Jeolojik arazi gözlemleri segmentin güncel morfolojiyi denetlediğini ve bölgede deformasyona neden olduğunu ortaya koymaktadır. Tarafımızdan gerçekleştirilen gözlemler bu uzanım boyunca fay düzlemlerindeki üzerleyen kinematik belirteçlerin baskın doğrultu atımlı hareketin izlerini taşıdığını göstermektedir. Bu veriler, aynı bölgede Heidbach vd. (2016) tarafından ortaya konulan ve yatay sıkışma doğrultusunu ifade eden BKB-DGD uzanımlı maksimum gerilme yönleri ile uyumludur. Dahası, fay uzanımı boyunca genç dere yataklarında gözlemlenen sistematik sağ yanal yer değiştirmeler de güncel fay hareketinin doğrultu atım karakterinde olduğunu desteklemektedir.

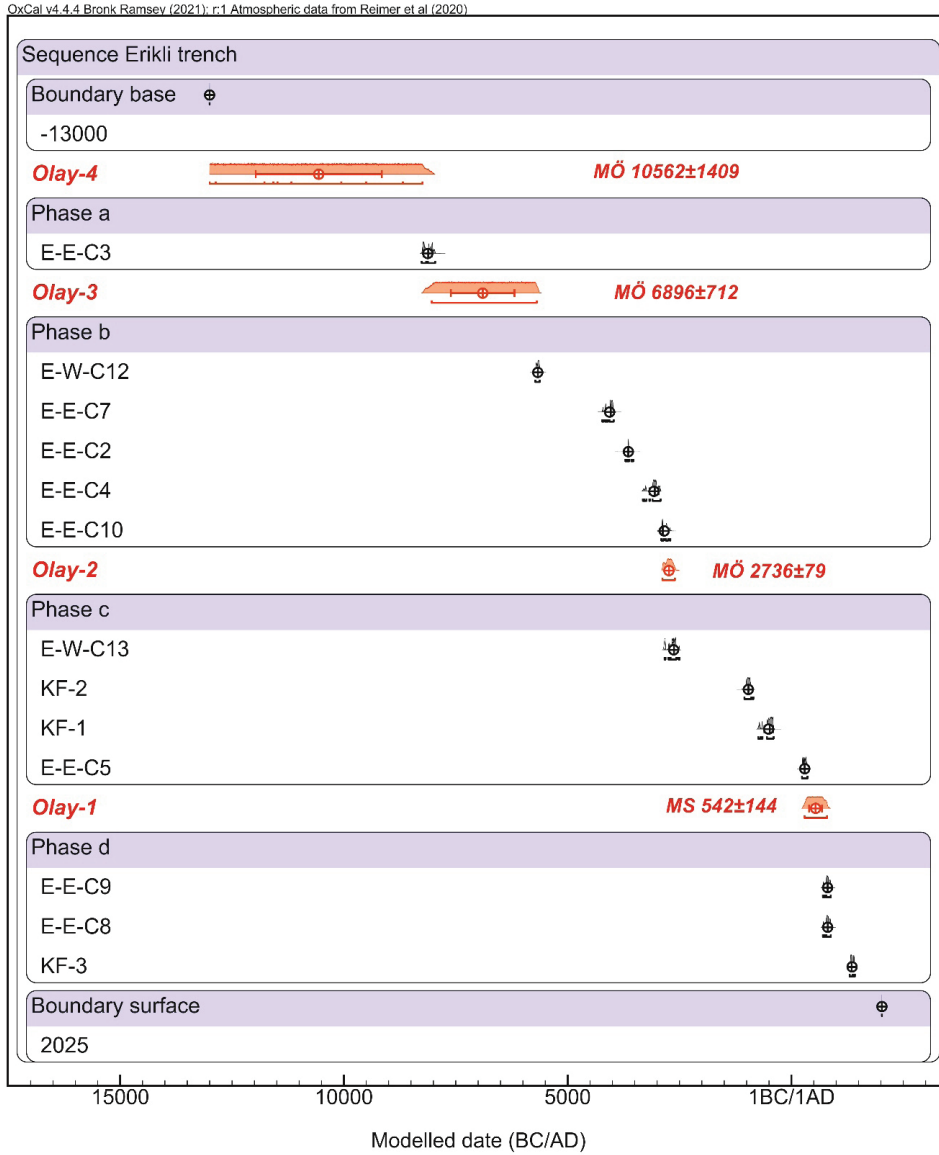
Batı segment üzerinde, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalardan elde edilen veriler literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır ve segment boyunca tekrarlanan Holosen yüzey faylanmalarına ilişkin veriler sunmaktadır. Şekil 11 Erikli ve Kandilli hendek duvarlarından toplanan radyokarbon örneklerinden elde edilen kalibre edilmiş yaşların olasılıksal dağılımını ve olay seviyelerinin yaş aralıklarını göstermektedir. Buna göre, Erikli ve Kandilli hendeklerindeki stratigrafik birimlerin yapısal unsurlar ile birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde edilen bulgular 4 eski yüzey faylanmasının delillerini sunmaktadır. Mevcut paleosismolojik bulgulara göre, meydana gelen en eski olay (E4) olasılıkla MÖ 10562±1409 tarihlerinde meydana gelen bir deprem ile ilişkilidir. Daha sonraki bir diğer olay (E3) ise MÖ 6896±712 tarihlerinde meydana gelmiş olmalıdır. Bu olay komşu segmentte

(Segment 2), İnönü ilçesinin hemen doğusunda Ocakoğlu vd. (2009) tarafından tarihlenen ve olasılıkla deprem tarafından tetiklenen büyük ölçekli kütle hareketi ile hata payları içerisinde uyumludur. Erikli hendeğinden elde edilen bulgular son olaydan bir öncekinin (E2) MÖ 2736±79 tarihlerinde meydana gelmiş olduğunu göstermektedir. Kandilli hendeğinden elde edilen bulgular aynı segment üzerinde bu olayın (E2) üstten sınırlanması açısından oldukça önemlidir. Segment üzerinde, en genç olay ise (E1) MS 542±144 yıllarına tarihlenmekle birlikte, bu durum Kandilli hendeğinde tarihlenen en genç olay ile de desteklenmektedir. Bu son olay ile ilişkili tarihsel kayıtlarda bir bulguya rastlanılmamıştır.

Mevcut bulgular, Eskişehir Fayı'nın batı segmentinin yaklaşık 3000 yıllık aralıklarla yüzey kırığı oluşturabilecek ölçekte deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu çalışmada üretilen paleosismolojik verilere göre, son yüzey faylanmasından bu yana 1339-1627 yıl geçtiği öne sürülebilir. Paleosismolojik bulgular, Eskişehir Fayı'nın en batı segmentinin sismik olarak uzun bir suskunluk dönemi içerisinde olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, 20 Şubat 1956 Eskişehir depreminin (M=6,5) Eskişehir Fayı'nın orta kesimlerinden kaynaklanmış olma olasılığı, bu depremin komşu segmentlere gerilme transfer etmiş olabileceğini düşündürmektedir. Dahası, güncel çalışmalarda (örneğin Karabacak vd., 2024, Elma vd., 2025) Eskişehir Fayı boyunca yıllık yanal kayma hızının en az 0,50±0,02 mm/yıl olduğu ortaya konulmuştur. Benzer bir yanal kayma hızı öngörüldüğünde, suskun geçen 1339-1627 yıllık dönemde, Eskişehir Fayı'nın batı uzanımının 66,9-81,3 cm yanal yerdeğiştirme meydana getirebilecek ölçekte bir gerilim biriktirdiği ileri sürülebilir. Tarafımızdan haritalanan Batı segment uzunluğu (19 km) Wesnousky (2008) tarafından sunulan ampirik bağıntı ile birlikte değerlendirildiğinde, doğrultu atımlı faylarda ortalama yanal yerdeğiştirme

miktarı 64 ile 87 cm arasında değişmektedir ve bu yerdeğiştirme miktarı tarafımızdan paleosismolojik verilerle hesaplanan yanal yer değiştirme miktarı ile hata payları içerisinde tam olarak örtüşmektedir. Söz konusu fay uzunluğu ve yanal yerdeğiştirme miktarı Wells ve Coppersmith (1994) tarafından oluşturulan ampirik eşitlikler

ile birarada değerlendirildiğinde, Batı Segment M=6,59 büyüklüğünde bir deprem üretme potansiyeline sahiptir. Segment üzerinde bu büyüklükte meydana gelecek bir depremin başta Bilecik ili Bozüyük ilçesi ile Eskişehir İli İnönü İlçesi için önemli bir sismik tehlike kaynağı olduğu açıktır.



Şekil 11. Erikli ve Kandilli hendek duvarlarından toplanan radyokarbon yaşlarından elde edilen kalibre edilmiş C14 yaşlarının olasılıksal dağılımı

Figure 11. Probability distribution of calibrated ^{14}C ages obtained from radiocarbon dates collected from the trench walls of Erikli and Kandilli

EXTENDED SUMMARY

The Eskişehir Fault Zone (EFZ), which occupies a unique position between the Western Anatolia Extensional Province (WAEP) and the North Anatolian Shear Zone (NASZ), is one of the key neotectonic elements contributing to the deformation of the Anatolian Block. This WNW–ESE-trending deformation zone extends from Uludağ in the west into the interior of the Anatolian Block in the east. The eastward extension of the EFZ, from its intersection with the Dodurga Fault south of Bilecik Province, is referred to as the Eskişehir Fault in recent studies (e.g., Emre et al., 2013; Elma et al., 2024). In the Türkiye Active Fault Map (Emre et al., 2013), the Eskişehir Fault is defined as a 75–85 km long Holocene fault trending NW–SE, E–W, and NW–SE from west to east (Figure 1). There are two prevailing interpretations regarding the kinematic evolution and geometry of the Eskişehir Fault: (1) the region is dominated by active normal faulting (Gözler et al., 1985; Altunel and Barka, 1998; Koçyiğit, 2005; Ocaloğlu, 2007), where the Eskişehir Fault initially functioned as a right-lateral strike-slip fault but has been reactivated as a normal fault in recent times (Yaltırak, 2002); and (2) the region is dominated by active strike-slip faulting (Şaroğlu et al., 2005; Seyitoğlu et al., 2010; Tün et al., 2010). In the Türkiye Active Fault Map (Emre et al., 2013), the Eskişehir Fault is described as a normal fault with a significant right-lateral strike-slip component. Recent studies (Elma et al., 2024) suggest that while normal faulting dominated the region during much of its geological history, the present-day deformation is increasingly characterized by strike-slip movement. Although debate continues regarding the overall extent and kinematics of the fault zone, it is evident that the Eskişehir Fault constitutes a major structure responsible for intracontinental deformation within the Anatolian Block.

Although limited paleoseismological studies have been conducted in the central

and eastern segments of the Eskişehir Fault (Ocaloğlu et al., 2005; Kürçer et al. 2014; Altunel et al. 2015; Elma et al. 2024), there is no published paleoseismological data regarding the westernmost extension of the Eskişehir Fault. The western extension of the fault includes Bozüyük (Bilecik) and İnönü (Eskişehir) districts, which are strategically located with dense population and industrial infrastructure in Southern Marmara. Therefore, a holistic approach of this extension in terms of seismic hazard is of critical importance. This study aimed to reveal some characteristic features (geometry and earthquake behaviour) of the western segment, which extends from the east of Erikli in the NW towards Kandilli in the SE and has the potential to produce a destructive earthquake. Within this scope, paleoseismological trench studies were carried out in the determined areas, and inferences were made regarding the earthquake behaviour characteristics of the segment.

It is well known that destructive earthquakes occurred on the Eskişehir Fault in recent and historical periods. The most significant earthquake that occurred in the instrumental period is the 20 February 1956 ($M_w=6.5$) Eskişehir earthquake (Öcal, 1959), but the exact epicentre and magnitude have been debated. Canitez and Üçer (1967) and McKenzie (1972) suggest that the epicentre of the earthquake was to the north of Eskişehir. Altunel and Barka (1998), by evaluating the isoseists proposed by Öcal (1959) for the 1956 Eskişehir earthquake and the focal mechanism solutions of McKenzie (1972), suggested that the earthquake occurred on the segment between Oklubalı-Turgutlar and produced a surface fracture. Ocaloğlu et al. (2007) and Ocaloğlu and Açıkalın (2010) suggested that the source of the 1956 earthquake was the faults (Uludere-Kavacık, Muttalıp segment) located north of Eskişehir. Seyitoğlu et al. (2015) recalculated the epicentre of the earthquake by compiling data measured at different seismological stations around the world.

In the same study, they stated that the 20 February 1956 earthquake occurred on the 40 km long Çukurhisar–Sultandere segment, with its epicentre located beneath the city of Eskişehir.

The Eskişehir Fault is an active fault that is approximately 75 km long in the WNW-ESE orientation and is geometrically divided into four different segments. This study focused on the westernmost segment of the Eskişehir Fault. The western segment extends approximately 19 km in a NW-SE direction from Erikli village in the west to Kandilli village in the east, and turns to SE south of Kandilli village and continues northeast of Dutluca village. The kinematic data of faulting reveals that the Eskişehir Fault is predominantly right-lateral strike-slip faulting (Figure 2). The western segment exhibits right-lateral displacements of up to 230 ± 22 metres along the Sarısu Stream (Figure 9a). Kinematic data obtained from the fault planes indicate the right lateral faulting, which is very important in terms of supporting the morphological observations.

The Erikli Trench was excavated in a N40°E direction, perpendicular to the possible fault trace, with a length of 25 meters and a depth of 3.2 meters (Figure 6). Stratigraphic analyses identified a total of nine units (a1-k3) distinguished by grain size, color, and composition (Table 1, Figure 7 and 8). The oldest unit identified is the recrystallised limestone (a1) unit in the southern block. This unit is separated and juxtaposed against younger sedimentary packages by fault with a high-angle inclination towards the north. The earthquake-related deformation in the Erikli trench developed within a narrow zone about 4 m wide (Figures 7 and 8). Four main event (E1-E4) were identified in the trench stratigraphy. The oldest event fault (E4) cuts through unit 'a2' and is overlain by unit 'b'. Fault E3 cuts through units 'a2' and 'b' and is overlain by unit 'c'. Fault E2 cuts the younger unit 'd' and is overlain by alluvial sedimentary units ('e'). The fault associated with the youngest event (E1) cuts through all stratigraphic units

and extends to the base of unit 'f'. Age analyses from seven distinct stratigraphic levels confirmed the stratigraphic observations. Unit 'b', which overlies the E4 event, was dated to 8944 BCE based on the E-EC3 analysis, indicating that the oldest earthquake occurred approximately 10000 years ago. Event E3 was dated to 6761 BCE based on the E-WC12 analysis, suggesting that this earthquake occurred approximately 7500–8000 years ago. Event E2 was dated between 4223 and 4098 BCE based on the E-EC10 and E-WC13 analyses, indicating that this earthquake occurred approximately 4500–5000 years ago. The most recent event, E1, was dated between 1757 and 1222 BCE based on the E-EC5 and E-EC8 analyses, indicating that this earthquake occurred approximately 1339–1627 years ago (Figure 10). Overall, these findings indicate that at least four distinct surface-rupturing events have occurred along the Eskişehir Fault during the Holocene Period.

The Kandilli Trench was excavated in a N05°E direction, perpendicular to the possible fault trace, with a length of 10 meters and a depth of 3.1 meters (Figure 9). Stratigraphic analyses identified a total of six units (a-f) distinguished by grain size, color, and composition (Table 1, Figure 10). Two main event were identified in the trench stratigraphy. The oldest event fault in the trench cuts through the unit 'b' and is overlain by unit 'c'. Unit 'c', which overlies the this event, was dated to 2810 BCE based on the KF-2 analysis. Another event fault identified in the trench cuts through units 'c' and 'd' and is overlain by unit 'e'. A sample collected from unit 'c' was dated to 2410 BCE based on the KF-1 analysis. These findings provide evidence of at least two distinct surface-rupturing events within the trench.

Geological, geomorphological and paleoseismological studies along the Eskişehir Fault indicate that the Eskişehir Fault controls the morphology as a dominantly right-lateral strike-slip fault. Likewise, kinematic data obtained from

fault planes also indicate right-lateral strike slip faulting. The dominant stress directions (Heidbach et al. 2016) support the present-day strike-slip faulting.

The data obtained in previous palaeoseismological studies in the central and eastern parts of the Eskişehir Fault revealed the Holocene activity of the fault. For example, Kürçer et al. (2014) suggested that at least three earthquakes occurred in the past 2800 years in the paleoseismological trench excavated on the easternmost segment of the Eskişehir Fault. According to the age data obtained from the trench, they stated that the last event occurred between 1280-1320 AD. They also stated that the first of the older events occurred between 390 BC and 20 AD, and that the oldest event occurred between 810-770 BC. Altunel et al. (2015) stated that the Holocene sediments observed in a trench opened west of Eskişehir were affected by at least 3 old earthquakes in the last 12000 years. They suggested that the last earthquake occurred approximately 3200 years ago. Ocakoğlu et al. (2009) dated three distinct debris flow deposits along the fault east of İnönü to approximately 18000 years ago, 7900 years ago, and the 1960s, and suggested that these mass movements may have been triggered by earthquakes occurring along the fault during the Late Pleistocene-Holocene period. Elma et al. (2024), on the other hand, revealed the presence of two old earthquakes in their palaeoseismological trench studies on the segment located east of the western segment. According to the palaeoseismological interpretations of the trench, they suggested that the previous event occurred approximately 6000-6500 years ago and that the youngest event occurred approximately 2000-3000 years ago.

The data obtained from the paleoseismological trench investigations conducted on the western segment within the scope of this study represent the first such findings reported in the literature and provide new insights into the earthquake

recurrence behaviour of this segment. Figure 10 shows the probabilistic distribution of calibrated C14 ages collected from Erikli and Kandilli trench walls and the age ranges of the event. Accordingly, the findings obtained as a result of the evaluation of the stratigraphic units in the Erikli and Kandilli trenches together with the structural elements provide evidence of four old earthquakes. According to the palaeoseismological findings, the oldest event (E4) on the westernmost segment of the Eskişehir Fault was dated to more than 10000 years before present in the Erikli trench. Another event (E3) was dated to approximately 7500-8000 years ago in the same trench. This event is consistent with the large-scale mass movement dated by Ocakoğlu et al. (2009) in the adjacent segment. Findings from the Erikli trench dated the previous event (E2) to approximately 4500-5000 years before present. The findings from the Kandilli trench are very important in terms of the upper boundary of this event (E2) on the same segment. The youngest event (E1) on the segment was dated to approximately 1339-1627 years before present in the Erikli trench and is supported by the youngest event dated in the Kandilli trench.

The findings indicate that the westernmost segment of the Eskişehir Fault generates earthquakes approximately every 3000 years. However, it can be suggested that 1339-1627 years have passed since the last earthquake. Palaeoseismological findings reveal that the westernmost segment of the Eskişehir Fault was in a long seismic quiescence. Furthermore, the possibility that the 1956 (M=6.5) Eskişehir earthquake may have caused a surface rupture in the central segments of the Eskişehir Fault suggests that this earthquake could have transferred stress to the adjacent segments. In addition, recent studies (e.g. Elma et al. 2025) suggest that the annual lateral slip rate along the Eskişehir Fault is at least 0.50 ± 0.02 mm/year. It can be argued that, assuming a similar lateral slip rate, the western extension of the Eskişehir Fault has the

potential to generate earthquakes with 66.9-81.3 cm lateral displacement during the seismic quiescence period of 1339-1627 years. According to the correlations based on the relationship between the amount of displacement and surface rupture length presented by Wesnousky (2008), the surface rupture length that may occur during such an earthquake is compatible with the length of the western segment of the Eskişehir Fault. It can also cause an earthquake with a magnitude of $M = 6.59$ according to the empirical equations established by Wells and Coppersmith (1994). It is evident that an earthquake of this magnitude on the segment is a significant source of seismic hazard for Bozüyük (Bilecik) and İnönü (Eskişehir).

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, 123G010 numaralı TÜBİTAK-KAMAG projesi (Yürütücü Prof. Dr. Volkan Karabacak) tarafından desteklenmiştir. Çalışmadaki paleosismolojik fay kazıları ilk yazarın (İsmet Elma) ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde devam eden doktora tezinin bir kısmını içermektedir. Faylanmaya ilişkin arazi haritalamaları ikinci yazarın (Mirza Agha Safarov) aynı enstitüde devam eden Yüksek Lisans tezini içermektedir. Çalışma kapsamında tarihlendirme amaçlı radyokarbon analizleri TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi (MAM) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kandilli hendek çalışmaları ESOGÜ ile 18/10/2024 tarihinde yapılan protokol çerçevesinde Eskişehir Büyükşehir Belediyesi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar katkılarından dolayı Eskişehir Büyükşehir Belediyesi'ne ve makalenin yayın sürecince yapıcı değerlendirmelerinden dolayı adı belirtilmemiş hakemlere teşekkür eder.

ORCID

İsmet Elma  <https://orcid.org/0000-0002-8220-5178>

Mirza Agha Safarov  <https://orcid.org/0009-0008-6528-1014>

Volkan Karabacak  <https://orcid.org/0000-0003-2581-7984>

Çağlar Özkaymak  <https://orcid.org/0000-0002-0377-1324>

Ökmen Sümer  <https://orcid.org/0000-0003-3168-8728>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Altunel, E. ve Barka, A. (1998). Eskişehir Fay Zonunun İnönü ve Sultandere arasında neotektonik aktivitesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41(2), 41-52. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/1e7637e7b6a9f27_ek.pdf
- Altunel, E., Karabacak, V., Yalçın, C. Ç., Altınok, S., Tunçel, E. ve Kurban, Y. C. (2015). *Eskişehir Fayı'nın Paleosismolojisi*. UDAP G-13-17 proje sonuç raporu, 126 s.
- Ambraseys, N. N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 3-30. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432432>
- Canitez, N. & Üçer, B. (1967). Computer determinations for the fault-plane solutions in and near Anatolia. *Tectonophysics*, 4, 235-244.
- Dirik, E. & Erol, O. (2003). Tectonomorphologic evolution of Tuzgölü and surrounding area, central Anatolia Turkey. *Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publication*, 5, 27-46.
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Özalp, S., Çan, T., Olgun, Ş., Elmacı, H. ve Şaroğlu, F. (2017). *Türkiye ve Yakın Çevresindeki Diri Faylar ve Özellikleri. Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı*, (Ed. T.Y. Duman). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, Ankara-Türkiye.
- Elma, İ., Özçelik, B., Karabacak, V., Özkaymak, Ç. ve Sümer, Ö. (2024). Eskişehir Fayının İnönü-Oklubalı Segmentine Ait İlk Paleosismolojik Bulgular. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 6(2), 349-368. <https://doi.org/10.46464/tdad.1465558>
- Elma, İ., Safarov, M. A., Karabacak, V., Özkaymak, Ç. ve Sümer, Ö. (2025). Eskişehir fayı'nın Uzun Dönem Kayma Hızı ve Paleosismolojisi. 77. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı*, 14-18 Nisan 2025, MTA, Ankara.

- Emre, Ö., Duman, T.Y. ve Özalp, S. (2011). *1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Eskişehir (NJ 36-1) Paftası, Seri No: 15*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu F. (2013). *1/250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye.
- 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 <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>.
- Ergin, K. Güçlü, U. ve Uz, Z. (1967). *Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu Milattan Sonra 11-1964*. İTÜ Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları, No:24, İstanbul, Türkiye
- Gözler, M. Z., Cevher, F. ve Küçükayman, A. (1985). Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 103-104, 39-54. https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/tr/20150701102227_509_22794d06.pdf
- Heidbach, O., Custodio, S., Kingdon, A., Mariucci, M.T., Montone, P., Müller, B., Pierdominici, S., Rajabi, M., Reinecker, J., Reiter, K., Tingay, M., Williams, J. & Ziegler, M. (2016). *Stress Map of the Mediterranean and Central Europe 2016*. GFZ Data Services, <https://doi.org/10.5880/WSM.Europe2016>
- Karabacak, V., Özkaymak, Ç. ve Sümer, Ö. (2024). *Eskişehir Fayı ve Dodurga Fayının Paleosismolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, 1. Gelişme Raporu* (123G010 nolu Proje). TÜBİTAK.
- Koçyiğit, A. (2005). The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18(3-4), 167-208. <https://doi.org/10.3166/ga.18.167-208>.
- Kürçer, A., Pekkan, E., Tün, M. & Kahraman, S. (2014). The first paleoseismic and new neotectonic data from Eskişehir fault, major Anatolian neotectonic structure, Central Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Abstracts*, 16, EGU2014-11937.
- McKenzie, D. (1972). Active Tectonics of Mediterranean Region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>
- Ocakoğlu, F. (2007). A re-evaluation of the Eskişehir Fault Zone as a recent extensional structure in NW Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 31, 91-103.
- Ocakoğlu, F. & Açıkalin, S. (2010). Field evidences of secondary surface ruptures occurred during the 20 February 1956 Eskişehir earthquake in the NW Anatolia. *Journal of Earth System Science*, 119(6), 841-851. <https://doi.org/10.1007/s12040-010-0057-y>
- Ocakoğlu, F., Açıkalin, S., Gökçeoğlu, C., Karabacak, V. & Cherkinsky, A. (2009). A multistory gigantic subaerial debris flow in an active fault scarp in NW Anatolia, Turkey: anatomy, mechanism and timing. *The Holocene*, 19(6), 955-965. <https://doi.org/10.1177/0959683609336566>
- Ocakoğlu F., Açıkalin S., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H. A. & Sönmez, H. (2007). Back-analysis of the source of the 1956 Eskişehir Earthquake using attenuation equation and damage data. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, 353-360. <https://doi.org/10.1007/s10064-006-0066-x>
- Ocakoğlu, F., Altunel, E. ve Yalçın, C. Ç. (2005). *Eskişehir bölgesinin neotektonik dönemdeki tektono-stratigrafik ve sedimantolojik gelişimi, Eskişehir, Türkiye, Proje Final Raporu*. Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (in Turkish).
- Öcal, N. (1959). *20 Şubat 1956 Eskişehir Zلزlesinin Makro ve Mikrosismik Etüdü*. İstanbul, Turkey. İTÜ Sismoloji Enstitüsü (in Turkish).
- Özsayın, E. & Dirik, K., (2007). Quaternary Activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba Fault Zones: İnönü-Eskişehir Fault System, Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16(4), 471-492.
- Pınar, N. ve Lahn, E. (1952). *Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu*. Bayındırlık Bakanlığı, Yapı ve İmar İşleri Reisliği, 36, No:6, Ankara, Türkiye.
- Ramsey, B. C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.

- Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Ramsey, B.C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheller, R., Palmer, J.G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reining, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. & Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>.
- Selçuk, A. S. & Gökten, E. (2012). Neotectonic characteristics of the İnönü-Eskişehir Fault System in the Kaymaz (Eskişehir) Region: influence on the development of the Mahmudiye-Çifteler-Emirdağ Basin. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21(4), 521-545.
- Seyitoğlu, G., Esat, K., Temel, A. & Telsiz, S. (2010). Determination of main strand of a strike-slip fault by using subsidiary structures: Eskişehir Fault Zone as a case study. In *Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia, Abstracts with Programs* (8-1). Ankara, Turkey: METU, p. 38.
- Seyitoğlu, G., Ecevitoglu, G.B., Kaypak, B., Güney, Y., Tün, M., Esat, K., Avdan, U., Temel, A., Çabuk, A., Telsiz, S. & Uyar Aldaş, G. G. (2015). Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24(1), 1-20. <https://doi.org/10.3906/yer-1406-5>
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y. (1981). *Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (MÖ 2100 - MS 1900)*, (Proje No: TBGA-341). TÜBİTAK.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., (1987). *Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri* (Rapor no: 8174). MTA derleme rapor. Ankara
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Doğan, A. ve Yıldırım, C. Ç. (2005). Eskişehir Fay Zonu ve Deprem Potansiyeli. *Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı*, Osmangazi Üniversitesi, 28-30 Nisan 2005, Eskişehir, Bildiri Özleri Kitapçığı.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. & Şaroğlu, F. (1985). Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a case Study: Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation. In Biddle, K. T., Christie-Blick, N. (Eds.), *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, 37, 227-264. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0211>
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakinç, M., Eyidoğan H., Görür, N., Le Pichon, X. & Rangin, C. (2005). The North Anatolian fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120415>
- Tün, M., Avdan, U., Kaplan, O., Güney, Y., Çabuk, A., Kaypak, B., Uyar Aldaş, G., Ecevitoglu, B., Esat, K. & Seyitoğlu, G. (2010). A new look to the Eskişehir Fault. Seismic Interpretation Session 2, No: 43. *19th International Geophysical Congress & Exhibition*, Ankara, Turkey.
- Yaltrak, C. (2002). Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings, *Marine Geology*, 190, 493-529.
- Yaltrak, C., Alpar, B. & Yüce, H. (1998). Tectonic elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (northeastern Aegean Sea, Turkey). *Tectonophysics*, 300, 227-248.
- Yaltrak, C., Mehmet, S., Tapırdamaz, C., Ocakoğlu, F., Demiroğlu, M., Özsayın, E. ve Açıkalın, S. (2010), Batı Anadolu ve Ege'de Miyosen tektonik bulmacasının kayıp parçası Trakya Eskişehir Fay Zonu TEFZ. 63. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Turkey.
- Wesnousky, S. G., (2008). Displacement and geometrical characteristics of earthquake surface ruptures: Issues and implications for seismic-hazard analysis and the process of earthquake rupture. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(4), 1609-1632.
- Wells, D. L. & Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.



Geyik Dağı Üzerinde Yer Alan Glasiyal Sirkler ile Glasiyo-Karstik Dolinlerin Morfometrik Özellikleri ve Bunların Kuvaterner Kalıcı Kar Sınırı ile İlişkileri
Morphometric Characteristics of Glacial Cirques and Glacio-Karstic Dolines in Mount Geyik and Their Relation to Quaternary Equilibrium Line Altitudes

Muhammed Zeynel Öztürk^{1*}, Mesut Şimşek², Mustafa Utlu³

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Niğde

² Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Hatay

³ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Burdur

• Geliş/Received: 01.05.2025 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 30.05.2025 • Kabul/Accepted: 02.06.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 19.06.2025 • Baskı/Printed: 31.08.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Türkiye'deki dağlık alanların yüksek kesimleri Kuvaterner'in buzul dönemlerinde buzullaşmaya uğradığı için bu alanlarda buzul yer şekillerini yoğun olarak görmektedir ve bu yer şekilleri, dağlık alanlardaki eski buzullaşma koşullarını anlamamızı sağlar. Bu çalışmada, Orta Toroslar önemli karstik platolarından biri olan Geyik Dağı'ndaki sirklerin ve glasiyo-karstik dolinlerin özellikleri incelenmiş ve bu özellikler yardımıyla Kuvaterner buzullaşma dönemlerindeki eski kalıcı kar sınırının (pELA) dağılışı ortaya konmuştur. Haritalama çalışmalarına göre çalışma alanında 142 sirk ve 31 glasiyo-karstik dolin tespit edilmiştir. Bu yer şekillerinin taban yüksekliklerine göre çalışma alanındaki ortalama pELA 2185 m'dir. Ancak bu sınır tek bir seviyede olmayıp; kütlelinin uzanımı, yükseklik, denize göre konum ve toplam yağış gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. pELA yüksek karstik platonun kuzeye bakan kesimlerinde 2400 m'ye kadar çıkarken, batı ve güneybatıya doğru 2000 m ve altına düşmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Doğu Karadeniz ve Akdeniz kıyılarındaki dağlık alanların pELA sınırları arasında 630 m'lik bir yükseklik farkı bulunmaktadır. Sirk morfometrisi açısından ise, Doğu Karadeniz'deki sirkler Geyik Dağı'ndaki sirklerden iki kat daha geniş alana sahip olup ve derinlikleri 75 m daha fazladır. Bu sonuçlar ülkemiz kıyılarındaki dağlık alanların topografik ve iklimsel koşullarının pELA seviyeleri ve sirk morfometrilere üzerinde büyük bir etki yaptığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Buzul sirki, glasiyo-karstik dolin, pELA, Kuvaterner buzullaşması, Geyik Dağı.

Abstract: Since the high-altitude regions of Türkiye's mountainous areas were subjected to glaciation during the Quaternary glacial periods, glacial landforms are prominently developed and well-preserved in these landscapes. These landforms provide valuable insights into the paleoglacial conditions and environmental dynamics of past glaciation events in mountainous terrains. This study investigates the morphometric characteristics of cirques and glacio-karstic dolines on Mount Geyik, one of the key karstic plateaus within the Central Taurus Mountains. Based on the morphometric analyses, the spatial distribution of the paleo-Equilibrium Line Altitude (pELA) during the Quaternary glaciations was systematically reconstructed and interpreted. Mapping efforts identified 142 cirques and 31 glacio-karstic dolines within the study area. Using the floor altitudes of these landforms, the average pELA for the region was estimated at approximately 2185 m. However, this value does not represent a uniform level; rather, it varies as a function of several factors, including massif orientation, elevation, proximity to the sea, and total precipitation. Specifically, the pELA increases to ~2400 m in the north-facing sectors of the high karstic plateau, while it decreases to 2000 m or lower in the western and southwestern sections. These findings reveal a vertical

difference of up to 630 m between the pELA levels of mountainous regions along the Black Sea and Mediterranean Sea coasts. Regarding cirque morphometry, the cirques of the Eastern Black Sea Mountains exhibit surface areas approximately twice as large as those of Mount Geyik, and display depths exceeding Mount Geyik's cirques by an average of 75 m. Overall, the results underscore the significant influence of topographic and climatic variables on pELA variability and cirque morphometry across Türkiye's coastal mountain ranges.

Keywords: *Glacial cirque, glacio-karstic doline, pELA, Mount Geyik, Quaternary glaciation.*

GİRİŞ

Kuvaterner döneminde gerçekleşen buzullaşmalar, özellikle orta enlemlerdeki yüksek dağlık alanların şekillenmesinde belirleyici bir rol oynamıştır. Türkiye'nin dağlık alanlarında bu dönemlere ait buzullaşma izleri genellikle sirkler, moren sırtları ve buzul vadileri şeklinde gözlemlenir. Bu yer şekillerinin analizleriyle Kuvaterner'deki buzul süreçlerinin karakteristikleri belirlenebilmektedir (Sarıkaya vd., 2017; Şimşek vd., 2023; Çılğın vd., 2024). Bu şekiller arasında, çapı birkaç km'ye ulaşabilen ve yarım daire veya amfi tiyatro biçimli çanaklar biçiminde olan sirkler (Derbyshire ve Peterson, 1977; Şekil 1a), geçmiş buzullaşmaların en belirgin kanıtları arasındadır ve bu şekiller morfometrik özellikleriyle eski buzullaşma koşulları hakkında önemli veriler sunarlar (Evans, 1977; Evans vd., 2021; Mîndrescu vd., 2010; Şimşek vd., 2023; Çılğın vd., 2024; Soteris vd., 2025). Türkiye'nin güneyinde yaklaşık 1500 km boyunca kesintisiz bir dağ silsilesi oluşturan Toros Dağları üzerinde (Nazik vd., 2019) Kuvaterner buzul dönemlerine ait çok sayıda sirk bulunmaktadır (Çiner, 2003a; Çılğın, 2020; Öztürk vd. 2021; Evans vd., 2021). Ancak Toros Dağlarında buzullaşmaya uğramış alanların karstik kayalardan oluşmasıyla Anadolu'daki diğer buzullaşmış dağlık alanlardan ayrılmaktadır. Bu durum, bölgede buzullaşma alanlarında karstik ve buzul süreçlerin iç içe geçmesine neden olmuştur (Bayer Altın, 2003; Şimşek vd., 2019a). Bu alanların günümüzde periglasiyal koşullar altında olması da (Öztürk ve Taşoğlu, 2024), Toroslar'daki yüksek karstik platolardaki yer şekillerinin çok kökenli (polijenik) bir gelişim göstermesine neden olmuştur.

Karstlaşma ve buzullaşma süreçleri arasındaki bu etkileşim, literatürde “glasiyo-karst” “glasiyal karst” veya “buzullaşmış karst” olarak tanımlanmaktadır (Žebre vd., 2019; Žebre ve Stepišnik, 2016; Veress, 2023). Glasiyo-karstik alanlar hem karst jeomorfolojisi ve hidrolojisi hem de buzul aşınım ve birikim şekillerinin bir arada bulunduğu karmaşık morfodinamik sistemlerdir (Žebre ve Stepišnik, 2015; González-Gutiérrez vd., 2017). Glasiyo-karstik süreçler birçok polijenik yerşeklinin gelişmesini sağlar ve bunlardan bir tanesi de glasiyo-karstik dolinlerdir (Veress, 2017). Glasiyo-karstik dolinler ya da depresyonlar, günümüzde periglasiyal kuşak içindeki yüksek karstik platolarda bulunan, çapı birkaç km'ye ulaşabilen büyük ve derin çöküntülerdir (Smart, 1987; Žebre ve Stepišnik, 2015; Veress, 2023). Buzul dönemlerinde, kalıcı kar sınırı ya da denge hattı yüksekliği (equilibrium line altitude-ELA) üzerinde kalan bu dolinler, tıpkı bir sirk gibi işlev görerek içinde buzul gelişimini mümkün kılar. Vadilerdeki buzulların aksine, bu dolinler içindeki buzullar sınırlı hareket kabiliyetine sahiptir; ancak büyüme sürecinde anakayayı fiziksel olarak parçalayarak genişlemeye, erime evresinde ise kimyasal ayrışma yoluyla derinleşmeye neden olurlar (Veress ve Lóczy, 2019). Bu özellikleri sayesinde, çevresindeki diğer dolinlerden çok daha büyük boyutlara ulaşırlar ve “dev dolin” olarak adlandırılmaktadırlar (Veress, 2017).

Anadolu'da glasiyo-karstik süreçlerin en belirgin şekilde gözlemlendiği alanlardan biri Geyik Dağı'dır (Şimşek vd., 2019a; Altınay vd., 2020). Bu bölgede karstik ve buzul süreçler üzerine yapılan araştırmalar genellikle birbirinden bağımsız çalışmalar şeklinde gerçekleştirilmiştir

(Çiner vd., 2015; Sarıkaya vd., 2017; Şimşek vd., 2019b; Keserci vd., 2023; Çılğın vd., 2024). Ancak bu süreçleri kantitatif yöntemlerle bir arada değerlendiren kapsamlı ve bütüncül bir çalışma bugüne dek yapılmamıştır. Bu boşluğu doldurmayı amaçlayan bu çalışmada, Geyik Dağı'ndaki Kuvaterner buzullaşmalarına ait pELA yüksekliği, sirkler ve glasiyo-karstik dolinlerin özellikleri birlikte değerlendirilerek ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, buzullaşmaya uğramış karstik alanlarda glasiyo-karstik dolinlerin pELA sınırının belirlenmesinde önemli bilgiler sunduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca pELA'nın ülkemiz kıyılarındaki dağlık alanlarda nasıl bir farklılık gösterdiğini belirlemek için, sirklerin ve morfometrik özelliklerinin bu çalışmada kullanılan teknik ile belirlendiği tek dağ olan Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirk morfometrileri ile karşılaştırılmıştır. Bu

karşılaştırma daha yüksek, daha soğuk ve daha yağışlı bir kütlede neden pELA'nın daha yüksekte olduğu sorusunun cevabını ortaya koymaktadır.

ÇALIŞMA ALANI

Toros Dağları silsilesinin önemli bir bölümünü oluşturan ve en yüksek zirvesi 2.877 m'ye ulaşan Geyik Dağı üzerinde, Toros Dağları'nın en geniş karstik platolarından bir tanesi yer almaktadır. Litolojik açıdan büyük oranda çözünebilen karbonatlı birimlerden oluşan alanda, buzul sirkleri ve karstik şekiller, saflık derecesi %97 CaCO_3 ve üzeri olan, kalınlığı 800–1000 m arasında değişen otokton konumlu, orta kalın tabakalı Jura-Kretase neritik kireçtaşları üzerinde gelişmiştir (Monod, 1977; Şenel vd., 1998; Öztürk vd., 2018; Şimşek vd., 2019b).



Şekil 1. a) Çalışma alanından buzul sirkleri ve **(b)** glasiyo-karstik dolin örnekleri.

Figure 1. a) Glacial cirques and **(b)** glacio-karstic doline examples from the study area.

Çalışma alanı günümüzde periglasiyal morfo-klimatik bölge içerisinde konumlanmaktadır (Öztürk ve Taşoğlu, 2024; Şekil 2a). Toplam 1077 km²'lik bir alanı kapsayan çalışma sahasının %90,3'ü zayıf, %9,5'i orta, %0,2'si ise kuvvetli periglasiyal bölge sınırları içerisinde yer alır. Bu çalışmanın konusunu oluşturan sirkler ve glasiyo-karstik dolinler, günümüzde büyük oranda orta şiddetteki periglasiyal alanlar içerisinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 2b). Bununla birlikte periglasiyal kuşak içerisindeki çıplak kireçtaşları üzerinde, özellikle 1600-2400 m'leri arası yoğun şekilde çözünme dolinleriyle kaplıdır. Bu dolinler bölgedeki tektonik hatlara paralel olarak KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır (Şimşek vd., 2019b).

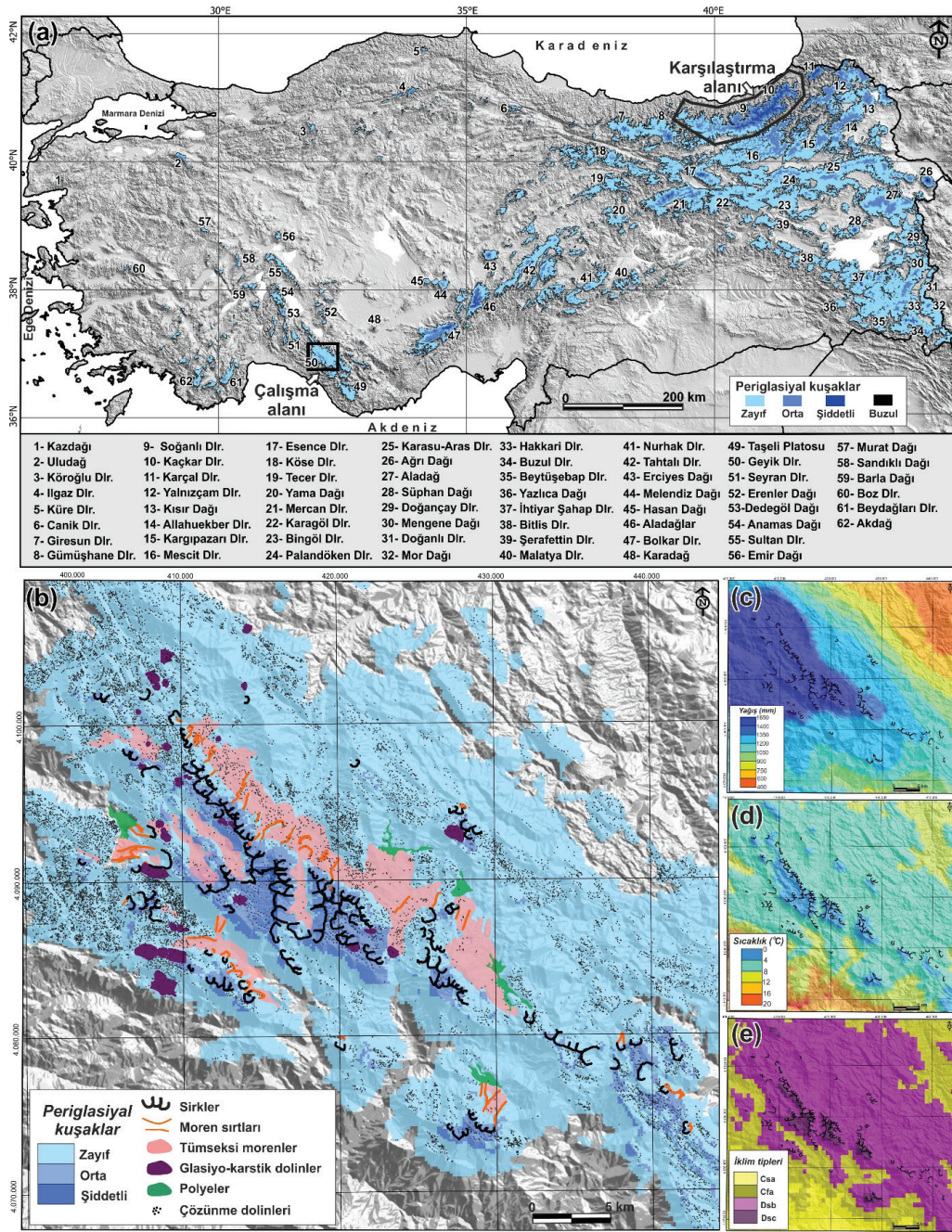
Orta Toroslar'daki en önemli buzullaşma alanlarından biri olan Geyik Dağı üzerinde buzul sirklerinin, moren sırtlarının, tümseksi morenlerin ve örtü buzullarının varlığını literatürde birçok çalışmayla ortaya koymuştur (Arpat ve Özgül, 1972; Çiner vd., 1999, 2003b; Çiner vd., 2015; Sarıkaya vd., 2017; Şimşek vd., 2019b; Keserci vd., 2023; Çılğın vd., 2024). Özellikle moren sırtları üzerinden yapılan analizler, Namaras, Susam, Çimi ve Güneycik buzul vadilerinde Geç Pleyistosen dönemi boyunca üç evreli bir buzul geri çekilmesinin yaşandığını ortaya koymuştur (Çiner vd., 2015). Buzul örtüsünün en fazla genişlediği dönem, yaklaşık 19,1 bin yıl ile 18 bin yıl önceye, yani Son Buzul Maksimumu'na tarihlenmektedir (Çiner vd., 2015; Sarıkaya vd., 2017). Tarihlendirme çalışmaları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli buzul rekonstrüksiyonları sayesinde, Geyik Dağı'ndaki en büyük buzul vadisi olan Namaras Vadisi'nde yaklaşık 75 km²'lik bir alanı kaplayan ve 400 m'ye ulaşan kalınlığa sahip bir piedmont buzulunun geliştiği tahmin edilmektedir (Çılğın vd., 2024).

Küresel iklim verilerinden CHELSA verilerinin (Karger vd., 2021) meteoroloji istasyonu verilerine göre düzenlenmiş değerlerine

göre (Taşoğlu vd., 2024) çalışma alanı içerisinde yıllık toplam yağış miktarı 600 mm ile 1.640 mm arasında değişmektedir. Sirklerin yoğunlaştığı kesimlerde ise bu değer 1.100 mm'nin üzerindedir (Şekil 2c). Yıllık ortalama sıcaklıklar 1 °C ile 9,1 °C arasında değişmekte olup, sirklerin yer aldığı alanlarda sıcaklık değerleri genellikle 5,5 °C'nin altındadır (Şekil 2d). Köppen-Geiger iklim sınıflamasına göre alanın büyük kısmı yaz mevsiminin sıcak ve kurak geçtiği Dsb tipi karasal iklim koşulları altında yer almakta, sirkler ise Dsb ile Dsc iklim tipleri arasındaki geçiş zonu boyunca sıralanmaktadır (Taşoğlu vd., 2024; Şekil 2e). Bu durum, sirklerin üst kesimleri ile tabanları arasında belirgin iklimsel farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır.

VERİ VE YÖNTEM

Karst ve buzul jeomorfolojisine ait birimlerin yaygın olarak görüldüğü alanların jeomorfolojik gelişiminin yorumlanmasında yerşekillerine ait morfometrik hesaplamalar, analizler ve haritalamalar etkili birer araç olarak kullanılmaktadır (Evans ve Cox, 2015; Öztürk vd., 2018; Şimşek vd., 2023; Seven vd., 2025). Morfometrik analizler, karstlaşma ve buzullaşma özellikleri arasındaki bağlantıları bulmak için uygulanmakta ve jeomorfolojik gelişim hakkında hipotezlerin üretilmesini sağlamaktadır (Evans ve Cox, 1995; Şener ve Öztürk, 2019). Bu çalışmada da Geyik Dağı üzerindeki buzul sirkleri ve glasiyo-karstik dolinlerin morfometrik özellikleri incelenmiş ve bu özelliklerden yola çıkarak dağlık alan üzerinde buzul dönemleri sırasındaki eski kalıcı kar sınırı (pELA) tespit edilmeye çalışılmıştır. Tespit edilen değerler Şimşek vd. (2023) tarafından aynı teknik ile belirlenen ve veri setinin açık erişim ile paylaşıldığı Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirk morfometrisi değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.a) Anadolu'daki periglasiyal alanların dağılışı (Öztürk ve Taşoğlu, 2024) ile çalışma alanı ve karşılaştırma alanının konumları. **b)** Çalışma alanı içerisindeki periglasiyal zonların, glasiyal ve karstik yer şekillerinin, **(c)** yıllık toplam yağışın, **(d)** yıllık ortalama sıcaklığın ve **(e)** Köppen-Geiger iklim tiplerinin dağılışı (yağış, sıcaklık ve iklim tipleri Taşoğlu vd., 2024'ten yeniden düzenlenmiştir).

Figure 2.a) Spatial distribution of periglacial zones in Anatolia (Öztürk and Taşoğlu, 2024), along with the locations of the study and comparison areas; **(b)** spatial distribution of periglacial zones, glacial, and karst landforms within the study area; **(c)** total annual precipitation; **(d)** mean annual temperature; and **(e)** Köppen-Geiger climate classifications (precipitation, temperature, and climate data adapted from Taşoğlu et al., 2024).

Çalışmada Geyik Dağı'ndaki buzul sirkleri ve glasiyo-karstik dolinlerin tespiti ve morfometrik özelliklerinin belirlenmesinde 1/25.000 ölçekli topografya haritalarından üretilmiş 10 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) ve eğim haritası ile alana ait uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Haritalama çalışmalarının yanı sıra 2016-2018 döneminde alana birçok defa arazi çalışması gerçekleştirilmiştir.

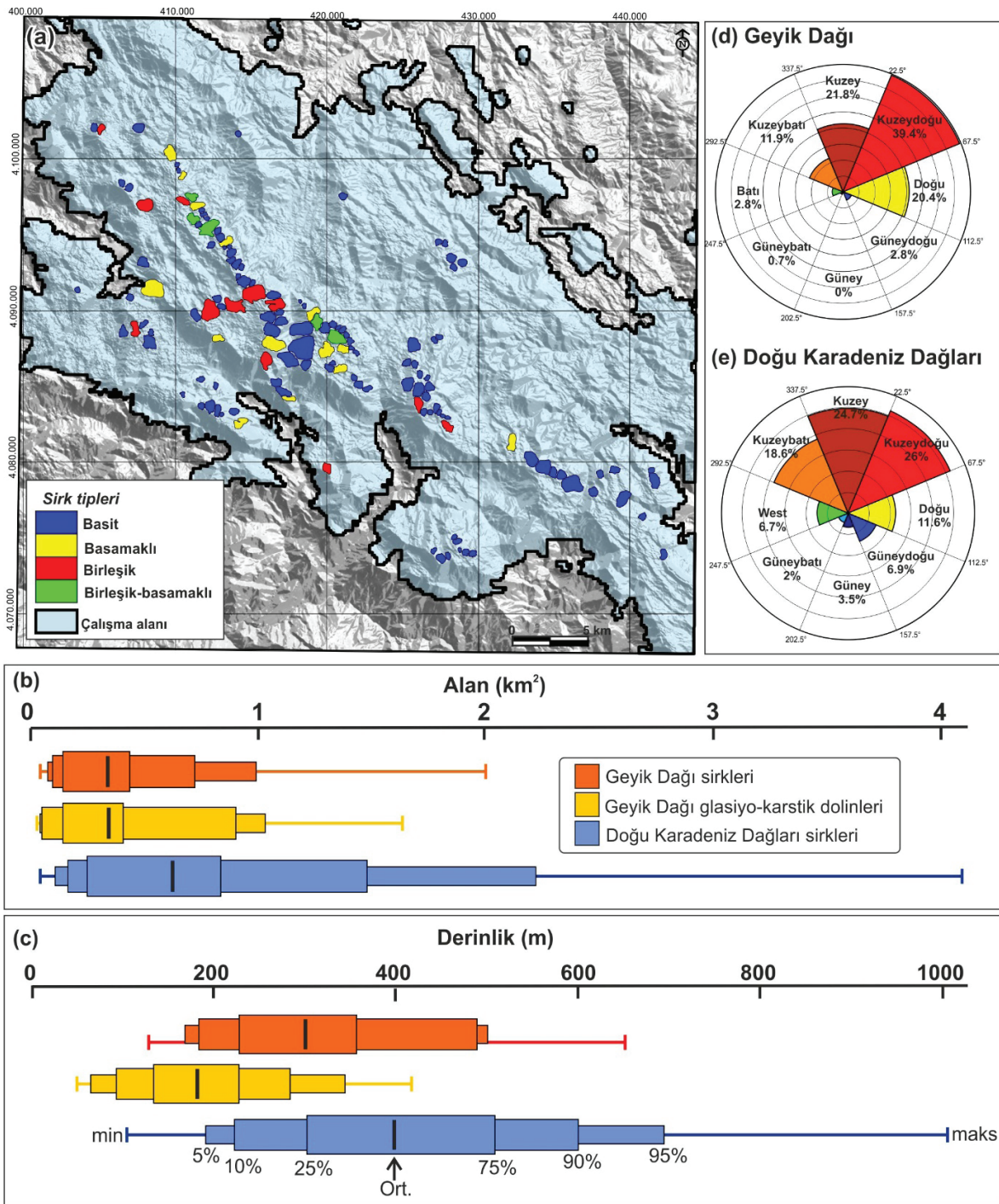
Sirk sınırı, sırtlar üstünde dış bükey gidişli izohipsler ile sirklerin içine doğru uzanan içbükey izohipslerin oluşturduğu sınır üzerinde eğimin 27° olduğu kesimler takip edilerek geçirilmiştir (Evans ve Cox 1995; Barr ve Spagnolo, 2015). Sirk eşiğinin belirgin olmadığı yerlerde, sirkin kavisli duvarlarının sonlandığı kesimden geçirilmek üzere sınır çizilmiştir. Tespit edilen sirkler morfolojik özelliklerine göre Evans (1977), Barr ve Spagnolo (2015) ile Şimşek vd. (2023) tarafından yapılan sınıflandırmaya uygun olarak tekil (basit), (b) basamaklı, (c) birleşik ve (d) birleşik-basamaklı sirkler olarak sınıflandırmıştır. Sirklerin tespit edilmesinin ardından her bir sirke ait yükseklik (m), derinlik (m), alan (km²) ve sirk yönelimi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu parametrelerin her biri buzullaşma koşulları hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Örneğin sirkin en yüksek noktası ile en alçak noktası arasındaki dikey mesafe olarak tanımlanan sirk derinliği buzulun erozyon kapasitesi yani buzulun dikey yönde ne kadar aşındırma yaptığı hakkında önemli bilgiler sunar (Křížek ve Mida, 2013). Buzul sirklerinin yönelimi (bakı), kar birikimi, güneş radyasyonu ve rüzgar gibi çevresel faktörlerle yakından ilişkilidir (Mindrescu vd., 2010; Evans, 1977). Kuzeye bakan sirkler, genellikle daha az güneş radyasyonu aldıkları için kar birikimi ve buzul oluşumu için daha uygun koşullara sahiptir (Şimşek vd., 2023). Sirklerin en alçak alanına karşılık gelen sirk taban yükseklikleri sirk morfometrisindeki en önemli parametredir ve pELA yüksekliklerinin

tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Meierding, 1982; Porter, 2000; Benn ve Lehmkuhl, 2000; Barr ve Spagnolo, 2015; Evans vd., 2021, Şimşek vd., 2023, Soteres vd., 2025; Telbisz vd., 2025). Bu çalışmada glasiyal sirklere ek olarak glasiyo-karstik dolinlerin de yükseklik, alan ve derinlik değerleri hesaplanarak sirkler ile karşılaştırılmıştır. Bu dolinlerin çiziminde genel olarak en üst kapalı kontur eğrisi ve eğim koşulları dikkate alınmıştır.

BULGULAR

Morfometrik özellikler

Haritalama çalışmaları sonucunda çalışma alanı içerisinde 142 adet sirk alanı 31 adet glasiyo-karstik dolin tespit edilmiştir. Sirklerin büyük bölümü (111 adedi, %78'i basit yani tekil sirk karakterindedir. Geriye kalan 31 adet sirk alanı ise birden fazla sirkin birleşmesiyle oluşan, birleşik, basamaklı ve birleşik-basamaklı sirk karakterindedir (Şekil 3a). Türkiye'nin en geniş buzullaşma alanı olan Doğu Karadeniz Dağları'nda ise sirklerin %68'i basit sirklerden oluşurken %32'si birden fazla sirkin birleşmesiyle oluşan sirk türlerindendir (Şimşek vd., 2023). Geyik Dağı'ndaki sirklerin ortalama alanı 0,34 km² olup, en geniş sirk 2 km² yüzey alanına ulaşmaktadır (Şekil 3b). Sirk tiplerine göre en küçük alan 0,27 km² ile basit sirklerle ait iken, bileşik sirklerde 0,64 km²'ye, bileşik-basamaklı sirklerde ise 0,59 km²'ye çıkmaktadır. Çılğın vd. (2024) tarafından Geyik Dağı'ndaki 98 adet sirke göre ortalama sirk alanı 0,28 km² belirlenmiştir. Geyik Dağı'ndaki glasiyo-karstik dolinlerin ortalama alanı (0,36 km²) sirklerin ortalama alanına oldukça yakındır (Şekil 3b). Doğu Karadeniz Dağları'nda ise, ortalama sirk alanı 0,67 km² iken, basit sirkler ortalama 0,4 km², birleşik sirkler 0,9 km² ve bileşik-basamaklı sirklerde ise 1,77 km² alana çıkmaktadır (Şimşek vd., 2023).



Şekil 3.a) Çalışma alanında tespit edilen sirk türlerinin dağılışı. **b)** Geyik Dağı'ndaki sirk ve glasiyo-karstik dolinler ile Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirlere ait alan ve **(c)** derinlik değerlerine ait yüzdesel dağılımları ile **(d, e)** sirlere ait yönelimler.

Figure 3.a) Distribution of cirque types identified within the study area; **(b)** percentage distribution of surface areas; **(c)** depth measurements of cirques and glacio-karstic dolines; and **(d, e)** orientation patterns of cirques in Mount Geyik and the Eastern Black Sea Mountains.

Derinlik açısından Geyik Dağı sirkleri ortalama 302 m derinliğe sahiptir. Derinlik basit sirklerde 281 m iken basamaklı sirklerde 403 m'ye ulaşmaktadır. Çılğın vd. (2024) tarafından 98 adet sirke göre ise derinlik ortalama 319 m olarak belirlenmiştir. Glasiyo-karstik dolinlerin ortalama derinliği ise 184 m'dir (Şekil 3c). Doğu Karadeniz Dağları'nda ise ortalama derinlik 377 m'dir ve sirk türlerine göre ortalama derinlik 319 m ile 573 m arasında değişmektedir. Yukarıda kısaca özetlenen sonuçlara göre, buzullaşmaya uğramış alanlarda buzullaşma şiddeti arttıkça sirkler daha fazla birleşmekte ve bundan dolayı hem derinlikleri hem de alanları artmaktadır. Ayrıca aynı alanda incelenen eleman sayısı arttıkça morfometrik değerlerde önemli farklılaşmalar ortaya çıkmaktadır.

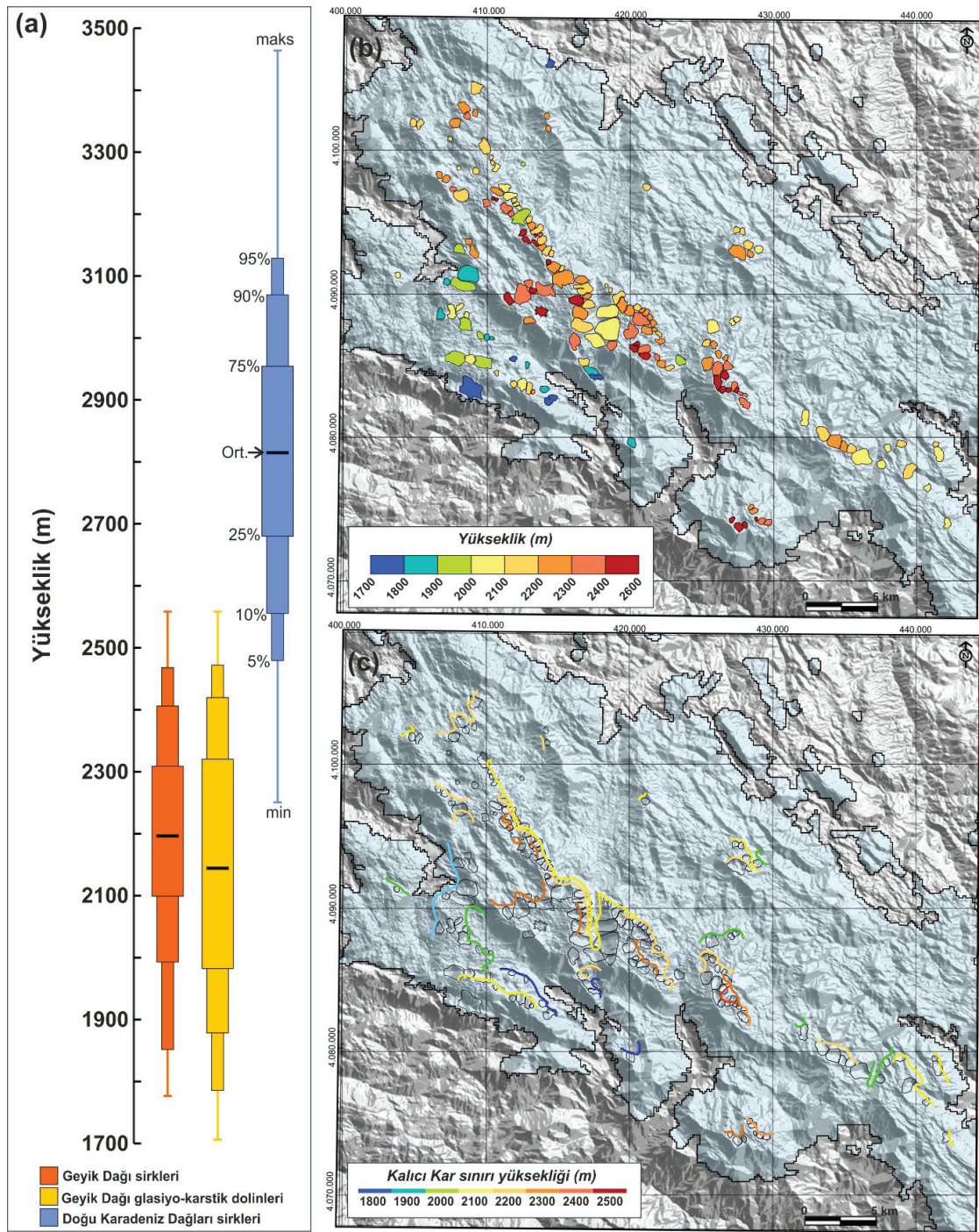
Orta enlemlerde buzullaşma koşulları üzerinde bakı önemli bir etkidir ve Anadolu'da buzullaşma genellikle gölgede kalan ve uzun süre kar örtüsünün korunduğu kuzeye bakan yamaçlarda yoğunlaşmaktadır. Geyik Dağı ve Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirklerin yöneliminde de kuzey sektörü baskındır (Şekil 3e). Ancak, dağlık kütlelerin uzanım yönüne ve yağış getiren hava kütlelerin hareket doğrultusuna bağlı olarak bu kuzey sektörlerde farklılıklar gözlenebilmektedir. Örneğin, KB-GD doğrultusunda uzanan Geyik Dağı'nda sirkler ağırlıklı olarak bu doğrultuya dik olacak şekilde KD yönüne uzanmakta (Şekil 3d), KD-GB doğrultulu Doğu Karadeniz Dağları'nda ise sirkler daha çok KD ve K yönelimli gelişmektedir (Şekil 3e).

pELA

Sirk morfometrisinde birçok yükseklik değerleri hesaplanabilmekle beraber en önemli yükseklik parametresi sirk tabanı yüksekliğidir. Bu seviye buzullaşma dönemlerindeki pELA sınırını göstermesi açısından oldukça önemlidir. Çünkü, pELA bir buz kütlelerinin yıllık kütle kazancı ile kütle kaybının dengelendiği yükseklik

düzeyini ifade etmektedir. Geyik Dağı'ndaki pELA sadece 142 adet sirk taban yüksekliğine göre ortalama 2.191 m olarak belirlenmiştir. 31 adet glasiyo-karstik dolinin ortalama taban yüksekliği ise 2.157 m'dir. Toplam 173 adet şeklin ortalaması dikkate alındığında ise pELA 2.185 m çıkmaktadır. Bu değerlere göre glasiyo-karstik dolinler ortalama taban yüksekliğini 6 m kadar daha aşağı seviyeye çekmiştir. Bu sonuçlara göre Geyik Dağı'nda sirkler ve glasiyo-karstik dolinlere göre belirlenen ortalama pELA yüksekliği ~2.190 m olup, Toros Dağları genel eğilimleriyle büyük ölçüde uyumludur (Şekil 4a). Ancak bu değer, Türkiye ve yakın çevresindeki farklı dağlık alanlarla karşılaştırıldığında belirgin farklılıklar göstermektedir. Türkiye'nin diğer buzul şekillerine sahip dağlık alanlarında pELA değerleri genellikle yükselti, karasallık derecesi, bakı koşulları ve nemlilik rejimi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, Doğu Karadeniz Dağları'nda, özellikle Kaçkar Dağları çevresinde pELA ortalama 2815 m'dir (Şimşek vd., 2023) ve iki dağlık alan arasında ortalama pELA değeri arasında 630 m'lik bir fark bulunmaktadır (Şekil 4a).

Birçok çalışmada bir kütle üzerindeki pELA sınırı tek bir değer olarak gösterilmekle birlikte kütle içerisindeki yerel farklılıklara bağlı olarak, aynı kütle üzerindeki pELA sınırında önemli değişimler görülmektedir. Çalışma alanında, uç değerleri dışarıda bıraktığımızda, tüm sirklerin ve glasiyo-karstik dolinlerin taban yüksekliklerinin yani %80'ni 1.950-2.400 m'leri arasında değişmektedir (Şekil 4a ve b). Taban yükseklikleri KD'ye bakan plato kenarlarında yaygın olarak 2.100-2.000 m'lerde bir dağılışı gösterirken, yüksek karstik plato üzerinde 2.400 m'lere çıkmaktadır. Dağın güney vadileri içerisinde ise pELA 2000 m ve altına düşmektedir (Şekil 4c). Kütle içerisinde B ve GB'ya doğru gidildikçe pELA sınırının düşmesi yağışlı hava kütlelerinin bu yönlerden gelmesiyle ilgilidir (Sarış vd., 2009).



Şekil 4.a) Geyik Dağı ve Doğu Karadeniz Dağları'ndaki sirklerin ve glasiyo-karstik dolinlerin taban yüksekliklerinin istatistiksel dağılımı. **b)** Geyik Dağı'ndaki sirk taban yüksekliklerinin alansal dağılışı ile **c)** pELA sınırlarının dağılışı.

Figure 4.a) Statistical distribution of the floor elevations of cirques and glacio-karstic dolines in Mount Geyik and the Eastern Black Sea Mountains; **(b)** spatial distribution of cirque floor elevations in Mount Geyik; and **(c)** spatial distribution of the paleo-Equilibrium Line Altitude (pELA) in Mount Geyik.

TARTIŞMA

Alpin tipi buzullaşmanın ilk başladığı yerleri işaret eden sirkler hem aktif buzulların bulunduğu alanların ortam yorumlaması için hem de aktif buzulların ortadan kalktığı alanlarda paleocoğrafya yorumu için kantitatif kanıtlar sağlamaktadır (Barr ve Spagnolo, 2015; Evans vd., 2021). Bu ortamsal yorumlarda kullanılan en önemli göstergelerden bir tanesi ELA sınırıdır. ELA buzulun birikim ve erimesi arasındaki dengenin sağlandığı teorik bir seviyedir ve buzul kütle dengesini anlamak için önemlidir (Benn ve Evans, 2014; Oien vd., 2022). pELA bilgisine ulaşmak için dünyanın farklı kesimlerinde sirklerin özellikleri, özellikle de sirklerin taban yükseklikleri yaygın olarak kullanılmıştır (Benn ve Lehmkuhl, 2000; Evans, 2006; Hughes vd., 2007; Bennet ve Glasser, 2009). Benzer çalışma yöntemleri Türkiye'deki dağlık alanlar için de uygulanmıştır ve bu sayede özellikle Batı Toros Dağları ve Doğu Karadeniz

Dağları'ndaki sirk temelli yapılan morfometrik hesaplamalar ile paleoiklim ve paleocoğrafya konularında önemli sonuçlar elde edilmiştir (Çılğın ve Bayrakdar, 2018; 2020; Şimşek vd., 2023).

Birçok çalışmada dağlardaki pELA tek bir yükselti seviyesi olarak ifade edilmektedir (Çizelge 1). Bu değer pELA'nın anlaşılmasını kolaylaştırmakla birlikte pELA'nın doğru bir şekilde açıklanması için yeterli değildir. Çünkü ELA statik bir seviye değildir. ELA küresel ve yerel koşullara, değişen iklim koşullarına bağlı olarak alansal ve zamansal ölçekte önemli değişiklik gösterir (Isbell vd., 2012). Geyik Dağı'nda ortalama ~2.190 m olarak hesaplanan pELA'nın, özellikle GB yamaçlarda 2000 m'nin altına düşmesi ve KD'da 2.400 m'ye kadar yükselmesi bakı, güneşlenme süresi, rüzgâr ve gölgelenme gibi yerel faktörlerin de ELA üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Çalışmalara göre Geyik Dağı üzerindeki pELA seviyeleri

Table 1. Levels of pELA on Mt. Geyik according to the studies.

Kaynak	Yöntem ya da referans gösterilen yayın	Ortalama pELA
Messerli, 1967	Sirk tabanı ve moren dağılışı	2.400-2.500 m
Çiner, 2004	Moren dağılışı ve sınırı	2.000 m
Sarıkaya vd., 2011	Messerli, 1967'den	2.000 m
Çiner vd., 2015	Messerli, 1967; Sarıkaya vd., 2011'den	2.000 m
Sarıkaya ve Çiner, 2015	Çiner vd., 2015'ten	2.500 m
Sarıkaya ve Çiner, 2017	Sirk tabanı ve sirk duvarı yüksekliği	2.000-2.400 m
Çiner vd., 2017	Moren dağılışı ve mutlak yaş	2.000-2.060 m
Sarıkaya vd., 2017	Sarıkaya ve Çiner, 2017'den	2.000-2.400 m
Hughes ve Woodward, 2017	Buzul çalışmalarına göre üretilen izoplet haritası	2.500 m
Hashemi vd., 2022	Sarıkaya vd., 2017'den	2.500 m
Keserci vd., 2023	Geyik Tepesi'nin kuzeyinde yer alan iki adet buzula ait modeli	2.619 m
Çılğın vd., 2024	98 adet sirk tabanı yüksekliği	2.293 m
Bu çalışma	142 adet sirk taban yüksekliğine göre	2.191 m
	142 adet sirk ve 31 adet glasiyo-karstik dolinin taban yüksekliğine göre	2.185 m

ELA konusundaki önemli sıkıntılardan bir tanesi de çalışmalarda incelenen parametreye göre ve analiz sayısına bağlı olarak ELA sınırının farklılaşmasıdır. Geyik Dağı Türkiye’de buzullaşma konusunda en fazla çalışılan dağlık alanlardan birisidir ve Geyik Dağı ile ilgili çalışmalar kullandıkları yöntemlerinden elde ettikleri sonuçlara göre bir pELA seviyesi ortaya çıkarmıştır (Çizelge 1). Literatürde yapılan çalışmalara göre özellikle sirk morfometrisi ve buzul modellemesi konusunda yapılan çalışmalar sayesinde bu sınır daha doğru şekilde ortaya çıkarılmaya başlanmıştır. Ayrıca analize dahil edilen ölçüm sayısı arttıkça bu sınır daha doğru belirlenebilmektedir.

pELA sınırı eski buzullaşma koşulları hakkında önemli bilgiler sağlamakla birlikte buzullaşmanın şiddeti hakkında doğrudan bir fikir vermez. Buzullaşma şiddetinin değerlendirilebilmesi için özellikle sirk alanı ve derinliği gibi bilgilere ihtiyaç vardır. Geyik Dağı’nda sirkler, Doğu Karadeniz Dağları’ndaki sirklerin yaklaşık olarak yarısı büyüklüğündedir ve ortalama derinliği 70 m daha azdır. Bu değerlere göre Doğu Karadeniz Dağları’nda daha şiddetli buzullaşmalar yaşanmıştır ve buzullaşma şiddeti arttıkça daha geniş ve daha derin sirkler oluşur. Doğu Karadeniz Dağları’nda sirklerin olduğu kuzey yamaçlarının Karadeniz’den gelen yağışa açık iken Geyik Dağı’ndaki sirkler alanları yağış gölgesinde kalması Doğu Karadeniz Dağları’nın buzullaşma için daha uygun koşullara sahip olmasını sağlamaktadır. Sirklerin bulunduğu alanlar Geyik Dağı’nda ortalama 5 ay kar örtüsü ile kaplı iken Doğu Karadeniz Dağları’nda ortalama 7 ay kar örtüsü ile kaplıdır (Öztürk ve Taşoğlu, 2024). Yıllık toplam yağış Geyik Dağı’nda 1.600 mm civarında iken Doğu Karadeniz Dağları’nda 2200 mm’nin üstüne çıkmaktadır. Sıcaklıklarda ise ortalama sıcaklık Geyik Dağı’nda 1-7°C arasında iken, Doğu Karadeniz Dağları’nda 0-3°C arasında değişmektedir (Taşoğlu vd., 2024). Ancak daha uygun iklimsel koşullara,

yani daha yağışlı ve daha soğuk olmasına rağmen ortalama pELA Doğu Karadeniz Dağları’nda 630 m daha yukarıdadır. pELA sınırının Doğu Karadeniz Dağları’nda daha yukarıda olması iklime bağlı olmayıp topografik koşulların bir sonucudur. Bilimsel çalışmalar yükseklik arttıkça ELA sınırının da arttığını göstermiştir (Oien vd., 2022; Şimşek vd., 2023; Soteres vd., 2025). Doğu Karadeniz Dağları’nın en yüksek noktası 3.932 m’dir ve 3.500 m’nin üstünde birçok zirve bulunmaktadır. Geyik Dağı’nın en yüksek noktası 2.877 m olup 2.500 m’nin üstünde birçok zirve bulunmaktadır. Dağlık alanlarda yükseklikle beraber eğimin artması (Öztürk ve Taşoğlu, 2024) sirklerdeki buzulların daha hızlı akışa geçmesine neden olmaktadır. Bu durum buzulun birikim bölgesinde yeterince kalamaması nedeniyle sirk tabanındaki buzul erozyonunun daha fazla artmasını engellemekte ve ELA sınırının daha yüksekte kalmasına neden olabilmektedir. Ancak aynı koşullar vadi buzullarının Doğu Karadeniz Dağları’nda daha aşağılara inmesini sağlamaktadır. Bilimsel çalışmalara göre moren sırtları Doğu Karadeniz Dağları’nda 1850 m’ye (Reber vd., 2022) Geyik Dağı’nda ise 1.743 m’ye kadar indiği tespit edilmiştir (Çılğın vd., 2024). Bu değerlere göre dağların en yüksek noktasıyla buzulların ilerlediği en alçak nokta arasında Doğu Karadeniz Dağları’nda 2.080 m, Geyik Dağı’nda ise 1.130 m’lik fark bulunmaktadır.

Sonuç olarak Türkiye’de yükseklik koşulları arttıkça pELA sınırı yukarıya doğru çıkmaktadır. Ancak Alpin kuşakta yükseklik artışı ile birlikte artan eğim koşulları (Öztürk ve Taşoğlu, 2024) buzulların sirkler içerisinden çıkarak vadiler boyunca daha aşağılara hareket etmesini ve çok uzun buzul vadilerinin gelişmesini sağlamaktadır. Bu durum buzullaşma daha şiddetli yaşansa bile pELA sınırının yükseklik ile birlikte artmasına neden olmaktadır.

Türkiye’deki buzul çalışmaları konusunda dikkat çekilen noktalardan bir tanesi de modern ELA’nın yani günümüzdeki kalıcı kar sınırının

kaç metreye denk geldiğinin bulunmasıdır. Bu sınır günümüzde buzulların olduğu dağlarda buzulların bulunduğu yükseklikler baz alınarak hesaplanabilmektedir (Messerli, 1967). Buzulların olmadığı alanlarda ise dikey lapse-rate yani yükseklik ile birlikte gerçekleşen sıcaklık değişimi oranları aracılığıyla hesaplanabilmektedir (Braithwaite ve Raper, 2009). Yıllık ortalama sıcaklık verilerine göre (Taşoğlu vd., 2024) çalışma alanında kıyı kesiminden ortalama pELA seviyesine (2.200 m) kadarki lapse-rate oranı yaklaşık olarak 0,7 °C/100 m'dir. Literatürde belirlenen değerlere göre Geyik Dağı'nda sirklerin oluşabilmesi için sıcaklıkların günümüzden 8°C daha düşük olması gerekmektedir (Çılğın vd., 2024). Buzul modellerinden elde edilen bu değer ve lapse-rate oranı dikkate alındığından modern ELA yüksekliği ~3.350 m yükseklikte yer almaktadır. Daha önceki çalışmalarda bu sınır 3200 m olarak belirlenmiştir (Messerli, 1967; Sarıkaya vd., 2017).

Geyik Dağları ülkemizde buzullaşma açısından dikkat çeken bir alan olduğundan dolayı buzul sirkleri konusunda benzer çalışmalar yapılmıştır. Sirkler konusunda elde edilen değerler karşılaştırıldığında çalışmalarda belirtilen morfometrik değerler arasında farklılıklar dikkat çekmektedir. Örneğin bu çalışmada 2.191 metre olarak belirlenen pELA, 0,34 km² olarak belirlenen sirk alanı ve 302 metre olarak belirlenen sirk derinliği, Çılğın vd. (2024) tarafından sırasıyla 2.293 m, 0,28 km² ve 319 m olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre bu çalışmada belirlenen sirklerin daha geniş alana sahip iken ortalama derinliği daha azdır ve pELA seviyesi ~100 metre daha aşağıdadır. Morfometrik değerlerdeki bu farklılıklar iki temel nedenden kaynaklanmaktadır. İlk olarak tespit edilen sirk sayısındaki farklılıktır. Çılğın vd. (2024) tarafından 98 adet sirk tespit edilmişken bu çalışmada 142 adet sirk tespit edilmiştir. İkinci neden ise sirklerin çizim tekniklerinin farklılığıdır. Sirklerin çizilmesi ve sınıflandırılmasına yönelik çok farklı teknikler bulunmaktadır ve

her iki çalışmada farklı teknikler kullanmıştır. Bu iki temel neden aynı kütlede aynı konuda gerçekleştirilmiş çalışmalarda morfometrik değerler arasında farklılıkların oluşmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak Geyik Dağı hakkında yapılan tüm çalışmalar göz önüne alındığında, pELA sınırının daha doğru belirlenebilmesi için olabildiğince fazla sayıda jeomorfolojik birimin ayrıntılı şekilde haritalanmasının daha doğru sonuç vereceğini ortaya koymuştur.

SONUÇ

Bu çalışma, Orta Toroslar'da bulunan Geyik Dağı'nın jeomorfolojik evriminde buzul ve karstik süreçlerin karmaşık ve iç içe geçmiş rolünü ortaya koymaktadır. Sirklerin ve özellikle ilk kez bu çalışmada pELA analizine dahil edilen glasiyo-karstik dolinlerin incelenmesi, buzul-karst etkileşiminin bölge morfolojisi üzerindeki belirleyici etkisini vurgulamaktadır. Tespit edilen 142 sirk ve 31 glasiyo-karstik dolinin morfometrik özelliklerine göre ortalama pELA değeri 2.185 m olarak hesaplanmış olsa da bu sınırın 2.000 m ile 2.400 m arasında değişkenlik göstermesi, bakı, güneşlenme, rüzgar ve topoğrafya gibi yerel faktörlerin ELA üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Geyik Dağı'ndaki sirklerin ve glasiyo-karstik dolinlerin alansal büyüklükleri açısından önemli bir farklılık bulunmazken, iki şekil arasında derinlik açısından önemli bir fark bulunmaktadır. Derinliğin buzul erozyonunun şiddeti hakkında bir gösterge olduğu kabul edilirse, glasiyo-karstik dolinlerin içerisinde gelişen buzulların sirkler kadar büyük kütlelere ulaşmadığını ya da karstik çanak yapısının buzulu yatay harekete uygun kılmadığını göstermektedir. Bu durum, çanağa sıkışmış buzulların sınırlı erozyon kapasitesine sahip olduklarına işaret edebilir. Bu bulgular, Geyik Dağı'nın, Türkiye'deki dağlık alanlar içinde buzul-karst etkileşimlerinin dinamik yapısını anlamak için önemli bir referans noktası olduğunu ve paleoiklim/paleocoğrafya

çalışmaları için değerli veriler sunduğunu teyit etmektedir.

Anadolu'daki en geniş buzullaşma alanı olan Doğu Karadeniz Dağları ile karşılaştırıldığında ise, şu temel sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Doğu Karadeniz Dağları, Geyik Dağı'na göre daha yüksekte olmasına, daha yağışlı ve daha soğuk bir havaya sahip olmasına rağmen pELA sınırı 630 m daha yukarıdadır. Bu değerlere göre pELA seviyesi üzerinde iklimatik koşullardan ziyade topografik koşulların daha belirleyici olduğu ortaya çıkmaktadır. Ancak buzullaşma daha şiddetli yaşandığından dolayı Doğu Karadeniz sirkleri Geyik Dağı sirklerine göre daha geniş ve derin karakterdedir. Bu sonuç ise pELA sınırı daha yukarı seviyelere çıksa bile buzullaşmanın daha şiddetli yaşandığını göstermektedir.

EXTENDED SUMMARY

Geomorphological investigations of Mount Geyik, one of the most prominent karstic plateaus in the Central Taurus, reveal that its landscape has been shaped by the combined influences of glacial and karstic processes (Fig. 1). Building on detailed morphometric analyses, this study examines the interactions between glacial cirques and glacio-karstic dolines (Fig. 2b), reconstructs the paleo-equilibrium line altitude (pELA) associated with Quaternary glaciations, and compares the statistical morphometric characteristics of cirques in Mount Geyik with those of the Eastern Black Sea Mountains.

As a result of the mapping analyses, 142 cirques were identified within the study area (Figure 3a). The majority of these cirques (78%) exhibit simple morphologies, suggesting that glacial development in Mount Geyik was relatively limited compared to more humid mountain ranges, such as the Eastern Black Sea Mountains. The mean cirque area is 0.34 km², approximately half the average area of cirques in the Eastern Black

Sea Mountains (0.67 km²), while the mean cirque depth is 302 m compared to 377 m, respectively (Figure 3b, c). Despite these general differences, certain cirques in Mount Geyik attain depths of up to 656 m, indicating zones of intense localized glacial erosion. In addition to cirques, 31 glacio-karstic dolines were identified, with an average area of 0.36 km² and an average depth of 184 m. Although similar in surface area to the cirques, these dolines are notably shallower, suggesting either a reduced ice volume during formation or limitations on glacier movement imposed by the underlying karstic morphology.

Similar to other mountainous regions in Türkiye, the cirques in Mount Geyik predominantly display a north-facing orientation. However, this dominant northern alignment varies according to the mountain's overall topographic configuration. In Mount Geyik, where the massif extends along a northwest-southeast axis, most cirques face northeast, perpendicular to the main ridge (Figure 3d & e). This pattern underscores the combined influence of topographic controls and the direction of moisture-bearing air masses on cirque development.

The study estimated the paleo equilibrium line altitude (pELA) using floor elevations from both cirques and glacio-karstic dolines, marking the first investigation to incorporate glacio-karstic dolines into pELA analysis for Mount Geyik. The mean pELA was calculated as 2185 m, aligning with previous estimates (Table 1) but offering higher resolution due to the inclusion of 173 landforms (Figure 4a–c). Depending on aspect, location, and elevation, the pELA varies regionally between 2,000 m and 2,400 m. The northeastern borders of the high plateau display the highest pELA values (~2,400 m), while the western and southwestern slopes exhibit lower pELA levels, often below 2,000 m.

Mount Geyik experienced less intense glaciation compared to the Eastern Black Sea

Mountains, as reflected in its lower mean pELA of 2,185 m versus 2,815 m in the Eastern Black Sea region. However, this 630 m difference cannot be attributed solely to meteorological conditions; it reflects significant differences in topographic parameters, particularly maximum elevation and slope gradient. The Eastern Black Sea Mountains, with peaks reaching up to 3,900 m and steeper relief, exert stronger control over glacier dynamics, leading to equilibrium line altitudes at much higher elevations. In contrast, the considerably lower summit elevations of Mount Geyik, peaking at 2,877 m, result in a lower pELA despite the region's generally drier and warmer climate. These findings align with previous research indicating that equilibrium line altitude increases with altitude and slope steepness due to enhanced glacier flow and reduced accumulation area efficiency (Evans et al., 2021; Oien et al., 2022; Soteres et al., 2025). The modern equilibrium line altitude for Mount Geyik, based on lapse rate analysis and modeled paleo temperatures (Çılğın et al., 2024), is estimated at approximately 3350 m, corroborating earlier estimates of ~3,200 m (Messerli, 1967; Sarıkaya et al., 2017).

This study makes a significant contribution to understanding glacier–karst interactions in the Taurus Mountains by elucidating the morphometric characteristics of glacial cirques and glacio-karstic dolines. Incorporating glacio-karstic dolines into pELA analysis represents a methodological advance, providing a more comprehensive framework for reconstructing paleoglacial conditions in Mediterranean-type alpine karst environments. As the number of analyzed landforms increases, the statistical reliability of pELA estimates improves, allowing for more accurate interpretations of Quaternary paleoclimate dynamics. Moreover, this approach enables more precise predictions of modern equilibrium line altitude thresholds in formerly glaciated regions by applying lapse rate values and paleo temperature models. Thus, the

methodology presented here not only enhances paleoenvironmental reconstructions but also offers a robust basis for estimating modern equilibrium line altitudes in glacio-karst mountain systems.

ORCID

Muhammed Zeynel Öztürk  <https://orcid.org/0000-0002-9834-7680>

Mesut Şimşek  <https://orcid.org/0000-0002-4678-4336>

Mustafa Utlı  <https://orcid.org/0000-0002-7508-4478>

KAYNAKÇA / REFERENCES

- Altınay, O., Sarıkaya, M. A. & Çiner, A. (2020). Late-glacial to Holocene glaciers in the Turkish mountains. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2, 119–133. <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00024-7>
- Arpat, E. ve Özgül., N. (1972). Orta Toroslar'da Geyik Dağı yöresinde kaya buzulları. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 78, 30-35.
- Barr, I. D. & Spagnolo, M. (2015). Glacial cirques as palaeoenvironmental indicators: Their potential and limitations. *Earth-Science Reviews*, 151, 48–78. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2015.10.004>
- Bayer Altın, T. (2003). *Aladağlar üzerinde (Ecemiş Çayı Akları) buzul ve karst jeomorfolojisi* [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Benn, D. I. & Lehmkuhl, F. (2000). Mass balance and equilibrium-line altitudes of glaciers in high-mountain environments. *Quaternary International*, 65, 15-29. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(99\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(99)00034-8)
- Benn, D. & Evans, D. J. (2014). *Glaciers and glaciation*. Routledge.
- Bennet, M. & Glasser, N. (2009). *Glacial Geology, Ice Sheets and Landforms*. UK, Wiley-Blackwell.
- Braithwaite, R. J. & Raper, S. C. B. (2009). Estimating equilibrium-line altitude (ELA) from glacier inventory data. *Annals of Glaciology*, 50(53), 127-132. <https://doi.org/10.3189/172756410790595930>

- Çılğın, Z. (2020). 3D Surface Modeling of Late Pleistocene Glaciers in the Munzur Mountains (Eastern Turkey) and its paleoclimatic implications. *Turkish Journal of Earth Sciences* 29: 714-732. <https://doi.org/10.3906/yer-1905-18>
- Çılğın, Z. & Bayrakdar, C. (2018). Morphometric characteristics of the glacial cirques on Mount Dedegöl. *Journal of Geography* 36: 27-48. <https://doi.org/10.26650/JGEOG411356>
- Çılğın, Z. & Bayrakdar, C. (2020). Morphometric characteristics of the glacial cirques in the Teke Peninsula, Southwestern Anatolia. *Turkish Geographical Review*, 74, 107-121. <https://doi.org/10.17211/tcd.729978>
- Çılğın, Z., Evans, I.S., Keserci, F., Canpolat, E. & Bayrakdar, C. (2024). Morphometric characteristics of glacial cirques and former glaciers in the Geyik Mountains, Western Taurus, Türkiye. *Geomorphology* 467, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109474>
- Çiner, A., Deynoux, M. & Çörekçioğlu, E. (1999). Hummocky moraines in the Namaras and Susam valleys, Central Taurids, SW Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 18, 4-5, 659-669.
- Çiner, A. (2003a). Türkiye'nin güncel buzulları ve geç Kuvaterner buzul çökelleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 46(1), 55-78. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28630/590866>
- Çiner, A. (2003b). Geyikdağ'da (Orta Toroslar) Geç Kuaterner buzullaşmasına ait morenlerin sedimanter fasiyes analizi ve ortamsal yorumu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 46(1), 35-54. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28630/590852>
- Çiner, A. (2004). Turkish glaciers and glacial deposits. In Ehlers, J. & Gibbard, P.L. (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*, Elsevier, Volume 2, Part 1, 419-429.
- Çiner, A., Sarıkaya, M. A. & Yıldırım, C. (2015). Late Pleistocene piedmont glaciations in the Eastern Mediterranean; insights from cosmogenic ³⁶Cl dating of hummocky moraines in southern Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 116, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.017>
- Çiner, A., Sarıkaya, M. A. & Yıldırım, C. (2017). Misleading old age on a young landform? The dilemma of cosmogenic inheritance in surface exposure dating: moraines vs. rock glaciers. *Quaternary Geochronology*, 42, 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2017.07.003>
- Derbyshire, E. & Peterson, J. A. (1977). Nivation cirque. *Australian Geographer*, 13(6), 416-419. <http://dx.doi.org/10.1080/00049187708702721>
- Evans, I. S. (1977). World-wide variations in the direction and concentration of cirque and glacier aspects. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 59(3-4), 151-175.
- Evans, I. S., Çılğın, Z., Bayrakdar, C. & Canpolat, E. (2021). The form, distribution and palaeoclimatic implications of cirques in southwest Turkey (Western Taurus). *Geomorphology*, 391, Article 107885. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2021.107885>
- Evans, I. S. (2006). Geomorphometry. In Goudie, A. S. (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology Volume-1*, 435-439.
- Evans, I. S. & Cox, N. J. (2015). Size and shape of glacial cirques: comparative data in specific geomorphometry. In Jasiewicz J., Zwoliński Zb., Mitsova H., Hengl T. (Eds.), *Geomorphometry for Geosciences*. Adam Mickiewicz University in Poznań.
- Evans, I. S. & Cox, N. J. (1995). The form of glacial cirques in the English Lake District, Cumbria. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 39(2), 175-202. <https://doi.org/10.1127/zfg/39/1995/175>
- González-Gutiérrez, R. B., Santos-González, J., Gómez-Villar, A., Alonso-Herrero, E., García-de Celis, A., Cano, M. & Redondo-Vega, J. M. (2017). Glaciokarst landforms in the Siera de los Grajos, Babia and Luna natural park (Cantabrian Mountains, NW Spain). *Acta Carsologica*, 46(2-3). <https://doi.org/10.3986/ac.v46i2-3.5001>
- Hashemi, A., Sarıkaya, M. A., Görüm, T., Wilcken, K. M., Çiner, A., Žebre, M., Stepšnik, U. & Yıldırım, C. (2022). The Namaras rock avalanche: Evidence of mid-to-late Holocene paraglacial activity in the Central Taurus Mountains, SW Turkey. *Geomorphology*, 408, Article 108261. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108261>

- Hughes, P. D. & Woodward, J. C. (2017). Quaternary Glaciation in the Mediterranean Mountains. *Geological Society, London, Special Publications*, 433, 1-23. <http://doi.org/10.1144/SP433.14>
- Hughes, P. D., Gibbard, P. L. & Woodward, J. C. (2007). Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece. *Geomorphology*, 88(3), 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.11.008>
- Isbell, J. L., Henry, L. C., Gulbranson, E. L., Limarino, C. O., Fraiser, M. L., Koch, Z. J., ... & Dineen, A. A. (2012). Glacial paradoxes during the late Paleozoic ice age: Evaluating the equilibrium line altitude as a control on glaciation. *Gondwana Research*, 22(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.11.005>
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhrner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P. Kessler, M. (2021). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *EnviDat* <https://www.doi.org/10.16904/envidat.228>
- Keserci, F., Güngör, G., Bozdoğan, M., Canpolat, E., Çılğın, Z. ve Bayrakdar, C. (2023). Geyik Dağı güncel buzulları ve morfometrik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 84, 199-217. <https://doi.org/10.17211/tcd.1395806>
- Křížek, M. & Mida, P. (2013). The influence of aspect and altitude on the size, shape and spatial distribution of glacial cirques in the High Tatras (Slovakia, Poland). *Geomorphology*, 198, 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.012>
- Meierding, T. C. (1982). Late Pleistocene glacial equilibrium-line altitudes in the Colorado Front Range: a comparison of methods. *Quaternary research*, 18(3), 289-310.
- Messerli, B. (1967). Die Eiszeitliche und die Gegenwärtige Vergletscherung in Mittelmeerraum. *Geographica Helvetica*, 22, 105-228.
- Mîndrescu, M., Evans, I. S. & Cox, N. J. (2010). Climatic implications of cirque distribution in the Romanian Carpathians: palaeowind directions during glacial periods. *Journal of Quaternary Science*, 25(6), 875-888. <https://doi.org/10.1002/jqs.1363>
- Monod, O. (1977). *Recherches géologiques dans le Taurus occidental au sud de Beyşehir (Turquie)*. These Université Paris Sud, Orsay, 442 pp.
- Nazik, L., Poyraz, M. & Karabıyıkoglu, M. (2019). Karstic Landscapes and Landforms in Turkey. In Kuzucuoğlu, C., Çiner, A. & Kazancı, N. (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey*. Springer International Publishing, Switzerland.
- Oien, R. P, Rea, B. R, Spagnolo, M., Barr, I. D. & Bingham, R. G. (2022). Testing the area–altitude balance ratio (AABR) and accumulation–area ratio (AAR) methods of calculating glacier equilibrium-line altitudes. *Journal of Glaciology*, 68(268). 357-368. <https://doi.org/10.1017/jog.2021.100>
- Öztürk M. Z., Şimşek M., Şener M. F. & Utlu M. (2018). GIS based analysis of doline density on Taurus Mountains, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 77, Article 536. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7717-7>
- Öztürk, M. Z., Şimşek, M. ve Utlu, M. (2021). Anadolu'nun sirk gölleri. *Türk Coğrafya Dergisi* (78), 49-60. <https://doi.org/10.17211/tcd.998089>
- Öztürk, M. Z. & Taşoğlu, E. (2024). Alpine periglacial zones in Anatolia: spatial distribution and main characteristics. *Mediterranean Geoscience Reviews*, <https://doi.org/10.1007/s42990-024-00115-9>
- Porter, S. C. (2000). Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation. *Quaternary science reviews*, 20(10), 1067-1091. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(00\)00178-5](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00178-5)
- Reber, R., Akçar, N., Tikhomirov, D., Yesilyurt, S., Vockenhuber, C., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S. & Schlüchter, C. (2022). LGM Glaciations in the Northeastern Anatolian Mountains: New Insights. *Geosciences*, 12, 257. <https://doi.org/10.3390/geosciences12070257>
- Sarıkaya, M. A. & Çiner, A. (2017). The late quaternary glaciation in the Eastern Mediterranean. In Huges, P., Woodward, J. (Eds.), *Quaternary Glaciation in the Mediterranean Mountains, Geological Society of London Special Publication*, 433, 289-305. <http://doi.org/10.1144/SP433.4>

- Sarıkaya, M. A. ve Çiner, A. (2015). Türkiye Geç Pleyistosen buzullaşması ve paleoklimi. *MTA Dergisi*, 151, 111-132.
- Sarıkaya, M. A., Çiner, A. & Yıldırım, C. (2017). Cosmogenic ³⁶Cl glacial chronologies of the Late Quaternary glaciers on Mount Geyikdağ in the Eastern Mediterranean. *Quaternary Geochronology*, 39, 189-204. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2017.03.003>
- Sarıkaya, M. A., Çiner, A. & Zreda, M. (2011). Quaternary glaciations of Turkey. In Ehlers, J., Gibbard, P.L., Hughes, P. D. (Eds.), *Quaternary Glaciations e Extent and Chronology; a Closer Look* (p.: 393-403). Elsevier, Amsterdam,.
- Sariş, F., Hannah, D. M. & Eastwood, W. J. (2010). Spatial variability of precipitation regimes over Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 55(2), 234–249. <https://doi.org/10.1080/02626660903546142>
- Seven, M., Öztürk, Y., Gürgöze, S., Ege, İ. ve Tonbul, S. (2025). Engizek Dağı'nda karstik depresyonların jeomorfik özellikleri ve morfotektonik gelişimleri (Kahramanmaraş, Doğu Toroslar). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 68(2), 259-286. <https://doi.org/10.25288/tjb.1647807>
- Smart, P. L. (1987). Origin and development of glacio-karst closed depressions in the Picos de Europa, Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 30(4), 423-443.
- Soteres, R. L., Cabrera, D. A., Martini, M. A., Sagredo, E. A., Pedraza, J., Carrasco, R. M., ... & Araos, J. M. (2025). Paleoglacial and paleoclimate inferences from cirque morphometry and spatial distribution across northern Patagonia (40°–45° S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Article 112939. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2025.112939>
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Metin, S., Esentürk, K., Bölükbaşı, S. ve Özgül, N. (1998). Orta Toroslar'da Güzelsu Koridoru ve kuzeyinin jeolojisi. *MTA Dergisi*, 120, 171-197.
- Şener, M. F. & Öztürk, M. Z. (2019). Relict drainage effects on distribution and morphometry of karst depressions: A case study from Central Taurus (Turkey). *Journal of Cave and Karst Studies*, 81, 33-43. <https://dx.doi.org/10.4311/2018ES0111>
- Şimşek, M., Öztürk, M. Z., Yeşilyurt, S. & Utlu, M. (2023). Morphometric characteristics and paleogeographic implication of glacial cirques in Eastern Black Sea Mountains (Türkiye). *Geomorphology* 441, Article 108889. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108889>
- Şimşek, M., Utlu, M., Poyraz, M. ve Öztürk, M. Z. (2019a). Geyik Dağı kütesinin yüzey karstı jeomorfolojisi ve kütle üzerindeki karst-buzul jeomorfolojisi ilişkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29(2), 97–110.
- Şimşek, M., Öztürk, M. Z. ve Turoğlu, H. (2019b). Geyik Dağı üzerindeki dolin ve uvalaların morfotektonik önemi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 72, 13-20. <https://doi.org/10.17211/tcd.501724>
- Taşoğlu, E., Öztürk, M. Z. & Yazıcı, Ö. (2024). High Resolution Köppen-Geiger Climate Zones of Türkiye. *International Journal of Climatology*, 44(14), 5248-5265. <https://doi.org/10.1002/joc.8635>
- Telbisz, T., Krasznai, M., Gachev, E., Gikov, A. & Ruszkiczay-Rüdiger, Z. (2025). Cirque morphometry of Rila and Pirin Mountains (Bulgaria). *Geomorphology*, 483, Article 109819. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.109819>
- Veress, M. & Lóczy, D. (2019). General Description of Glaciokarsts. In *Glaciokarsts* (pp.: 23-69). Springer Geography. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97292-3_2
- Veress, M. (2017). Solution DOLINE development on GLACIOKARST in alpine and Dinaric areas. *Earth-Science Reviews*, 173, 31-48. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.08.006>
- Veress, M. (2023). Landscape Evolution in Glacier Valleys of Glaciokarsts. *Geosciences*, 13, 308. <https://doi.org/10.3390/geosciences13100308>
- Žebre, M. & Stepišnik, U. (2015). Glaciokarst landforms and processes of the southern Dinaric Alps. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(11), 1493–1505. <https://doi.org/10.1002/esp.3731>
- Žebre, M. & Stepišnik, U. (2016). Glaciokarst geomorphology of the Northern Dinaric Alps: Snežnik (Slovenia) and Gorski Kotar (Croatia). *Journal of Maps*, 12(5), 873–881. <http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2015.1095133>

Žebre, M., Sarıkaya, M.A., Stepišnik, U., Yıldırım, C. & Çiner, A. (2019). First ^{36}Cl cosmogenic moraine geochronology of the Dinaric Mountain karst: Velež and Crvanj Mountains of Bosnia and Herzegovina. *Quaternary Science Reviews*, 208, 54-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.02.002>



Salda Gölü Mikrobiyalitlerine Dair Yeni Bulgular ve Astrojeolojik Önemleri
(Burdur, GB-Türkiye)
New findings about the Lake Salda Microbialites and Their Astrogeological Significance
(Burdur, SW-Türkiye)

Nurgül Balcı 

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Jeomikrobiyoloji-Biyojeokimya Laboratuvarı, Ayazağa Yerleşkesi, 34469, İstanbul*

• Geliş/Received: 20.03.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 21.06.2025 • Kabul/Accepted: 23.06.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 17.08.2025 • Baskı/Printed: 31.08.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Salda Gölü’nde (Güney Batı Anadolu) sulu magnezyum karbonat (SMK) içerikli güncel mikrobiyalitler, kıyı şeridi boyunca ve 15 m su derinliğine kadar uzanan, birkaç cm büyüklüğünden yaklaşık 10 m yüksekliğe ve 3-4 m genişliğe kadar varan yapılar şeklinde oluşmaya devam etmektedir. Sunulan çalışma kapsamında, ilk defa bu organo-sedimanter yapıların, morfolojileri, sedimentolojik ve dokusal özellikleri ortaya konulmuş; türlerine göre sınıflandırılmış ve göldeki mekansal dağılımları haritalanmıştır. Bu kapsamda gölün litoral kısmında 5 farklı mikrobiyalit zonu belirlenmiştir. Göldeki, stromatolitik-trombolitler en baskın mikrobiyalit türüdür ve gölün belirli kısımlarında tayin edilmişlerdir. Stromatolitik-trombolitler, genellikle kubbemsi ve karnabahar; nadiren tabular (yassı) olmak üzere çok çeşitli makro morfolojiye sahiptir. Orta ölçekte (cm), stromatolitik-trombolitler parmak şekilli (2-5 cm) laminalı mini sütunlar, yumru şekilli dendritik ve soğanimsi büyüme yapıları sergiler. Karnabahar morfolojisine sahip trombolitler birleşerek derinlerde (10-20 m) resif benzeri geniş bir yapı oluşturmaktadırlar. Stromatolitik ve dendritik iç yapıli mikrobiyalitler gölün belirli zonları ile sınırlıdır (Zon 2, 3). Mikrobiyalitlerin, makro boyuttaki dış morfolojisi, öncelikle hakim çevresel koşulların etkisi altında şekillenmektedir. Gölün su seviyesindeki mevsimsel dalgalanmalar, sedimantasyon oranlarındaki bölgesel farklılıklar, hakim rüzgar ve akıntılar depolanma ortamını kontrol eden başlıca faktörlerdir. Mikrobiyalitlerin iç büyüme yapısı, mikrobiyal topluluk yapısı ile çökme ortamının koşullarına bağlıdır. Mikrobiyal tabakada yapılan mineralojik çalışma ile, ilk defa hücre dışı polimerik madde (HPM) ile yakından ilişkili farklı bir SMK minerali olan dipinjit minerali ($Mg_5(CO_3)_4 \cdot OH_2 \cdot 5H_2O$) tespit edilmiştir. Mikrobiyalitlerin petrografik incelemeleri, karbonatlar içinde bol miktarda dikey ve dikeye yakın konuma sahip filament (mineralize?) benzeri yapıların varlığını ortaya koymuştur. Nodüler aragonitler genellikle mikrobiyal tabakalarla ilişkili iken, boşluklarda gelişen lifler ve bunların bir araya gelmesi ile oluşan aragonit yelpazeleri, izopak saçaklar göldeki ikincil ve abiyotik karbonat çökmesine işaret etmektedir. Morfolojik, mineralojik ve dokusal çeşitlilikleri nedeniyle Salda Gölü mikrobiyalitleri hem jeolojik kayıtlardaki Mg-karbonatların hem de Mars kraterlerinden biri olan Jezero Krateri’ndeki paleogölde tespit edilen SMK’ların kökeni ve oluşum süreçlerini ortaya koymak için potansiyel modern bir analogdur. Bu çalışmada, Salda Gölü mikrobiyalitlerinin kökenleri, oluşum mekanizmaları ve biyoiz koruma potansiyeli elde edilen yeni veriler ışığında, değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoiz, Dipinjit, GB-Türkiye, Mars, Salda Gölü, sulu magnezyum karbonat.

Abstract: In Lake Salda (Southwestern, Türkiye), modern microbialites containing hydrated Mg carbonates continue to form on the shoreline of the lake and at 15 m water depth in structures ranging from a few cm in size to about 10 m in height with 3-4 m width. For the first time, these organo-sedimentary structures were classified and their

morphotypes, sedimentological and textural characteristics along with their spatial distribution in the lake were identified. In this context, 5 different zones were identified in the lake. In the lake, stromatolitic thrombolites are the most dominant microbialite type, while stromatolites and thrombolites are restricted to certain parts of the lake. Stromatolitic thrombolites have a wide variety of morphologies, usually dome-shaped and cauliflower-like, while they are rarely tabular. On a meso-scale (cm), stromatolitic thrombolites exhibit finger-shaped (2-5 cm) laminated mini-columns, and dendritic, and bulbous growth structures. Thrombolites with cauliflower morphology coalesce to form a large reef-like structure at depth (10-20 m). Thrombolites with stromatolitic laminae and dendritic internal structure are limited to certain zones in the lake (Zone 2, 3). The macro-scale external morphology of the microbialites is shaped primarily by the influence of the prevailing environmental conditions. Seasonal fluctuations in lake water level, regional differences in sedimentation rates, prevailing winds and currents are the main factors controlling the depositional environment. The internal growth structure of microbialites depends on the microbial community structure and the conditions of the depositional environment. Mineralogical study of the microbial layer revealed a different hydrated Mg carbonate mineral, dypingite ($Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$), for the first time. This mineral, closely related to extracellular polymeric matter (EPS), is the precursor of hydromagnesite. Petrographic investigations of the microbialites revealed the presence of abundant vertical and near-vertical filament (mineralised?)-like structures associated with carbonates, exhibiting a clotted texture containing peloids of various sizes in addition to a thin lamination. Nodular aragonites are generally associated with microbial layers, while fibres developed in voids and aragonite fans and isopach fringes formed by their aggregation indicate secondary and abiotic carbonate precipitation in the lake. Due to their structural, mineralogical and compositional diversity, Lake Salda microbialites are a potential modern analogue that may reveal the origin and formation processes of both Mg-carbonates in the geological record and hydrated Mg-carbonates detected in a possible palaeolake in Jezero crater, one of the Martian craters. In this study, new data on Lake Salda microbialites is evaluated in terms of their origin, formation mechanism and potential for biosignatures.

Keywords: Biosignature, Dypingite, hydrated magnesium carbonates, SW Türkiye, Mars, Lake Salda.

GİRİŞ

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin etkileşimiyle oluşan mikrobiyalitler, Arkeen'den günümüze kadar farklı jeokimyasal ortamlarda oluşan karbonatlı organo-sedimanter yapılarıdır (Reid vd., 1995; Ferris vd., 1997; Allwood vd., 2006; Andersen vd., 2011; Burne vd., 2014; Frantz vd., 2015; Chagas vd., 2016). Bu bağlı, taşlaşmış, organo-sedimanter yapıların, Yerküre'deki en eski yaşam formu olduğu ve 3 milyar yıldan daha uzun bir tortul kayda sahip olduğu düşünülmektedir (Awramik ve Margulis, 1974; Allwood vd., 2006; Van Kranendonk vd., 2008). En eski bu makro fosillerin içerdikleri jeokimyasal kayıtların deşifre edilerek yeniden yapılandırılması, öncelikle benzer güncel oluşumların anlaşılmasına bağlıdır.

Güncel mikrobiyalitler tatlı su dereleri ve göllerinden, alkali göllere, kaplıcalara (Brasier vd., 2015, 2018; De Boever vd., 2017a, ve b) ve krater göllerine (Kempe ve Kaźmierczak, 1993; Arp vd.,

2003) kadar çok çeşitli jeokimyasal ortamlarda oluşmaktadırlar. Mikrobiyalitler, oluştukları farklı ortamların jeokimyasal, mikrobiyolojik ve fizikokimyasal özelliklerini yansıtan birer arşiv özelliği taşımaktadırlar. Jeolojik kayıtlarda ki mikrobiyalitlerin sedimentolojik, jeokimyasal ve mikropaleontolojik özelliklerini derleyen kapsamlı çalışmalara rağmen, bu kayaçların kökenine ilişkin tartışmalar halen devam etmektedir (Grotzinger ve Rothman, 1996; Grotzinger ve Knoll, 1999; Corsetti ve Storrie-Lombardi, 2003; Allwood vd., 2006). Mikrobiyalitler üzerinde yapılan son çalışmalar, bu yapıların oluşumunun ve morfolojisinin farklı ölçeklerde gelişen biyolojik ve çevresel etkilerle yakından bağlantılı olduğunu göstermiştir (Ginsburg, 1991; Gomez, vd., 2014; Chagas vd., 2016). Güncel mikrobiyalitler üzerinde yürütülen mikrobiyal çeşitlilik, sedimanter yapı analizi ve izotopik bileşimlerle ilgili çalışmalar farklı metabolik reaksiyonların bu yapıların oluşmasına doğrudan veya dolaylı

olarak katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur. Örneğin, oksijenik ve anoksijenik fotosentezin yanısıra, çeşitli karbon fiksasyon süreçleri ile sülfür metabolizmasının (Riding, 2006; Wacey vd., 2011) mikrobiyalitlerde karbonat oluşumuna neden olduğu öne sürülmüştür. Söz konusu bu mikrobiyal süreçlerin yanısıra, abiyojenik faktörlerin de bu oluşumlara katkısı farklı çalışmalarda ortaya konmuştur. Örneğin, Arp vd. (2001), oksijenik fotosentezin alkali ortamlarda her zaman karbonat çökelimine neden olmadığını göstermiştir. Aloisi (2008) ve Meister (2013; 2014) yaptıkları çalışmalarda kabul görülen aksine, mikrobiyal sülfat indirgenmesinin her zaman karbonat oluşumunu tetiklemediğini göstermişlerdir. Tüm bu kapsamlı araştırmalara rağmen, mikrobiyalitlerin oluşmasında ve gelişmesinde etkili biyotik ve abiyotik süreçlerin neler olduğu; daha da önemlisi, bu süreçlerle ilişkili biyoizlerin jeolojik kayıtlarda ne ölçüde korunduğu ve nasıl deşifre edileceği konusunda ki bilgilerimiz hala sınırlıdır.

Denizel ortamlarda gelişen benzerlerine oranla, çok çeşitli su kimyasına (örn. tatlı, tuzlu, alkali, sıcak su kaynakları gibi) sahip karasal sularda -özellikle gölssel- oluşan mikrobiyalitler, bu farklı jeokimyasal ortamları arşivleme potansiyeline sahiptirler. Bu nedenle hem güncel hem de eski gölssel kökenli mikrobiyalitler (örn., Tumbiana Formasyonu, 2,7Ga; Schopf, 2006; Awramik ve Buchheim, 2009) içerdikleri geniş jeokimyasal kayıtlar nedeni ile astrobiyoloji çalışmalarının merkezinde yer almaktadırlar (Gerard vd., 2013; 2018; Horgan vd., 2020).

Güncel, sulu Mg-karbonatlı (SMK) mikrobiyalitler, Salda Gölü'nün sığ kıyı şeridi boyunca ve daha derinlerde aktif olarak gelişmektedir. Bu karbonatlar, ilk olarak Braithwaite ve Zedef (1994, 1996) tarafından belgelenmiş, tüm yapılar stromatolit olarak adlandırılmış; oluşumları genel olarak fotosentetik aktiviteye bağlanmıştır (Russell vd., 1999; Kazancı vd., 2004). Balcı vd. (2018, 2020),

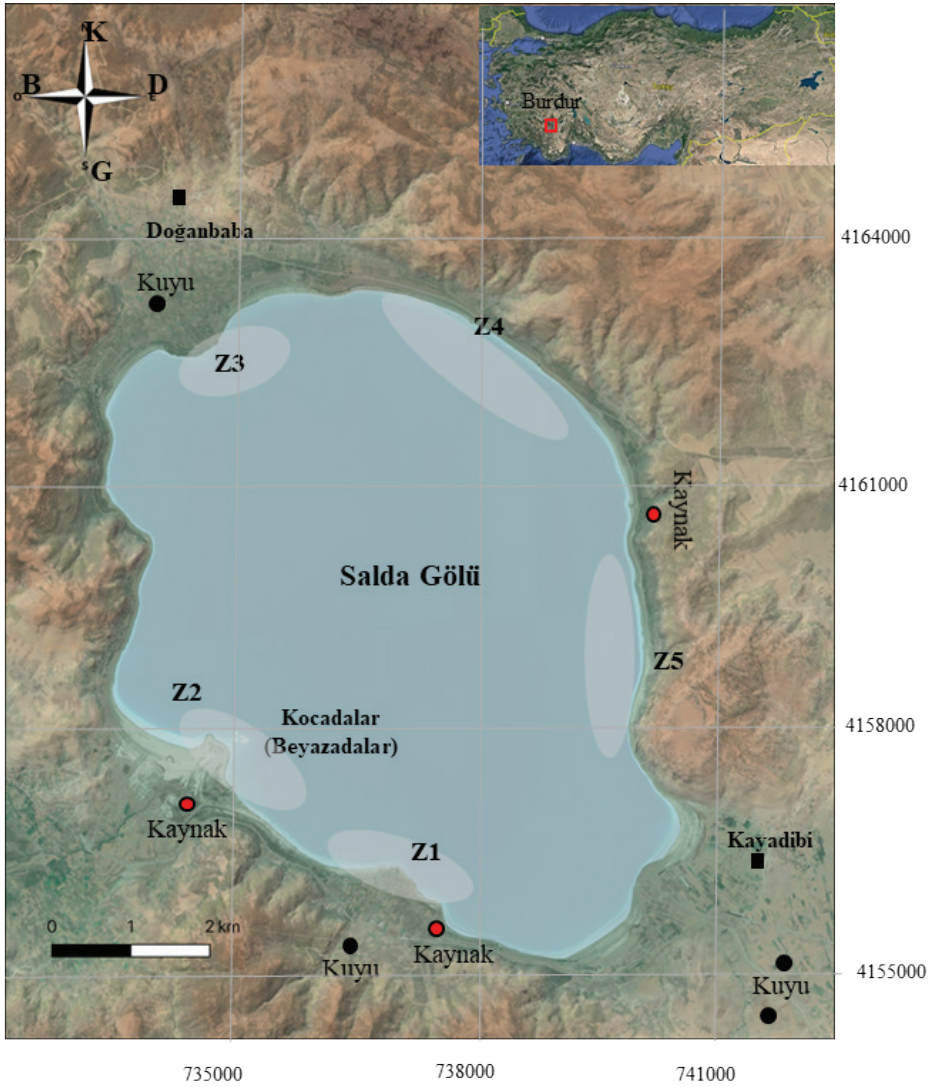
Güneş vd. (2024) tarafından yapılan çalışmalarda, bu yapıların stromatolitik ve trombolitik katmanlar içermesi nedeniyle mikrobiyalit olarak adlandırılması gerektiği ortaya konmuş; bu organo-sedimanter yapıların mikrobiyal toplulukları ilk defa belirlenmiştir. Sonraki çalışmalarla Salda Gölü'nde gelişen mikrobiyalitlerin, Mars gezegeninde yer alan Jezero Krateri içinde gelişen eski göl (paleolake) kalıntılarında bulunan SMK'lara olan benzerliği ortaya konmuştur (Garczynski vd., 2019, 2020; Horgan vd., 2020; Balcı vd., 2020; Güneş vd., 2022, 2024). Ca içeren eşleniklerine oranla, Mg'lu karbonatların oluşumu ve jeolojik kayıtlardaki korunumu hakkında bilğimiz oldukça kısıtlıdır. Şu ana kadar yapılan çalışmalar, Mg karbonatların oluşumunda etkin metabolik reaksiyonları ortaya koyarak, biyoiz potansiyellerine işaret etmiştir. Ancak, sonraki jeolojik süreçlerin (örn., diyajenetik) Mg karbonatların biyoiz potansiyellerini nasıl etkilediği, bu izlerin jeolojik kayıtlarda ne ölçüde korunduğu soruları hala cevaplanamamıştır. Bu konuda yürütülen çalışmalar, Mg karbonatların mineralojisi ve hücre dışı organik polimerlerin (HPM) kimyası arasındaki ilişki ile organikleri koruma potansiyeli üzerine yoğunlaşmıştır (Baltes vd., 2025, inceleme de). Süregelen bu çalışmalardan elde edilecek veriler, Salda Gölü mikrobiyalitlerinin biyoiz değerlerinin anlaşılmasına katkı koyacaktır.

Biyoiz çalışmalarının temelini oluşturan bu çalışmada, ilk defa mikrobiyalitlerin türleri, morfolojileri ve yapısal özellikleri göldeki konumlarına göre incelenerek, bu yapıların gelişmesinde olası mikrobiyal etkiler tartışılmıştır. Tüm veriler birlikte değerlendirilerek; mikrobiyalitlerin oluşmasında ve büyümesindeki biyolojik ve diğer çevresel etkiler değerlendirilmiştir. Söz konusu bu yapıların, biyojenik kökeninin belirlenmesi, Yerküre'deki jeolojik kayıtlarda korunan ve Mars'ta var olan veya var olabilecek benzer yapıları tanımamıza ve yorumlamamıza katkı koyacaktır.

ÇALIŞMA ALANI: SALDA GÖLÜ

Salda Gölü, Türkiye'nin güneybatısında göller bölgesinde, deniz seviyesinden yaklaşık 1140 m yükseklikte yer alan alkali bir göldür. 45 km² yüzey alanına sahip olan gölün ortalama su derinliği 80 m, maksimum derinliği ise yaklaşık 184 m'dir. Yılda bir kez karışan su kütlesi nedeni

ile ılık monomiktik olan göl, mevsimsel dereler dışında, önemli yüzey suyu drenaj ağı olmayan kapalı bir havzada yer almaktadır. Bu nedenle, göl su seviyesi ağırlıklı olarak, gölün güneybatı ve kuzeydoğu kesiminde ki yeraltı suyu sızıntısının yanı sıra, yağış ve buharlaşma ile kontrol edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası ile çalışma kapsamında tanımlanan mikrobiyalit zonları (Z1-Z5).

Figure 1. Geographic location of Lake Salda and microbialite-bearing zones (Z1-Z5).

Salda Gölü ve çevresi, çoğunlukla serpantinleşmiş, yer yer lizardite metamorfize olmuş harzburjitten oluşan ultramafik kayalarla kaplıdır. Bu allokton Kretase yaşlı birimler, Marmaris peridotiti olarak adlandırılmıştır (Şenel vd., 1997). Açık yeşil, gri, bej ve kahverengi renklerin yaygın olarak izlendiği serpantinleşmiş dünit bantları göl çevresinde, harzburjitlerle birlikte görülmektedir (Schmid, 1987). Gölün doğu kısmında Kayadibi Köyü civarında rekristalize, yer yer dolomitleşmiş Kretase yaşlı Dutdere kireçtaşı bulunmaktadır. Göl ve çevresinde otokton birimler, güncel alüvyon sedimanlarla temsil edilmektedir. Neojen yaşlı alüvyonlar gevşek tutturulmuş, yer yer yamaç molozları ile birliktelik gösterirler. Gölü çevreleyen güncel birimler içerisinde bantlar şeklinde gözlenen magnezyum karbonatlı seviyeler; göl seviyesinde ki değişimlere işaret etmektedir.

Yeşilova'nın güneydoğusunda, Kocaadalar'ın güneybatısında ve Doğanbaba'nın kuzeybatısında, serpantin ve gabro çakıl ve çakıllarından oluşan; yüzeyleri yoğun bir şekilde ayrılmış alüvyal deltaları bulunmaktadır (Şekil 1). Salda Gölü kıyıları, bu deltaları çevreleyen kum veya çamur düzlüklerinden oluşan düşük enerjili plajlardan, dik ve kayalık kıyılara kadar çeşitli jeomorfolojik yapılar göstermektedir.

MATERYEL ve METOT

Arazi Gözlemleri ve Örneklem Çalışmaları

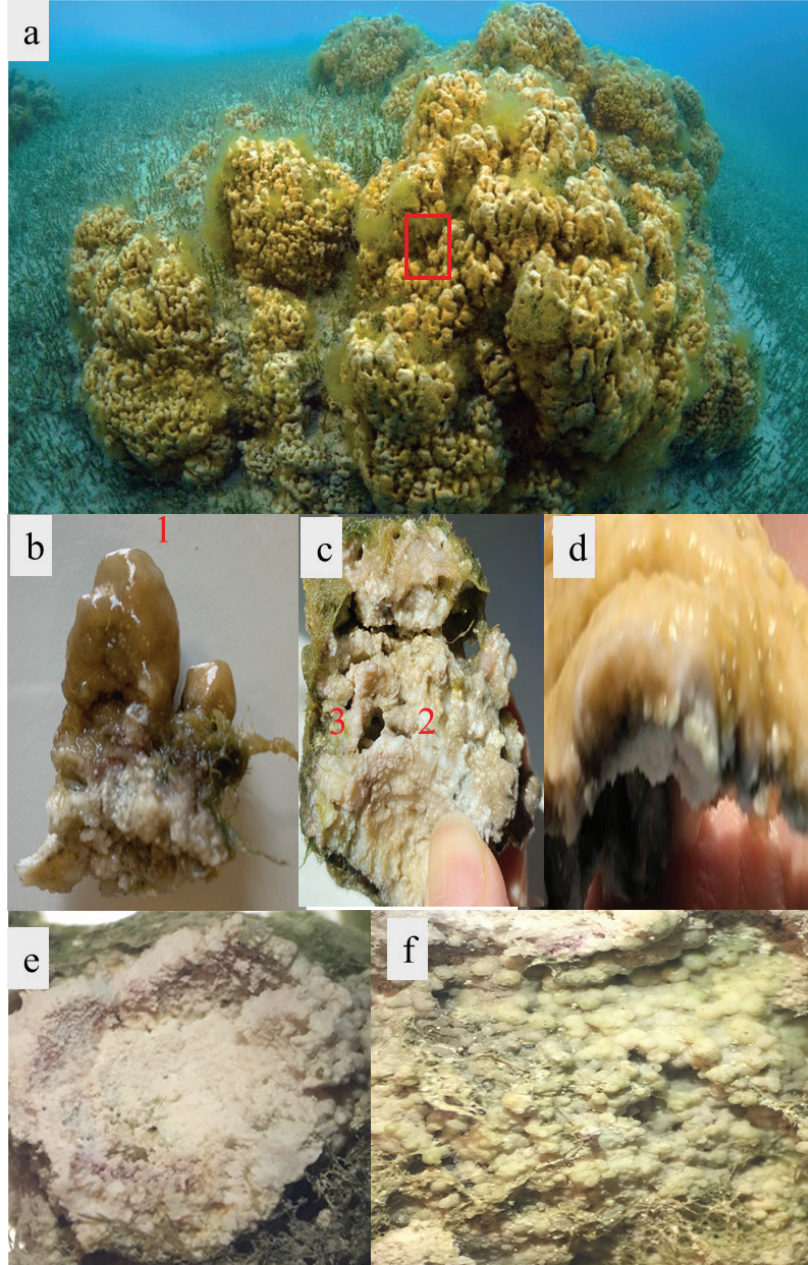
Salda Gölü mikrobiyalitleri üzerinde yürütülen ve bu çalışma kapsamında sunulan, makro ve orta ölçekte ki morfolojik ve sedimantolojik veriler; 2019-2024 yılları arasında gerçekleştirilen arazi gözlemleri ve ölçümlerine dayanmaktadır. Göl, 2022 yılında en yağışlı dönem olarak belirlenen Şubat ve Mart ayında yalnızca 32 cm yağış almıştır. Bu olay neticesinde göl seviyesinde ki önemli düşüş; kıyı boyunca ve kıyından yaklaşık 50-100 m uzakta güncel olarak gelişen mikrobiyalitlerin

detaylı gözlemlenmesine ve örneklenmesine olanak sağlamıştır. Arazi gözlem ve ölçümlerinin yanı sıra, güncel ve tafanomik (fosilleşme) süreçlerin etkisi altında bulunan yarıfosilleşmiş mikrobiyalitlerden el örnekleri toplanmıştır. Gölde mikrobiyalit barındıran ortamlar haritalanmış, mikrobiyalitlerin morfolojik özellikleri detaylı olarak incelenmiş ve mikrobiyalit barındıran ortamların depolanma karakteristikleri kayıt altına alınmıştır. Haritalama çalışmaları kapsamında 5 farklı mikrobiyalit oluşum zonu (n=Z1-5) belirlenmiş; her bir zonda ki mikrobiyalitlerin makro ve orta ölçekte morfolojilerine dayanarak, tanımlayıcı tür sınıflandırmaları yapılmıştır. Petrografik çalışmalar için her bir zondan (yaklaşık 10-15 cm büyüklüğünde) el örneği toplanmış (n=6); bez torbaya konmuş ve etiketlenmiştir.

Ayrıca, bu çalışmada Zon 1 olarak adlandırılan ve gölün batısında Kocaadalar (Beyaz adalar) civarında yer alan kesimde, Ağustos 2022 tarihinde, 15 m su derinliğinde büyüyen mikrobiyalitler dalgıç yardımı ile örneklenmiştir. Bu derinlikte oluşan mikrobiyalitlerden, steril, organik içermeyen geniş ağızlı cam şişeler yardımı ile su örnekleri (n=4) alınarak, steril spatula ve kesiciler ile mikrobiyalit örnekleri toplanmıştır (n=8). Daha sonra ki analizlere kadar ilgili örnekler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeomikrobiyoloji-Biyogeokimya Laboratuvarı'nda (ITU-GBL) -21 °C'de tutulmuştur. Örnekler soğuk zincir şeklinde İstanbul Teknik Üniversitesi-Jeomikrobiyoloji-Biyogeokimya Laboratuvarı'na ulaştırılmış ve analizlere kadar -21 °C'de saklanmıştır. Laboratuvarda çözündürülen mikrobiyalit örnekleri, daha sonra steril bir bisturi yardımıyla mikrobiyolojik kabin içerisinde, renk ve doku farklılıklarına göre örneklenmiş ve mikrobiyolojik tür analizi için DNA çözeltisi (LifeGuard Soil Preservation solution, MoBio Laboratories, Carlsbad, CA, USA) içine koyulmuştur. Bu amaçla, dört farklı tabaka (L1-L4) örneklenmiştir. Bu örnekler, laboratuvarda sodyum-glutaraldehit ve osmiyum tetraoksit kullanılarak mikroskobik

analizler için hazır hale getirilmiştir. Bu aşamayı takiben örnekler Boğaziçi Üniversitesi İleri Araştırmalar Merkezi'nde taramalı elektron

mikroskopu (Philips XL30 ESEM-FEG/EDAX) ile incelenmiştir.



Şekil 2. a) 15 m su derinliğinde oluşan mikrobiyalitten bir görüntü (Güneş vd., 2024). **b)** Mikrobiyalitler üzerinde gelişen parmak şekilli mini sütun yapılarının yakından görüntüsü (a panelinde kırmızı kare). **c)** Dikey kesit. **d-f)** Parmak yapılarının farklı seviyelerinden görüntü.

Figure 2. a) A view of microbialites growing at 15 m water depth (modified from Güneş et al., 2024). **b)** Close view of a finger-shaped structure. **c)** Vertical cross-section. **d-f)** Views of various parts of the finger-shaped structure in b.

DNA İzolasyonu ve 16S rRNA Analizi

15 m su derinliğinde büyüyen mikrobiyalitlerden elde edilen tabakalarda, DNA izolasyonu ve 16S rRNA gen analizleri yapılmıştır (n=4) (Şekil 2). Örneklerden genomik DNA ekstraksiyonu özel kitler (DNeasy Power Lyzer Power Soil) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen DNA'nın 16S rRNA kodlama bölgeleri, V4 bölgesini kodlayan ve neredeyse tüm bakteriyel ve arkeal taksonları hedefleyen 515FB (GTGYCAGCMGCCGCGGTAA) ve 806RB (GGACTACNVGGGTWTCTAAT) içeren evrensel EMP (Earth Microbiome Project) primer seti ile polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ile çoğaltılmıştır (Caporaso vd., 2011). PCR karışımları 0,8 x PCR Master Mix (Thermo Fisher Scientific), her bir ileri ve geri barkodlu primerden 0,2 µM, 1,0 µL şablon DNA, Phusion® High-Fidelity DNA polimeraz (Thermo Fisher Scientific) ve toplam 25 µL reaksiyon hacmine kadar, DNA içermeyen saf su ile hazırlanmıştır. PCR, 3 dakika boyunca 94 °C'de tek döngü, 45 saniye boyunca 94 °C'de 35 döngü, 60 saniye boyunca 50 °C'de, 90 saniye boyunca 72 °C'de ve 10 dakika boyunca 72 °C'de tek döngü ile başlayarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen örnekler Illumina iSeq 100 dizileme cihazında (Illumina, San Diego, CA, ABD) dizilenmiştir.

BULGULAR

Mikrobiyalitlerin Türü, Morfotipi ve Göldeki Dağılımı

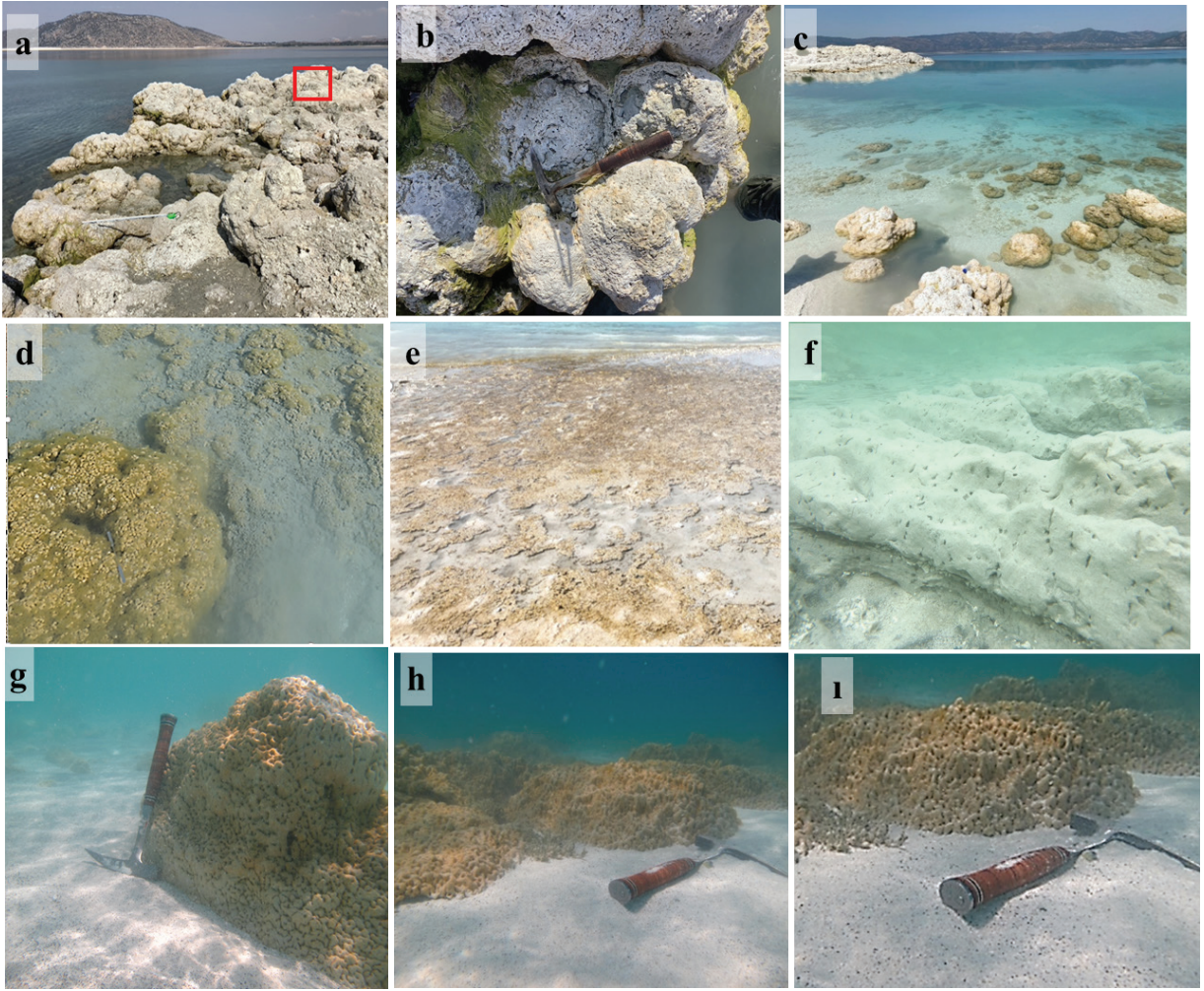
Bu bölümde, gölde >1 m² den daha büyük alan kaplayan mikrobiyalitler ve morfolojileri tanımlanarak; gölde ki mekansal dağılımları ortaya konacaktır.

Mikrobiyalitlerin sınıflandırılmış özelliklerine dayanarak, tüm göl çevresi boyunca beş farklı zonda, şu mikrobiyalit türleri tespit edilmiştir: Stromatolitler, trombolitler, stromatolitik-trombolitler, dendrolitler ve herhangi bir iç yapı göstermeyen mikrobiyal olarak tetiklenmiş sedimanter yapılar (MSY) (Şekil 3). Tanımlanan

mikrobiyalit türleri arasında, stromatolitik-trombolit göldeki en yaygın mikrobiyalit türüdür. Gölde, stromatolitik-trombolitler su seviyesine bağlı olarak ya üst üste yığılmış kubbeler (Şekil 3a ve b) ya da tek tek yarım dom (kubbe) şeklinde bulunurlar; yarım dom morfolojisine sahip olanlar genelde sığ sularda (<0,5 m) baskındır (Şekil 3c ve d). Su derinliği arttıkça (>10 m), stromatolitik trombolitler uzunlamasına gelişen birbirine bağlı kolon morfoloji sergilemektedir (Şekil 2a). Mikrobiyalitlerin türleri ve morfotipleri ile göldeki mekansal dağılımı aşağıda detaylı olarak verilmiştir:

Zon 1

Gölün güney batısında yer alan bu zonda, daha çok iç içe büyümüş kubbelerin (> 40 cm) istiflenmesi ile oluşan böbreğimsi şekilli morfotipe sahip stromatolitik-trombolitler mevcuttur (Şekil 3a ve b). Bu mikrobiyalit istiflerinin büyüklüğü yaklaşık 1m ile 5 m arasında değişiklik göstermekte olup, zaman zaman atol yapıları oluşturmaktadırlar. Bireysel kubbe şekilli mikrobiyalitler, soğansı büyüme yapısı sergiler (Şekil 3b). Bireysel kubbelerin en üst yüzeyi sıklıkla turuncu ve yeşilimsi renkte, organikçe zengin yumuşak bir katmana sahiptir. Bu katman, nadiren beyin şeklinde bir yapı sergilemektedir (Şekil 4a, b ve c). Bir kubbe yapısının yarı kesiti incelendiğinde, orta ölçekte (cm) stromatolitik, trombolitik, ve stromatolitik-trombolit mikrobiyal türleri izlenebilir (Şekil 4a, b ve c). Stromatolitler, mm boyutunda iyi korunmuş dışa doğru yanal olarak büyüyen laminalı yapılar sergilerken, alt zonu pıhtı dokusuna sahip, üst zonu laminalı yapı sergileyen oluşumlar stromatolitik-trombolitler olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 4b). Bu oluşumların yüzeyi, yumuşak doku sergilemektedir. Beyinsi yüzey yapısına sahip (Şekil 4c) oluşumlar, birkaç cm uzunluğunda, alt zonda masif karbonat şeklinde, üste doğru zayıf tabakalı kolonsu stromatolitik trombolitik yapılar oluştururlar (Şekil 4d). Bu oluşumlar, Zon 1'de yaygındırlar.



Şekil 3. Salda Gölü mikrobiyalitlerinde tanımlanan morfotipler: **a)** Zon 1’de yeni yüzeylenmiş, yumuşak yüzey dokusu ve soğansı iç büyüme yapısına sahip yığılmış kubbe şekilli mikrobiyalitler (ölçek 1 m); **b)** Panel A’da kırmızı ile sınırlı alanın yakından görüntüsü, soğansı büyüme yapısı gösteren thrombolitik mikrobiyalitin yakından görüntüsü (ölçek 30 cm; Güneş vd., 2024’den değiştirilmiştir); **c-d)** Zon 2’de Beyaz Adalar olarak bilinen mikrobiyalit topluluğundan görüntü, **d)** Zon 2’de radyal olarak büyüyen kolloform yüzey dokusuna sahip yarım dom yapılı oluşumlar (ölçek 15 cm) **(e)** Zon 1’de belirgin bir morfoloji ve büyüme yapısı göstermeyen mikrobiyalit oluşumları **(f)** Zon 2 ve 3’de gelişen mikrobiyalit tabakaları. **g-i)** Zon 4, 5 ve 6’da yanal olarak büyüyen yarı sferoidal mikrobiyalit tipleri (ölçek 30 cm).

Figure 3. Morphotypes identified among Lake Salda microbialites: **a)** Stacked-dome shaped microbialites (scale 1 m) in Zone 1, exhibiting soft surface texture and bulbous internal growth structure; **b)** Close-up of thrombolitic microbialites with bulbous internal structure in a (scale 30 cm) (modified from Güneş et al., 2024); **c-d)** View of the microbialite assemblage known as the White Islands in Zone 2 **(d)** Close-up views of formations in Zone 2, radially growing semi-domed formations with colloform surface texture (scale 15 cm); **e)** Microbialite formations in Zone 1 with no distinct morphology or growth structure **(f)** Microbialite growing layers in Zones 2 and 3. **g-i)** Laterally growing semi-spheroidal microbialite types (scale 30 cm) in Zones 4, 5 and 6.



Şekil 4. Mikrobiyalitlerin orta ölçekte (cm ölçeğinde) değişik iç yapıları: **a)** Stromatolitik ve **(b)** Stromatolitik trombolitik yapılar, Zon 1. **c, d)** Beyinsî yüzey yapısı ile az gelişmiş kolon yapısı gösteren stromatolitik trombolitik mikrobiyalit, Zon 1. **e)** Stromatolitik üst tabakalara sahip oluşum (siyah ok), Zon 2. **f)** Stromatolitik trombolitlerin üst zonlarında gelişen yumru ve çıkıntı yapısı, Zon 2. **g)** Dendritik iç yapı, Zon 2. **h)** Organikçe zengin matriks içinde tutturulmuş karbonat nodüllerinden oluşan yapı **(i)** Alt kısmı zayıf stromatolitik tabaka gelişimi (kırmızı ok), üst kısmı çalı benzeri bir yapı (beyaz ok) gösteren parmak şekilli mini kolon yapıları (güncel oluşumlar için bakınız Şekil 2b ve c) (a, f Günes vd., 2024'ten değiştirilerek alınmıştır)

Figure 4. Different internal structures of microbialites at meso-scale (cm scale): **a)** Stromatolitic and **(b)** Stromatolitic thrombolitic structures, Zone 1. **c, d)** Thrombolitic microbialite showing underdeveloped columnar structure with brain-like surface textures, Zone 1. **e)** Formation with stromatolitic upper layers, Zone 2 **(f)** Lump and ridge structures developed in the upper zones of stromatolitic thrombolites **(g)** Dendritic internal structure, Zone 2. **h)** Formation consisting of carbonate nodules embedded in an organic-rich matrix, Zone 3-4. **i)** Finger-shaped mini-column structures (see Figure 2 (b) (c) for recent formations), showing weak stromatolitic layers in the lower part (red arrow) and shrub structure in the upper part (white arrow).

Zon 2

Göldeki en geniş mikrobiyalit oluşumları, Kocaadalar (Beyaz adalar) burnu olarak bilinen Zon 2’ de yer almaktadır. Bu oluşumların meydana getirdiği ada nedeniyle, “Beyazadalar” olarak ta adlandırılan bu alanda, ana mikrobiyalit oluşumları, kıyıdan yaklaşık 50 m uzakta yer almaktadır (Şekil 1 ve 2). Gölün bu kesimini, hidromanyezit kum birikintileriyle kaplı 3 km’den daha uzun beyaz bir kumsal kaplamaktadır. Bu alanda, Salda Deresi’nin ırmağının meydana getirdiği geniş bir delta yer almakta ve göle sediman girişini sağlamaktadır.

Kıyı kesimlerde oluşan mikrobiyalitler, birkaç santimetreden, metre ölçeğine kadar çapa sahip yarı dom ve bu domların birleşmesi ile oluşan karnabahar morfolojisine sahiptirler (Şekil 3c ve d). Bu mikrobiyalitler; stromatolitik ve trombolitik olarak sınıflandırılmıştır. Bu mikrobiyalitlerin yüzeyi kolloform yapı özelliği gösterir. Kıyıya yakın dom morfolojisine sahip mikrobiyalitlerin iç yapısı orta ölçekte oldukça çeşitlilik göstermektedir. En üst yüzeyde mm boyutunda sürekli ince tabakalı yapısı ile stromatolitik ve alt kısımda ise tabaka yapısı göstermeyen, trombolitik oluşumlar mevcuttur (Şekil 4e). Bazı stromatolitik-trombolitlerin en üst kesimlerinde çıkıntılar şeklinde düğüm/yumru yapıları bulunmakta, en alt zonda ise masif karbonat oluşumları bulunmaktadır (Şekil 4f).

Artan su derinliği ile birlikte, yanal olarak bağlanmış kolon benzeri morfolojiye sahip mikrobiyalitler yakın zamanda keşfedilmiştir (Şekil 2a; Güneş vd., 2022, 2024). Sığ oluşumlarla karşılaştırıldığında, bu derin büyüyen mikrobiyalitlerin en üst yüzeyi, tipik olarak birbirine bağlı, iyi gelişmiş, yeni büyüyen, parmak şeklindeki mini sütunlarla (birkaç cm boyutunda) kaplıdır (Şekiller 2b ve 4i). Bu parmak şeklindeki mini sütunların en üst kısmı, organikçe zengin, turuncu kahverengi renktedir

(Şekil 2b) ve hemen her zaman yeşil renkli alg ve fototrofik mikroorganizmalarca zengin bir zon ile aralanmalıdır (Şekil 2c ve d). Parmak şekilli yapıların üst kısmında dik parabolik tabakalar bulunurken, en iç kısımda, genellikle nodüler karbonat taneleri bulunmakta ve yer yer mor renkli bir tabaka bu oluşumlara eşlik etmektedir (Şekil 2c-f). Ayrıca, Zon 2’de belirgin bir morfolojisi ve iç yapısı olmayan sığ çamurlu tortulları kaplayan tipik olarak birkaç mm’den cm’ye kadar yumuşak, turuncu, açık gri renkli, göz yapısı boşluklarına sahip mikrobiyal tabakalar tanımlanmıştır (Şekil 3e).

Zon 3-4 ve 5

Üçüncü ve dördüncü zonlar, gölün K ve KD’sunda yer almaktadır (Şekil 1). Zon 3 ve 4, yaklaşık 2,5 kilometre arayla, Değirmendere’nin alüvyon deltasının oluşturduğu bir plaj ortamı ile ayrılmıştır. Bu zonlar, gölde tanımlanan diğer zonlara göre, daha seyrek mikrobiyalit oluşumları içermektedir. Zon 3’de kıyıdan yaklaşık 100 m içerde tabular şekilde kıyıya dik uzanan ve üzeri ince taneli yumuşak mikrobiyal tabaka ile kaplı belirli bir iç yapı taşımayan oluşumlar mevcuttur (Şekil 3f). Yine bu zonda, orta ölçekte dendrolitik iç yapısına sahip dom morfolojili mikrobiyalit oluşumları tespit edilmiştir (Şekil 4g). Zon 4’te yaygın ve Zon 3’te daha az oranda yaklaşık 3-4 m su derinliğinde yanal olarak büyüyen yarı dom morfolojiye sahip mikrobiyalitler mevcuttur (Şekil 3g-ı). Bu mikrobiyalitlerin üst yüzeyi, Zon 2’de tespit edilen iyi gelişmiş ve korunmuş parmak şeklindeki mini sütün yapılarıyla kaplıdır (Şekil 3g ve ı). Zon 4’de mm veya daha küçük büyüklüğe sahip karbonat nodüllerinin organik matriks içinde çimentolanması ile oluşan mikrobiyalit yapıları mevcuttur (Şekil 4h). Bu oluşumlar, kıyıdan yaklaşık 5 m içerde sığ sularda tespit edilmiştir. Zon 5 güncel mikrobiyalitlerin en az izlendiği göl kesimidir (Şekil 1).



Şekil 5. Göl ve çevresinde tanımlanan fosil mikrobiyalit yapılarından görüntüler. **a-b)** Mikrobiyalit kalıntıları içeren teras oluşumları. **c),** Trombolitik fosil mikrobiyalitler ve **(d)** üst zonlarında tanımlanan parmak yapıları. **e)** Karnabahar morfolojili fosil mikrobiyalitler. **f)** Beyinsi yüzey dokusu gösteren fosil mikrobiyalitler

Figure 5. Field views of fossil microbialite structures identified in and around the lake. **a-b)** Terrace formations containing microbialite remains. **c),** Thrombolitic fossil microbialites and **(d)** Finger-shaped mini-column structures identified in their upper zones. **e)** Fossil microbialites with cauliflower morphology. **f)** Fossil microbialites showing brain-like surface texture.

Zon 4’de olduğu gibi, bu zonda da mikrobiyalitler sığ su derinliğinde (< 4 m) ağırlıklı olarak yarı dom morfolojisinde ve yanıl büyüme gösteren yapılar şeklindedir. Bu mikrobiyalitlerin en üst kesimi, iyi gelişmiş cm boyutunda parmak şeklindeki yapılar ile kaplıdır.

Göl ve çevresindeki fosil ve yarı fosil mikrobiyalit yapıları tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır (Şekil 5). Özellikle son yıllarda göl suyundaki çekilmeler; bu tür yapıların detaylı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamıştır. Zon 1 ve 5’te kıyıya paralel olarak uzanan kalınlığı yaklaşık 5-10 m arasında değişen dom şeklinde fosil mikrobiyalitlerin kalıntıları içeren hidromanyezit terası mevcuttur. (Şekil 5a ve b). Benzer oluşumlar Zon 5’te de mevcuttur. Bu oluşumların yaşı yaklaşık olarak 15000±1000 yıl olarak belirlenmiştir (Balcı vd., 2025). Zon 3’te yakın zamanda açığa çıkan, iyi korunmuş trombolitik mikrobiyalitlerin üzerinde gelişen parmak şeklindeki yarı-fosilleşmiş oluşumlar mevcuttur (Şekil. 5c ve d). Zon 4’te kıyıya dik uzanan yaklaşık 20 cm kalınlığında çamur tabakaları üzerinde gelişen ve beyinsî yüzey dokusuna sahip yarı fosilleşmiş, mikrobiyalit oluşumları tanımlanmıştır (Şekil 5e ve f).

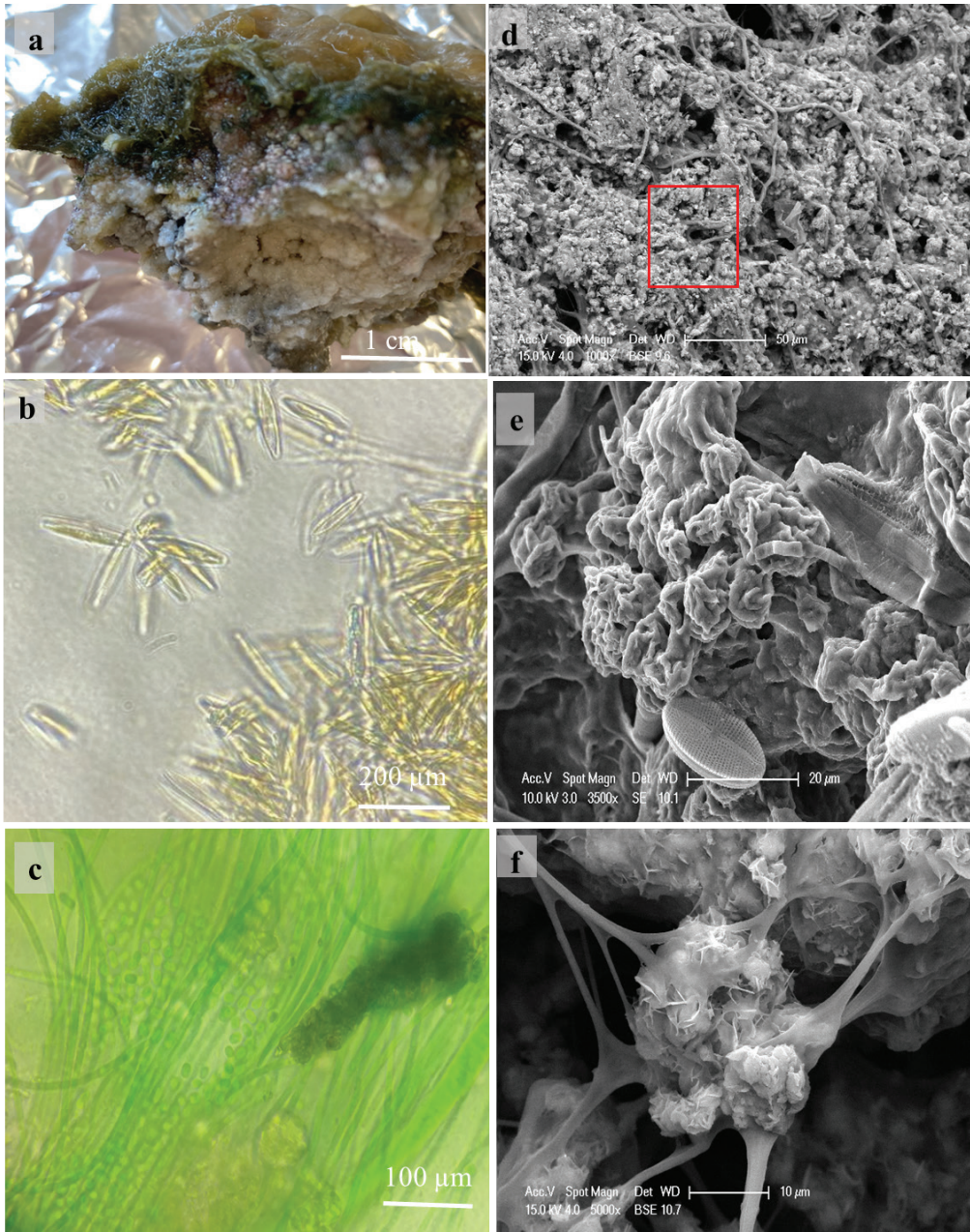
Mikrobiyalitlerin Tabaka Yapısı ve Çeşitliliği

İncelemeye konu olan ve 15 m su derinliğinde gelişen mikrobiyal tabakalar (L1-4), gölde sığ sularda gelişen diğer mikrobiyal tabakalar ile benzerlik sergilemektedir (Şekil 6). Mikrobiyal tabakanın en üst yüzeyi, genellikle mm, nadiren cm ölçeğinde, tipik olarak turuncudan yeşilimsî sarıya değişen renklerde, organikçe zengin, yapışkan ve jelatinimsî bir dokuya sahiptir (Şekil 2b, d ve 6a). Bu yüzeyin hemen altında, genellikle koyu ve açık yeşil renkli 1 cm’den küçük katmanlar bulunmakta ve bunlara sıklıkla gri siyah renkli bir katman eşlik etmektedir. Mikrobiyal katmanın iç zonunda nodüler karbonatlarla birlikte mor renkli bir katman mevcuttur. Turuncu renkli tabakanın

ışık mikroskobu incelemelerinde, çarpıcı bir diyatom çeşitliliği ve yoğunluğu ortaya çıkmıştır (*Cymbella* sp., *Gomphonema* sp., *Pinnularia* sp., *Synedra* sp., Eunotoid , *Epithemia adnate* ve *Navicula recens*) (Şekil 6b). Koyu ve açık yeşil renkli katmanın ışık mikroskobu incelemelerinde ipliksi (*Rivularia* sp., *Schizothrix* sp. ve *Lyngbya* sp.) ve kokoidal siyanobakteriler (*Synechococcus* sp., ve *Gloeocapsa* sp.) ile az sayıda diyatom tespit edilmiştir (Şekil 6c).

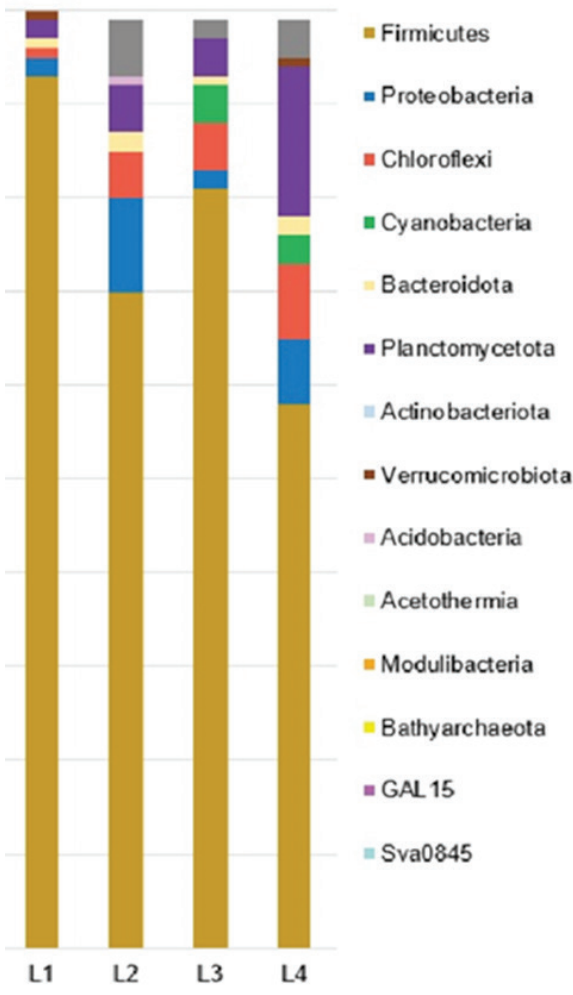
İlgili katmanların, taramalı elektron mikroskop görüntüleri, diyatom, mikroorganizma ve mineral ilişkisini ortaya koymuştur. Bu görüntülerde, filamentlerin ve hücre dışı polimerik (HPM) maddenin, Mg karbonatlarla kaplı olduğu kolaylıkla görülmektedir (Şekil 6d-f). Mg karbonatlar, plaka benzeri kristallerin radyal olarak büyümesi sonucu oluşan 10-50 µm kümeler halinde mevcuttur (Şekil 6e ve f). Diyatom-mikroorganizma agregatları küreselden hafif uzamaya kadar değişen şekillerde ve genellikle 20-50 µm çapındadır. Bazı diyatomlar mineral oluşumlarının içinde ve dış kenarlarında görülebilir (Şekil 6e). Genellikle iyi korunmuşlardır ve fröstül yapılarında önemli parçalanma veya korozyon özellikleri nadirdir (Şekil 6e).

15 m su derinliğinde büyüyen mikrobiyal tabakalar (L1-L4) üzerinde ilk defa yapılan mikrobiyal tür çalışmaları, sığ mikrobiyalitlere oranla daha farklı bir mikrobiyal topluluk yapısı ortaya koymuştur (Balcı vd., 2020). Firmiküs mikrobiyalitin dört farklı katmanında da (L1-L4) prokaryotik topluluğa hakim olmuştur (Şekil 7). L1 örneğinde mikrobiyal topluluğun % 93’nü; L2 örneğinde %58’ini, L3 örneğinde %70’ini ve L4 örneğinde %81’ini Firmiküs filumu oluşturmaktadır (Şekil 7). Ayrıca, Proteobakteri (%10) ve Planctomycetota (%16) sırasıyla L2 ve L4 örneklerinde %10’dan daha yüksek oranda tespit edilmiştir. Planctomycetota ve Siyanobakteri filumlarının bollukları ise sırasıyla % 2-7 ve 1-4 oranında bulunmuştur.



Şekil 6. Salda gölünde yaygın olarak görülen güncel mikrobiyal katmanlarından görüntüler. **a)** Sarımsı, kahverengi renkli, jel yapısına sahip tabaka ve **(b)** tabakanın ışık mikroskop görüntüsü. **c)** Yeşil renkli tabakanın ışık mikroskop görüntüsü ve farklı morfolojiye sahip siyanobakteriler. **d)** Filamentler içinde tutturulan çökelimlerin taramalı elektron mikroskop görüntüsü. **e)** Yoğun şekilde filamentler ve diatom çevresinde oluşan karbonat çökelimleri. **f)** Organik matris içinde bıçak ve plaka şeklindeki hidromanyezit kristalleri.

Figure 6. Images of typical microbial layers commonly observed in Lake Salda. **a)** Yellowish-brown coloured layer with gel structure and **(b)** Light microscope image of this layer. **c)** Light microscope image of green-coloured layer and cyanobacteria with different morphology. **d)** Scanning electron microscope image of deposition around the filaments. **e)** Dense filaments and carbonate deposition around diatoms. **f)** Hydromagnesite crystals with knife-like and platy forms within organic matrix.



Şekil 7. 15 m su derinliğinde büyüyen mikrobiyalitlerin üst zonlarında gelişen mikrobiyal katmanların mikroorganizma çeşitliliği.

Figure 7. Diversity of microbial layers developing on microbialites that grow at 15 m water depth.

Cins seviyesinde L1 tabakasındaki Firmiküs'ün neredeyse tamamını *Exiguobacteriu* sp.' oluşturmaktadır. Diğer cinsler ise, *Bacillus* ve *Chryseomicrobium*'dur. A4b ve SBR1031, *Coleofasciculus*, *Brevundimonas*, *Hyphomicrobium* ve *Lysobacter* ve *Luteolibacter* cinsleri'de tüm tabakalarda tespit edilmiştir. Birçok mikrobiyal popülasyon karbon ve sülfür döngüsü ile ilişkilendirilmiş ve ilk kez tür düzeyinde (örneğin *Exiguobacterium*

chiriquhucha) tanımlanmıştır. Bu tespit edilen yeni türlerin Mg karbonat oluşumunda olası rolleri araştırılmaktadır.

Güncel Mikrobiyalitlerin Jeokimyası ve Mineralojisi

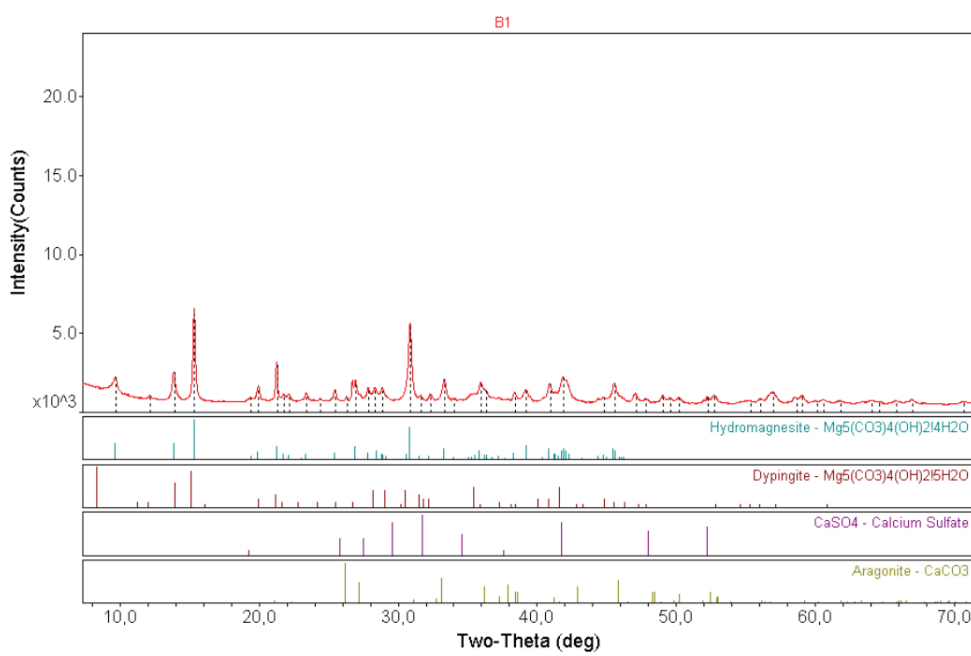
Mevcut mineralojik ve jeokimyasal veriler, Salda mikrobiyalitlerinin %40-50 arası MgO, %2-3 CaO, %0,2-5,0 Fe₂O₃, %1-2,5 SiO₂ içerdiğini ve diğer elementlerin %1'i aşmadığını göstermektedir (Balcı vd., 2020; Güneş vd., 2024). Fosil Salda mikrobiyalitlerine oranla güncel olanlar, sırasıyla yaklaşık %7 ve %1 daha az MgO ve SiO₂ içermektedir. Mg >> Ca > Na > K > Si > Fe > Al şeklindeki element sırası göldeki hem fosil hem de güncel mikrobiyalitler için tipiktir (Balcı vd., 2021; Güneş vd., 2024). Mikrobiyalitlerin mineralojik bileşimi element bolluklarıyla tutarlıdır. Fosil ya da yarı fosil mikrobiyalitlerin ana SMK mineral bileşeni hidromanyezit (Mg₅(CO₃)₄·(OH)₂·4H₂O) minerali olarak belirlenmiştir. Önceki çalışmalar, mikrobiyalitlerin hidromanyezit içeriklerinin yaklaşık %85-90, aragonit içeriğinin %3-5 arasında değiştiğini ortaya konmuştur (Güneş vd., 2024; Balcı ve Demirel, 2018, Balcı vd., 2020). Bu çalışma kapsamında, güncel olarak 15 m su derinliğinde büyüyen mikrobiyal katmanlarda yapılan mineralojik çalışmalarda, hidromanyezitin yanı sıra ilk defa poligorskite (Mg, Al)₂Si₄O₁₀(OH)·4(H₂O) ve dipinjit (Dypingite, Mg₅(CO₃)₄·(OH)₂·5H₂O) minerali tespit edilmiştir (Şekil 8). Bu tespit ile uyumlu olarak, Salda Gölü'nü yansıtan koşullarda yapılan deneysel çalışmalarda da dipinjit (Mg₅(CO₃)₄·(OH)₂·5H₂O) minerali biyotik deneylerde, neskuhonit minerali (nesquehonite, MgCO₃·3H₂O) ise abiyotik deneylerde tespit edilmiştir (Baltes vd., 2025). Bu yeni mineralojik veriler, mikrobiyalitlerin oluşumu ve biyoiz potansiyellerinin belirlenmesi açısından kritik bilgiler taşımaktadır. Örneğin, mikrobiyal katmanda belirlenen otojenik Mg silikat oluşumları, Salda Gölü'ne benzer ortamlarda yaygın olarak gözlemlenmiştir (Chagas vd., 2016; Gerard vd., 2013) ve silikalı fazların bu oluşumların fosilleşme süreçlerine

karşı dayanımlarını arttırması ve korunmasına katkı koyması nedeniyle önemlidir.

Mikrobiyalitlerin Petrografik Analizleri

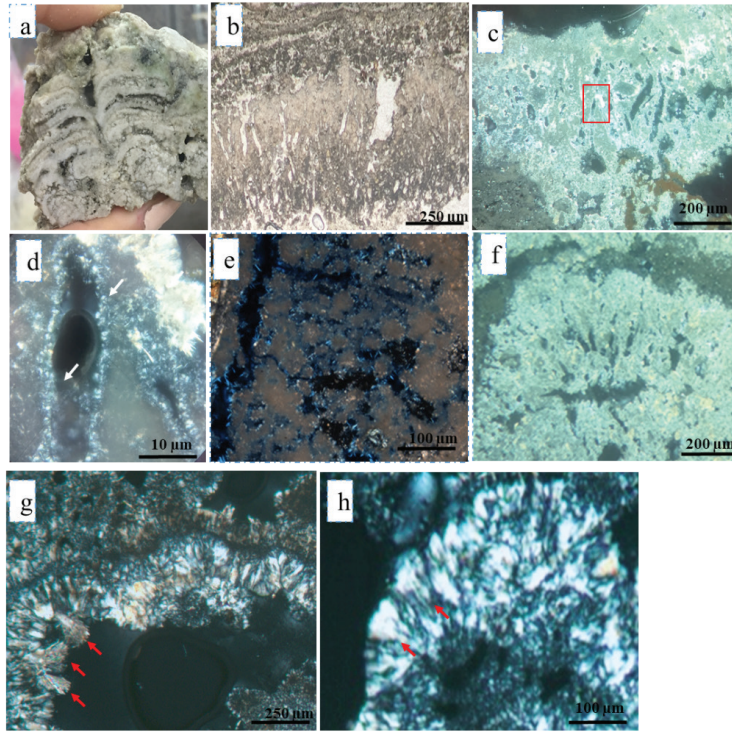
Gölde yaygın olarak bulunan yarı fosilleşmiş stromatolitik trombolitler (Şekil 4b) üzerinde yapılan petrografik analizler, mikritik, peloidal mikritik ve laminalı bir matriks ile pıhtı dokusu içinde korunan filament yapılarını ortaya koymuştur (Şekil 9). Genel olarak, filament bakımından zengin mikritik karbonatların en üstünde açık kahverengiden beje kadar değişen renkte gözenekli bir yapıya sahip bir zon mevcuttur. Bu zon genellikle yüksek miktarda peloid içermekte ve ince laminasyonlarla devam etmektedir (Şekil 9a). Mikritik karbonat genellikle daha bej alanlarla ilişkilidir ve kriptokristalin dokuya sahip karbonatlarla iç içe gelişmiştir (Şekil 9d). Göldeki trombolitler, özellikle Zon 2'de, yaygın olarak organik maddece zengin matriks içerisinde küresel/yarıküresel karbonat çökelimlerinin tutturulması sonucu oluşan tipik

pıhtı dokusu sergilerler (Şekil 9d ve e). Pıhtı dokusuna sıklıkla ince taneli karbonatlar eşlik etmektedir (Şekil 9c ve e). Salda Gölü'nde, mikrokristalin karbonatlar mikrobiyal hücreler veya hücre gruplarını çevreleyen organik matriks içinde çökelmektedir (Şekil 9c). Mikritik taneler ve mikritik matriks içinde yoğun şekilde bulunan, kavisli, iyi korunmuş, yuvarlak tepeli filamentlerin varlığı gözlemlenebilir (Şekil 9b, c, d ve e). Organikçe zengin ve pıhtı dokusu sergileyen bu alanda, filamentlerin içi boş görünmektedir; bunlar büyük olasılıkla filamentli siyanobakterilerin boş kılıflarını temsil etmektedirler. Filamentlerin boş kılıfları, iğne benzeri kristallerle sınırlanmıştır (Şekil 9d). İkincil boşluklarda gelişen ve izopak saçaklar halinde bulunan sparitik Mg karbonatlar içerisindeki filamanetler kolaylıkla izlenebilmektedir (Şekil 9g ve h). Gözenek boşluğunda büyüyen asiküler ve yelpazeler halinde bulunan aragonit çapraz polarize ışıktaki opak kahverengidir. İyi gelişmiş lifsi aragonit yelpazeleri, organik madde açısından zengin zonlar içerisinde yaygındır (Şekil 9f, g ve h).



Şekil 8. Mikrobiyalitlerin (15 m su derinliği) üzerinde gelişen mikrobiyal katmanlarının XRD deseni.

Figure 8. XRD pattern of microbial layers of microbialite that grows at 15 m water depth.



Şekil 9. Stromatolitik trombolitlerin petrografik incelemesi. **a, b)** Filamentçe ve peloidçe zengin zon ve üzerleyen ince laminasyonlardan görüntüler. **c)** Organik matriks içinde yer alan filament ve sınırları boyunca gelişen karbonat kristalleri (beyaz ok). **d)** Organik matriks içinde gelişen karbonatların küme şeklinde birleşerek oluşturduğu pıhtı yapısı. **e)** Mikritik karbonat ve içindeki filament boşlukları. **f)** Boşluklarda gelişen lifsi aragonit yelpazeleri (kırmızı oklar). **g, h)** İzopak saçaklar halinde bulunan, radyal olarak büyüyen sulu Mg karbonatlar ve içindeki filamentler (kırmızı oklar). Tüm kesitler çapraz nikolde incelenmiştir.

Figure 9. Microbialites with internal stromatolitic and thrombolitic zones. **a, b)** Petrographic thin section photomicrographs of cyanobacterial filament- and peloid-rich zone overlain by laminations. **c)** At higher magnification, cyanobacterial filaments within clotted texture are visible and carbonates defining the filamentous sheaths. **d)** Clotted texture at higher magnification. **e)** Filament sheaths within micritic carbonates. **f)** Aragonite fans within the secondary porosity (red arrows). **g, h)** Development of carbonates isopachous fringes. All thin sections were examined under cross polarized-lights.

TARTIŞMA

Gölde Karbonat Çökelim Mekanizmaları

Gölün su toplama havzası ile kendisini besleyen yüzey ve yeraltı sularının (kaynaklar ve kuyular) farklı araştırmacılar tarafından yapılan jeokimyasal analizleri, Mg açısından zengin (ort., 396 mg/L), Ca (ort., 6,2 mg/L) içeriği düşük ve hafif alkali pH'ya sahip bir su jeokimyası ortaya koymaktadır (Varol; 2021; Balcı 2018; 2021; Güneş vd., 2024). Bu çalışma kapsamında, kaynakların ve

derelerin akış yolları boyunca, karbonat çökmesi gözlenmemiş ve kaynak sularının çıktığı yerlerde hava-su ara yüzeyinde karbonat oluşumları (örn., ince buz tabakası şeklinde) tespit edilmemiştir. Bu tespitler, kaynak suların karbonat mineralleri açısından doygunluğa ulaşmadığını önermektedir. Söz konusu sular için daha önceki çalışmalarda değişik karbonat mineralleri için hesaplanan doygunluk indeksleri (SI), göl suyunun hidromanyezitin yanı sıra dolomit, aragonit, kalsit, huntit ve manyezit gibi farklı Ca/Mg-

karbonat minerallerine göre doygunluğa ($SI > 1$) ulaştığını önermiştir (Balcı vd., 2021). Bu veriler, termodinamik olarak mineral oluşumlarının mümkün olduğuna işaret etmektedir. Buna karşın, yalnızca hidromanyezit ve aragonit mineralleri tespit edilmiştir. Düşük sıcaklık ve sulu ortamlarda, Mg katyonlarının güçlü hidrasyonu nedeniyle, özellikle susuz Mg karbonat fazlarının çökmesi engellenir. Ancak, organik madde ve mikrobiyal yüzeyler bu kinetik inhibisyonu minimize ederek, sulu Mg karbonatların çökeline neden olurlar. Salda Gölü'nde sulu Mg karbonat çökelimlerinin mikrobiyal tabaka ile yakından ilişkisi bu jeokimyasal süreci desteklemektedir (Şekil 6 ve 9).

İncelenen mikrobiyal tabakaların ışık mikroskopu ve SEM görüntüleri, mikrokristalin bıçak veya tabaka şeklindeki Mg karbonat oluşumlarının (hidromanyezit ve dipinjit), HPM ve filament ile kokus şeklindeki bakterilerle olan yakın ilişkisini açıklıkla ortaya koymuştur (Şekil 6 ve 9). Dipinjit minerali ultramafik kayalarla kaplı alanların ayrışması sırasında salınan Mg iyonunun biyojenik etkilerle çökertilmesi sonucu oluşan sulu Mg karbonat mineralidir. Mikroorganizmalar, özellikle siyanobakteriler, Mg iyonunu hücre zarı etrafında biriktirerek, çökme için gerekli doygunluğu sağlayarak, mineral çökmesine neden olurlar (Shirokova vd., 2013). Dipinjit oluşumu için gerekli Mg iyonları Salda Gölü ve çevresini kaplayan serpantinleşmiş ultrabazik kayalardan sağlanmaktadır. Bu oluşum mekanizması, gölde ki mikrobiyal tabakalarla yakından ilişkili mineral çöklim zonları ile uyumludur (Şekil 6). Ayrıca, organik matriksin Mg ve Ca içermesi HPM'nin kimyasal özelliklerinin ve fonksiyonel gruplarının Mg ve Ca iyonları için etkili çekirdeklenme alanları sağlayarak, çökmeye neden olduğunu önermektedir (Balcı vd., 2020; Güneş vd., 2024; Baldes vd., 2025).

Mikrobiyal topluluk içindeki özellikle siyanobakterilerin salgıladığı HPM'nin mineral için çekirdeklenme alanları sağlamanın yanı sıra,

bikarbonat iyonlarını OH ve CO_2 'ye ayrıştırarak hücre etrafındaki mikro ortamlarda, pH artışına neden olarak Mg'nin çökmesini tetiklemektedir (Braissant vd., 2003).

15 metre su derinliğindeki mikrobiyal tabakanın ilk defa yapılan tür tanımlaması oksijenik fotosentetik mikroorganizmaların yanı sıra, örneğin Chloroflexi ve Firmiküs (örn., *Exiguobacterium*), γ -proteobacteria (*Pseudomonas* ve *Rheinheimera* cinsleri) gibi farklı mikroorganizmaları ortaya koyarak, mineral oluşum süreçlerinin düşünülen aksine daha dinamik bir jeomikrobiyolojik ortamda gerçekleştiğine işaret etmektedir (Şekil 7). Mikrobiyal topluluğun tamamını (L1-%95) veya önemli bir kısmını oluşturan heterotrofik mikroorganizmaların varlığı (örn. *Exiguobacterium*) oldukça dikkat çekicidir (Şekil 7). Ancak, bu aerobik heterotrofların rolü henüz tam olarak belirlenmemiştir. *Exiguobacterium* türleri mikrobiyal topluluk içerisinde yalnızca “kiracı” olarak bulunabilir ve çökme işlemine “yapıcı” olarak katılmayabilir. Yapıcılar, çökme reaksiyonlarına doğrudan dahil olan mikroorganizmalar olarak tanımlanır (Petryshyn vd., 2021). Yapıcıların rolleri, mikrobiyalit oluşturmak üzere metabolik işlevleri aracılığıyla karbonat çökmesini tetiklemek (örn. pH seviyesini arttırmak); sedimanların yakalanmasını ve bağlanmasını sağlamaktır. Dünyanın farklı bölgelerinde bulunan mikrobiyalitlerde siyanobakteri ve yeşil alg gibi oksijenik fotosentetikler, anoksijenik fotosentetikler, mor ve yeşil kükürt bakterileri; ile sülfat indirgeyen bakteriler gibi çeşitli yapıcılar tespit edilmiştir (Dupraz vd., 2009; Petryshyn vd., 2021). Salda Gölü'nde tespit edildiği gibi, kiracı mikrobiyal topluluklar, mineralizasyon sürecini doğrudan etkilememekle birlikte, mikrobiyal biyokütlenin büyük bir yüzdesini oluşturabilir.

Heterotrofların toplulukta “kiracı” olabileceği göz ardı edilmeksizin, aerobik heterotrofların Salda Gölü mikrobiyalitlerinin oluşumuna olası katkıları aşağıda tartışılmıştır.

Aerobik heterotroflar, oksijenik fotosentezin ürünü olan azot (N) bakımından zengin organik bileşikler sentezleyerek pH artışına katkıda bulunabilir; bu şekilde oksidatif deaminasyon (NH_4/NH_3) sistemi, sularda fotosentez kimyasına benzer pH koşulları yaratabilir (González-López vd., 2005; Balcı ve Demirel, 2018; Balcı vd., 2021; Güneş ve Balcı, 2021). Yapılan deneysel (Rivadeneira vd., 1999; 2004; Sanchez-Roman vd., 2011) ve saha çalışmaları (Gerard vd., 2013; 2018; Balcı ve Demirel, 2018; Sanz-Montero vd., 2019) ile heterotrofik mikroorganizmaların ortamın pH'sını değiştirerek, farklı karbonat minerali (örn., aragonit, hidromanyezit ve dolomit) oluşturdukları ortaya konmuştur. Aerobik heterotrofların göldeki mikrobiyalit oluşumundaki kesin rolü ve olası katkısı deneysel olarak test edilmektedir.

Gölde biyolojik etkilerle güncel olarak oluşan organo mineralizasyonun kapsamı, mikrobiyal çeşitlilik, HPM'nin kimyası, bozunması, sediman girdisi ve tane boyutları gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin, göldeki mikrobiyalitlerin oluşumunu ve büyümesini nasıl ve ne ölçüde etkilediği konusunda bilgilerimiz giderek artmaktadır. Özellikle, akarsu birikintilerinin ve yeraltı suyu sızıntılarının bulunduğu gölün GB ve KD kısımlarında çok sayıda mikrobiyalit bulunması, bu faktörlerin göldeki mikrobiyalitlerin gelişimi üzerindeki etkisini vurgulamaktadır.

Salda Gölü Mikrobiyalitlerinin Biyoiz Potansiyeli ve Astrobiyolojik Önemleri

Özellikle son yirmi yıl içinde, uzay teknolojisindeki hızlı gelişmeler Yerküre dışındaki yaşam arayışı çalışmalarına ivme kazandırmıştır (Horgan vd., 2021; Balcı, 2022). Evrende yaşam barındıran bildiğimiz tek gezegen olan Yerküre bu çalışmaların ana rehberi olmuş; farklı jeolojik materyallerin biyoiz potansiyellerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar öncelikli hale gelmiştir.

Salda Gölü, Mg karbonat oluşumlarına ev sahipliği yapan nadir jeolojik alanlardan biridir. Salda Gölü mikrobiyalitlerinin oluşumu, içerdiği biyolojik verinin ve biyoiz potansiyelinin ortaya konması, astrobiyoloji çalışmaları için kritiktir.

Göldeki mikrobiyalitler, stromatolitik trombolitlerden meydana gelmektedir. Bu mikrobiyalitlerin petrografik incelemeleri, siyanobakteri filamentlerinin sınırları boyunca oluşan mikrokristalleri ortaya koymuştur. Filamentlerin etrafında organikçe zengin zonlar içerisinde radyal şekilde kristallenen küresel SMK mineralleri ve oluşan pıhtı yapıları belirlenmiştir. Organikçe zengin zonlar üzerinde bulunan farklı boyuttaki peloidler dikkat çekici zonlardır. Bu çalışmada gözlenen pıhtılaşmış doku içerisindeki peloidçe zengin zonlar, mikrobiyal etkilerle oluşan karbonatlarda tanımlananlara yakından benzemektedir (Riding, 2000; 2006). Mikrobiyal topluluk tarafından oluşturulan bir biyofilm hem mikritik laminaların çökmesinden hem de peloidlerin depolanmasından sorumludur. Peloidçe zengin zonlar ve etrafındaki koyu laminalar, mikrobiyal topluluk, özellikle de filamentli siyanobakteriler tarafından bağlanma ve stabilizasyona işaret etmektedir (Şekil 9a ve b). Mikrobiyal etkilerle oluşan karbonatlarda, özellikle siyanobakteri etkisinde, yaygın olarak gözlemlenen bal peteği benzeri yapı, biyolojik karbonat oluşumlarında sıklıkla izlenmiştir (Şekil 6f). Bu yapı, HPM ve hücre çeperlerinin varlığında oluşan bir yapı olarak kabul görmüştür (Riding, 2000). Petrografik çalışma sonucunda ortaya konan, boşluklarda gelişen, lifsi ve fan şeklindeki aragonitler, inorganik bir kökene işaret etse de özellikle güncel mikrobiyal tabaka içinde tespit edilen ve diğer aragonit oluşumlarından farklı olarak nodüler şekilli aragonitler biyojenetik olabilir.

NASA'nın en son uzay misyonu kapsamında Mars'a gönderilen Azim "Perseverance" gezgin robotunun, Mars kraterlerinden biri olan Jezero'da

Mg içeren karbonatları keşfetmesi, biyoiz çalışmalarını hızlandırdı (Horgan vd., 2020).

Yerküre'deki jeolojik kayıtlarda ve güncel ortamlarda bulunan karbonatların, özellikle Ca içerenlerin, içerdikleri fosiller, izotop değerleri ve kimyasal bileşenleri nedeniyle iyi birer biyoiz potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir (Allwood vd., 2006; Aloisi, 2008). Buna karşın, Mg karbonatlar ve Mg bakımından zengin karbonatlar hem geçmiş hem de güncel jeolojik kayıtlarda oldukça nadirdir. Bu göreceli az temsil gören karbonatların içerdği jeolojik ve biyolojik kayıtları deşifre etmek, Mars'taki yaşam arayışı için öncelikli hale gelmiştir.

SONUÇLAR

Salda Gölü mikrobiyalitleri üzerinde yapılan bu çalışmanın sonuçları kısaca aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Gölde beş farklı zonda mikrobiyalit oluşumları tespit edilmiştir. Mikrobiyalitler özellikle Zon 2 ve Zon 3 bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Bu zonlar, Kocaçay ve Doğanbaba alüvyal deltaları içinde yer almakta olup, mikrobiyalit oluşumunu etkileyen çevresel faktörleri yansıtmaktadır.
- Gölde yürütülen detaylı sedimentolojik çalışmalar neticesinde üç ana mikrobiyalit türü tespit edilmiştir: Bunlar, stromatolitik, trombolitik ve stromatolitik-trombolitik türlerdir.
- Salda Gölü mikrobiyalitlerinin üst yüzeyi, kalın bir organik matriks içermektedir. Bu organik matriks, kısmen veya tamamen kalsifiye olmuş filamentli siyanobakteriler içermektedir.
- Salda gölü için tipik olan mikrobiyal katmanlara ait 16S rDNA analizleri, mikroskopik gözlemleri SMK'ların çökmesinin gerçekleştiği organik matriksin

içine gömülü değişken sayıda kokoid ve filamentli siyanobakteri, diyatom ve heterotrofik bakteri birlikteliğini göstermiştir. Bununla birlikte, organik matriks içindeki tüm filamentlerin kalsifiye olmadığı; diğer bir deyişle karbonat çökeline katılmadığı belirlenmiştir.

- Mikrobiyal tabakalar içinde ilk defa hidromanyezit mineralinin yanı sıra dipinjit isimli farklı bir sulu magnezyum karbonat minerali tespit edilmiştir. Bu bulgu, Salda Gölü'nde daha önce belgelenmemiş bir mineralojik çeşitliliğe işaret etmektedir.

EXTENDED SUMMARY

This study revealed new data regarding morphological, mineralogical and textural properties of Lake Salda microbialites (SW Türkiye). Within the scope of the study, for the first time, the microbialites were classified and mapped around the lake, identifying 5 different microbialite zones. In the lake, stromatolitic thrombolites are the most dominant microbialite type, while stromatolites and thrombolites only exist in the certain parts of the lake. Stromatolitic thrombolites have a wide variety of morphologies, exhibiting dome shapes, cauliflower-like shapes and rarely tabular forms. On a meso-scale (cm), stromatolitic thrombolites exhibit finger-shaped (2-5 cm) laminated mini-columns, and dendritic, and bulbous growth structures. Thrombolites with cauliflower-like macro morphology coalesce and form a large reef-like structure at 15 m water depth. The macro-scale external morphology of the microbialites forms primarily under the influence of the prevailing environmental conditions. A significant difference was observed between the shallow and deeper microbialites, which exemplifies the impact of environmental controls on microbialite morphology. Columnar-linked thrombolites exclusively form at depths of 10–20 meters, whereas dome-shaped thrombolites

with cauliflower-like morphology, stacked dome-shaped thrombolites, and stromatolitic thrombolites are the predominant morphotypes in shallower waters. In contrast to the shallow microbialites, the upper surfaces of deeper thrombolites are covered with well-developed, interconnected, finger-shaped mini columns, a few centimeters in size. These mini columns exhibit visible internal layering and grainy, non-layered structures. It is reasonable to assume that microbialites growing at depths greater than 10 meters are less influenced by seasonal water level fluctuations, evaporation, and wind/wave agitation. These stable conditions facilitate the development and preservation of thick microbial layers, which produce extracellular polymeric substances (EPS) that serve as nucleation sites for precipitation. The widespread presence of stalk-producing diatoms and the occurrence of hydromagnesite crystals within the EPS further support this interpretation.

Mineralogical study of the microbial layers growing at 15 m water depth revealed a different hydrated Mg carbonate mineral, dypingite ($\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4 \cdot \text{OH}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), for the first time. This mineral, closely related to extracellular polymeric matter (EPS), is likely the precursor of hydromagnesite. Petrographic investigations of the microbialites reveal an abundance of vertical and near-vertical filament-like structures (potentially mineralised) associated with carbonates exhibiting a clotted texture. These structures contain peloids of various sizes along with thin laminations. Nodular aragonite is commonly associated with microbial layers, while aragonite fibres forming in voids, as well as aragonite fans and isopach fringes resulting from their aggregation, indicate secondary and abiotic carbonate precipitation in the lake. Due to their structural, mineralogical, and compositional diversity, the microbialites of Lake Salda serve as a potential modern analogue for understanding the origin and formation processes of Mg-carbonates

in the geological record. Additionally, they may provide insights into the formation of hydrated Mg-carbonates detected in a possible palaeolake within Jezero Crater, one of Mars' ancient craters.

KATKI BELİRTME

Sunulan çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, 113Y464) ve İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP Projesi # MUA-2022- 43610, 47088 ve 46211) tarafından desteklenmiştir. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na L1-L4 örneklerinin elde edilmesindeki destekleri için teşekkür ederim. Yazar, bu çalışmanın geliştirilmesinde değerli katkılar sunan editör ve hakemlere teşekkür eder.

ORCID

Nurgül Balcı  <https://orcid.org/0000-0002-4772-2348>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Allwood, A. C., Walter, M. R., Kamber, B. S., Marshall, C. P. & Burch, I. W. (2006) Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia. *Nature*, 441, 714–718. <https://doi.org/10.1038/nature04764>
- Aloisi, G. (2008). The calcium carbonate saturation state in cyanobacterial mats throughout Earth's history. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(24), 6037–6060. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.10.007>
- Andersen, D.T., Sumner, D.Y., Hawes, I., Webster-Brown, J. & McKay, C.P. (2011). Discovery of large conical stromatolites in Lake Untersee, Antarctica. *Geobiology*, 9, 280–293. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2011.00279.x>
- Arp, G., Reimer, A. & Reitner, J. (2001). Photosynthesis induced biofilm calcification and calcium concentrations in Phanerozoic oceans. *Science*, 292, 1701–1704.
- Arp, G., Reimer, A. & Reitner, J. (2003). Microbialite formation in seawater of increased alkalinity,

- Satonda Crater Lake, Indonesia. *Journal of Sedimentary Research* 73, 105–127. <https://doi.org/10.1306/071002730105>
- Awramik, S. M. & Buchheim, H. P. (2009). A giant, Late Archean lake system: The Meentheena Member (Tumbiana Formation, Fortescue Group), Western Australia. *Precambrian Research*, 174, 215–240. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2009.07.005>
- Awramik, S. M. & Margulhis, L. (1974) Definition of stromatolite, In E. Walter (Ed.), *Stromatolite Newsletter*, 2(5).
- Balcı, N. (2022) Mars Yolculuğunda Yeni Keşifler ve Biyoiz Bulmacası. *Herkese Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 324.
- Balcı, N. ve Demirel, C. (2018). Salda Gölü'nün jeomikrobiyolojisi ve güncel stromatolit oluşumunda mikrobiyal etkiler. *Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Yerbilimleri Bülteni*, 39(1), 19-40. 2018.
- Balcı, N. & Güneş, Y. (2025). Tracking organomineralization from modern microbial layers of Lake Salda (hazırlık aşamasında).
- Balcı, N., Güneş, Y., Kaiser J., Ön, S. A., Eris, K., Garczynski, B. & Horgan, B. H. (2020). Biotic and abiotic imprints on Mg-Rich stromatolites: Lessons from Lake Salda, SW Turkey. *Geomicrobiology Journal*, 37, 401–425. <https://doi.org/10.1080/01490451.2019.1710784>
- Baldes, M. J. Gong, J., Trejo, D., Balcı, N., Güneş, Y., Tamura, N. & Bosak, T. (2025, inceleme de). Microbial polymers influence the mineralogy and organic preservation potential of hydrated magnesium carbonate minerals (İnceleme de).
- Braithwaite, C. J. R. & Zedef, V. (1994). Living hydromagnesite stromatolites from Turkey. *Sedimentary Geology*, 92, 1–5.
- Braithwaite, C. J. R. & Zedef, V. (1996). Hydromagnesite stromatolites and sediments in an alkaline lake, Salda Gölü, Turkey. *Journal of Sedimentary Research*, 66, 91–1002. <https://doi.org/10.1306/D426845F-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Brasier, A. T., Rogerson, M. R., Mercedes-Martin, R., Vonhof, H. B. & Reijmer, J. J. G. (2015). A test of the biogenicity criteria established for microfossils and stromatolites on Quaternary Tufa and Speleothem materials formed in the “Twilight Zone” at Caerwys, UK. *Astrobiology*, 15, 883–900. <https://doi.org/10.1089/ast.2015.1293>
- Brasier, A., Wacey, D., Rogerson, M., Guagliardo, P., Saunders, M., Kellner, S., Mercedes-Martin, R., Prior, T., Taylor, C., Matthews, A. & Reijmer, J. (2018). A microbial role in the construction of Mono Lake carbonate chimneys?. *Geobiology*, 16, 540–555. <https://doi.org/10.1111/gbi.12292>
- Braissant, O., Cailleau, G., Dupraz, C. & Verrecchia, E. P. (2003). Bacterially induced mineralization of calcium carbonate in terrestrial environments: the role of exopolysaccharides and amino acids. *Journal of Sedimentary Research*, 73, 485–490. <https://doi.org/10.1306/111302730485>
- Burne, R. V., Moore, L. S., Christy, A.G., Troitzsch, U., King, P.L., Carnerup, A. M. & Hamilton, P.J. (2014). Stevensite in the modern thrombolites of Lake Clifton, Western Australia: a missing link in microbialite mineralization?. *Geology*, 42, 575–578. <https://doi.org/10.1130/G35484.1>
- Chagas, A. P., Webb, G. E., Burne, R. V. & Southam, G. (2016). Modern lacustrine microbialites: Towards a synthesis of aqueous and carbonate geochemistry and mineralogy. *Earth-Science Reviews*, 162, 338–363. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.09.012>
- Corsetti, F. A. & Storrie-Lombardi, M.C. (2003). Lossless compression of stromatolite images: a biogenicity index?. *Astrobiology*, 3, 649–655. <https://doi.org/10.1089/153110703322735980>
- De Boever, E., Foubert, A., Lopez, B., Swennen, R., Jaworowski, C., Özkul, M. & Virgone, A. (2017a). Comparative study of the Pleistocene Cakmak quarry (Denizli Basin, Turkey) and modern Mammoth Hot Springs deposits (Yellowstone National Park, USA). *Quaternary International*, 437, 129–146. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.09.011>

- De Boever, E., Brasier, A.T., Foubert, A. ve Kele, S. (2017b). What do we really know about early diagenesis of non-marine carbonates?. *Sedimentary Geology*, 361, 25–51. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.09.011>
- Dupraz, C., Reid, R. P., Braissant, O., Decho, A. W., Norman, R. S. & Visscher, P. T. (2009). Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*, 96, 141–162. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.005>
- Ferris, F. G., Thompson, J. B. & Beveridge, T. J. (1997). Modern freshwater microbialites from Kelly Lake, British Columbia, Canada. *Palaaios*, 12, 213–219. <https://doi.org/10.2307/3515423>
- Frantz, C. M. (2015) They might be giants: colossal lacustrine stromatolites. *Geology*, 43 (8), 751–752. <https://doi.org/10.1130/focus082015.1>
- Garczynski, B. J., Horgan, B., Kah, L. C., Balcı, N. & Güneş, Y. (2019). Searching for potential biosignatures in Jezero Crater with Mars 2020. A spectral investigation of terrestrial lacustrine carbonate analogs. *Lunar Planetary Contributions*, 2089.
- Garczynski, B. J., Horgan, B., Kah, L.C., Balcı, N., Güneş, Y., Williford, K. H. & Cloutis, E. A. (2020) Investigating the origin of carbonate deposits in Jezero Crater: Mineralogy of a fluviolacustrine analog at Lake Salda, Turkey. *Lunar Planetary Contributions*, 2326, 2128.
- Gérard, E., Ménez, B., Couradeau, E., Moreira, D., Benzerara, K., Tavera, R. & López-García, P. (2013). Specific carbonate–microbe interactions in the modern microbialites of Lake Alchichica (Mexico). *The ISME Journal*, 7, 1997–2009. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.81>
- Ginsburg, R.N. (1991). Controversies about stromatolites: vices and virtues. In D. W. Müller, J. A. McKenzie, & H. Weissert (Eds.), *Controversies in Modern Geology, London, UK, Harcourt Brace Jovanovich (Academic Press)*, 25–36.
- González-López, J., Rodelas, B., Pozo, C., Salmerón-López, V., Martínez-Toledo, M. V. & Salmerón, V. (2005). Liberation of amino acids by heterotrophic nitrogen fixing bacteria. *Amino Acids*, 28(4), 363–7.
- Gomez, F. J., Kah, L. C., Bartley, J. K. & Astini, R. A. (2014). Microbialites in a high- altitude Andean lake: Multiple controls on carbonate precipitation and lamina accretion. *Palaaios*, 29, 233–249.
- Grotzinger, J. P. & Knoll, A. H. (1999) Stromatolites in Precambrian carbonates: evolutionary mileposts or environmental dipsticks?. *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 27, 313–358. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.27.1.313>
- Grotzinger, J. P. & Rothman, D. H. (1996). An abiotic model for stromatolite morphogenesis. *Nature*, 383, 423–425. <https://doi.org/10.1038/383423a0>
- Güneş, Y. & Balcı, N. (2021). The Catalytic Effect of the Heterotrophic Bacterium *Virgibacillus marismortui* on Basaltic Rock Dissolution Under Excess Nutrient Conditions, *Geomicrobiology Journal*, 38, 4, 315–328. <https://doi.org/10.1080/01490451.2020.1852453>
- Güneş, Y., Baldes, M. J., Gong, J., Bosak, T. & Balcı, N. (2022) Morphospace, composition and texture of Lake Salda microbialites. EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, *EGU22-395*.
- Güneş, Y., Sekerci, F., Avcı, B., Ettema, T. & Balcı, N. (2024). Morphological and Microbial Diversity of Hydromagnesite Microbialites in Lake Salda: A Mars Analog Alkaline Lake. *Geobiology*, 22, Article e12619. <https://doi.org/10.1111/gbi.12619>
- Horgan, B., Anderson, R., Dromart, G., Amador, E. & Rice, M. (2020) The mineral diversity of Jezero crater: Evidence for possible lacustrine carbonates. *Icarus*, 339, Article113526.
- Kazancı, N., Girgin, S. & Dügel, M. (2004). On the limnology of Salda Lake, a large and deep soda lake in southwestern Turkey: future management proposals, aquatic conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14(2), 151–162. <https://doi.org/10.1002/aqc.609>

- Kempe, S. & Kaźmierczak, J. (1993). Satonda Crater Lake, Indonesia: Hydrogeochemistry and bicarbonates. *Facies*, 28, 1–31.
- Meister, P. (2013) Two opposing effects of sulfate reduction on calcite and dolomite precipitation in marine, hypersaline and alkaline environments. *Geology*, 41, 499–502. <https://doi.org/10.1130/G34639C.1>
- Meister, P. (2014) Two opposing effects of sulfate reduction on carbonate precipitation in normal marine, hypersaline, and alkaline environments: REPLY. *Geology*, 42, 315. <https://doi.org/10.1130/G35240Y.1>
- Petryshyn V. A., Junkins E. N., Stamps B. W., Bailey J. V., Stevenson, B. S., Spear J. R. & Corsetti F. A. (2021). Builders, tenants, and squatters: The origins of genetic material in modern stromatolites. *Geobiology*, 19, 261–277. <https://doi.org/10.1111/gbi.12429>
- Reid, R. P., Macintyre, I. G., Browne, K. M., Steneck, R. S. & Miller, T. (1995) Modern marine stromatolites in the Exuma Cays, Bahamas: uncommonly common. *Facies*, 33, 1–18. <https://doi.org/10.1007/BF02537442>
- Riding, R. (2006) Cyanobacterial calcification, carbon dioxide concentrating mechanisms, and Proterozoic-Cambrian changes in atmospheric composition. *Geobiology*, 4, 299–316. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2006.00087.x>
- Riding, R. (2000). Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology*, 27, 179–214. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2000.00003.x>
- Rivadeneira, M. A., Paraga, J., Delgado, G., Ramos-Coemenzana, A. & Delgado, G. (2004). Biomineralization of carbonates by *Halobacillus trueperi* in solid and liquid media with different salinities. *FEMS Microbiol Ecology*, 48, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2003.12.008>
- Rivadeneira, M-A., Delgado, G., Soriano, M., Ramos-Cormenzana, A. & Delgado, R. (1999). Biomineralization of carbonates by *Marinococcus albus* and *Marinococcus halophilus* isolated from Salar de Atacame (Chili). *Current Microbiology*, 39, 53–57. <https://doi.org/10.1007/PL00006827>
- Russell, M. J., Ingham, J.K., Zedef, V., Maktav, D., Sunar, F., Hall, A. J. & Fallick, A.E. (1999). Search for signs of ancient life on Mars: Expectations from hydromagnesite microbialites, Salda Lake, Turkey. *Journal of the Geological Society*, 156, 869–888. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.156.5.0869>
- Sánchez-Román, M., Romanek, C.S., Fernández-Remolar, D. C., Sánchez-Navas, A., McKenzie, J. A., Pibernat, R. A. & Váscnellos, C. (2011). Aerobic biomineralization of Mg-rich carbonates: Implications for natural environments. *Chemical Geology*, 281, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2010.11.020>
- Sanz-Montero, M. E., Cabestrero, O. & Sánchez-Román, M. (2019). Microbial Mg-rich Carbonates in an Extreme Alkaline Lake (Las Eras, Central Spain) *Frontiers in Microbiology*, 10, 148. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00148>
- Şenel, M., Akyürek, B., Can, N., Aksay, A., Pehlivan, N., Bulut, V. ve Aydal, N. (1997). *1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Denizli M23 (J9)*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Schmid, H. (1987). Turkey's Salda Lake: A genetic model for Australia's newly discovered magnesite deposits. *Industrial Minerals*, 239, 19–31.
- Schopf, J. W. (2006). Fossil evidence of Archaean life. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 361, 869–885. <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1834>
- Shirokova, L.S., Mavromatis, V., Bundeleva, I.A., Pokrovsky, O. S., Bénézeth, P., Gérard, E., Pearce, C. R. & Oelkers, E. H. (2013). Using Mg Isotopes to Trace Cyanobacterially Mediated Magnesium Carbonate Precipitation in Alkaline Lakes. *Aquatic Geochemistry* 19, 1–24. <https://doi.org/10.1007/s10498-012-9174-3>
- Van Kranendonk, M. J., Philipot, P., Lepot, K., Bodorkos, S. & Pirajno, F. (2008) Geological setting of Earth's oldest fossils in the ca. 3.5

- Ga Dresser Formation, Pilbara Craton, Western Australia. *Precambrian Research*, 167, 93–124. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2008.07.003>
- Varol, S., Davraz, A., Şener, Ş., Şener, E., Aksever, F., Kırkan, B. & Tokgözlü, A. (2021). Assessment of groundwater quality and usability of Salda Lake Basin (Burdur/Turkey) and health risk related to arsenic pollution. *Journal of Environmental Health Science. Engineering*, 19, 681–706. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00638-5>
- Wacey, D., Kilburn, M. R., Saunders, M., Cliff, J. & Brasier, M. D. (2011). Microfossils of sulphur-metabolizing cells in ~3.4 billion-year-old rocks of Western Australia. *Nature Geosciences*, 4, 698–70. <https://doi.org/10.1038/ngeo1238>



Perlitleşmemiş Obsidiyen Genleşmesi: Hidrasyon ve Oluşum Özellikleri
Unperlitized Obsidian Expansion: Hydration and Formation Characteristics

Lütfiye Akın¹ , Erkan Aydar¹ 

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye

• Geliş/Received: 15.05.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 28.07.2025 • Kabul/Accepted: 30.06.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 18.08.2025 • Baskı/Printed: 31.08.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Magma ile su etkileşimi, volkanik patlamalarda patlamanın şiddetini belirleyen en önemli parametrelerden biri olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, patlama ile oluşan volkanik ürünlerde rastlanılan su içeriğinin volkanizma sırasında veya sonrasında gelişip gelişmediğinin belirlenmesinde çeşitli kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu çalışma, Nevşehir Acıgöl Maar’ından örneklenen obsidiyenin, perlitik doku sahibi olmadan ısıtılma işlemi ile genleşmesinin nedeni ve özellikleri ile termal ayrışma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bantlı obsidiyenin genleştirilmesi sırasında geçirmiş olduğu fiziksel ve kimyasal değişimler, çeşitli analitik yöntemler ile incelenmiştir. Bu kapsamda, su bileşenlerinde meydana gelen değişimler FT-IR analizi ile gözlemlenmiştir. Örnekte gerçekleşen kütle kaybının değeri TG-DTA yöntemi ile ölçülmüş olup genleştirme deneyi sonucunda oluşan üründe genleşmeye bağlı meydana gelen dokusal değişimler üç boyutlu tomografik görüntüleme tekniği ile belirlenmiştir. Sonuç olarak bir volkan camının termal olarak ayrışması, uçucu gazlar ile birincil ve ikincil su türlerinin farklı sıcaklıklarda çeşitli süreçler sonucunda salınması ile meydana gelmektedir. Bu çalışma ile su içeren riolititik bileşime sahip obsidiyenin, su ve uçucu bileşenlerin kimyasal olarak gevşek bir şekilde bağlandığı yerlerde çeşitli oranlarda genişleyen gözenekler oluşturabildiği deneysel olarak gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bilgisayarlı tomografi, FT-IR, genleşme, hidrasyon, obsidiyen, TG-DTA.

Abstract: Magma-water interaction is defined as one of the most important parameters determining the explosivity of volcanic eruptions. However, accurately quantifying the water content in volcanic products formed during syn-eruptive or post-eruptive processes remains a significant challenge. This study investigated the thermal expansion and decomposition behavior of obsidian sampled from the Nevşehir Acıgöl Maar, which was subjected to heat treatment without exhibiting perlitic texture development, in order to elucidate the underlying mechanisms and characteristics of the process. The physical and chemical changes that the banded obsidian experienced during its expansion were analyzed using various analytical methods. In this context, FT-IR analysis was used to observe modifications in water components. The mass loss in the sample was quantified using the TG-DTA method, while the textural changes occurring during the obsidian expansion experiment were determined through three-dimensional tomographic imaging technique. The results show that thermal decomposition of volcanic glass involves the release of volatiles and both primary and secondary water species across a range of temperatures. This study demonstrates experimentally that hydrous rhyolitic obsidian can generate vesicles that expand at varying rates, particularly in regions where water and volatiles are loosely bound within the glass structure.

Keywords: Computed tomography, expansion, hydration, FT-IR, obsidian, TG-DTA.

GİRİŞ

Volkan camı normal koşullarda bünyesinde ağırlıkça %0,1-0,6 jüvenil su içermekte ve oluşumu sonrasında gerçekleşen rehidrasyon süreçleri ile birlikte su içeriklerinde artış görülmektedir (Seligman vd., 2016; Giachetti vd., 2020). Volkan camının hidrasyonu başlıca difüzyon süreçleri sonucu meydana gelmekte olup meteorik suyun volkan camı içine difüzyonu ise zamana, magmanın bileşimine ve iklim koşullarına bağlı olarak gelişmektedir. Felsik kayalarda hidrasyon 2700 yıl içinde maksimum değere ulaşırken, eş zamanlı mafik kayalarda 7000 yılda bile önemli bir değişim izlenmemiştir (Seligman vd., 2016). Volkan camının hidrasyon ile birlikte su içerikleri %5'lere ulaşırken, camı yapının varlığı mikro kırık ve çatlaklar ile perlitleşmeyi de beraberinde getirmektedir (Ross ve Smith, 1955; Friedman vd., 1966; Lofgren, 1971; Friedman ve Long, 1984; Meier vd., 2023). Perlitleşme sürecinde önemli olan bu çatlaklar, başlıca camın maruz kaldığı termal gerilim ve hidrasyona bağlı olarak gelişmektedir (Davis ve McPhie, 1996). Perlitleşme ilerledikçe alkali fakirleşmesi de meydana gelmektedir (Lexa vd., 2021). Dokusal anlamda perlitleşme, kesişen kırıklar arasında konkoidal çatlakların oluşması ile meydana gelen inci taneleri şeklindeki malzeme olarak tanımlanmaktadır. Ticari anlamda ise perlit, 900-1200 °C'lerde ani ısıtıldığında hacmini 5-20 kat arttırarak genişleyen hidrasyona uğramış volkan camı olarak ifade edilmektedir. Riyolitik bileşime sahip su içeren volkan camı, yumuşama noktasının üzerindeki sıcaklıklarda hızlı ısıtmaya maruz kaldığında bünyede bulunan su ve uçucuların da katkısıyla genişlemeye başlamaktadır (Friedman vd., 1963; Angelopoulos vd., 2022). Perlitleşme ve yerleşim sonrası hidrasyonun yanı sıra, Hudak vd. (2021), Redoubt volkanının 2009 yılındaki patlaması sırasında Drift buzulunun etkisi ile freatomagmatik patlamayla eş zamanlı olarak, patlama kolonu ve bulutu içinde volkan camında hidrasyon meydana geldiğini izotop çalışmaları ile ortaya koymuşlardır. Diğer bir ifade ile perlitik

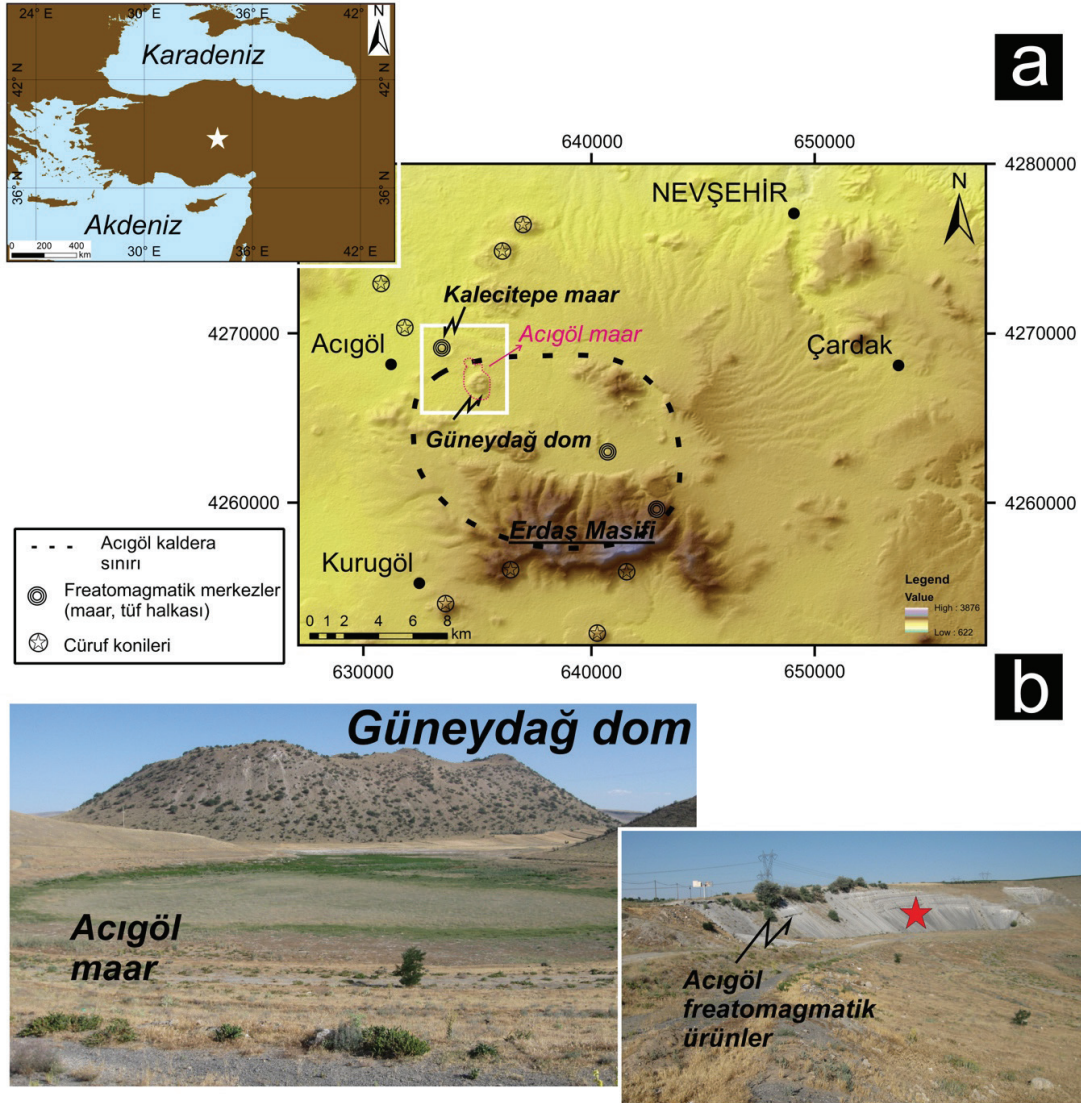
doku gelişmeden de hızlı bir süreç sonucunda hidrasyonun gelişebileceğini öne sürmüşlerdir.

Obsidiyen, riyolitik bileşimde eriyiklerin hızlı soğuması sonucunda oluşan, camı yapıya sahip, renkleri karakteristik siyahımsı yeşilden koyu siyaha kadar değişen volkanik ürün olarak tanımlanmaktadır (Lacy, 1959; Denton vd., 2009; Angelopoulos vd., 2022). Riyolitte su, moleküler formda (H_2O) bulunabildiği gibi farklı bağ türleri yoluyla silikatlara bağlanan hidroksil (OH) grupları şeklinde de gözlenebilmektedir (Silver vd., 1990; Pandya vd., 1992; Kaufhold vd., 2014). Volkanik patlamaların tarzı, magmanın yüzeye çıkışı sırasında bünyesinde bulunan uçucuların salınması ile kontrol edilmektedir (Ross ve Smith, 1955; Sparks, 2003; Eichelberger, 1995; Gardner, 2007; Gonnermann ve Manga, 2007). Bu patlamalarda üretilen uçucuların asıl kaynağı ise su içeriği olarak tanımlanmaktadır. Bu durum aynı zamanda ortaç ve felsik magmanın reolojisini etkileyen en önemli parametrelerden biri olarak öngörülmektedir. Magma ve su etkileşiminden kaynaklanan freatomagmatik patlamalar, en yaygın patlama türlerini temsil etmektedirler (Gardner vd., 2000; Gonnermann ve Manga, 2007; Giachetti vd., 2015).

Bu çalışmada, Kapadokya Volkanik Provensi içinde yer alan, $20,3 \pm 0,6$ ka (Schmitt vd., 2011) yaşlı ve riyolitik bileşimdeki Nevşehir Acıgöl Maar'ından örneklenen obsidiyenler üzerinde çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 1a). Riyolitik freatomagmatik patlama krateri olan Nevşehir Acıgöl Maar duvarından alınan obsidiyenler, freatomagmatik taban yayılımı ürünleri içerisinde, milimetreden desimetreye kadar değişen boyutlarda gözeneksiz litik parçalar şeklinde bulunmaktadır. Siyah renkli obsidiyenler çoğunlukla açık gri renkli düzensiz bantlaşmalar içermektedirler. Serbest atmosferli fırında genişleme özelliği gösteren bant içeren obsidiyenin hidrasyon ve genişleme özellikleri ve nedenleri bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamda, ilksel obsidiyen ile ısıtılma işlem

sonucunda oluşan genleşmiş obsidiyen çeşitli yöntemler ile analiz edilmiştir. Obsidiyen ve genleşmiş malzeme, genleşme öncesi ve sonrası gözeneklerin miktarı ve gelişimini gözlemek amacıyla bilgisayarlı tomografi (CT) cihazı ile üç boyutlu olarak görüntülenmiştir. TG-DTA yöntemi ile çeşitli sıcaklıklarda meydana gelen kütle kaybı

ölçülmüştür. Bununla birlikte, gerçekleştirilen FT-IR analizleri ile su içerikleri ve suyun karakteri belirlenmiştir. Bu çalışmada, gerçekleştirilen analizlerin korelasyonu ile dokusal olarak perlitleşme sunmayan ama genleşme gösteren obsidiyenin kökeni hakkında yaklaşımlarda bulunulmuştur.



Şekil 1. a) Çalışma alanını ve patlama merkezlerini gösteren harita (Acıgöl kaldera sınırı, freatomagmatik merkezler ve cüruf konileri konumları Çubukçu vd., 2024'ten alınmıştır); **b)** Nevşehir Acıgöl Maar ürünleri arazi görünümü (kırmızı yıldız örnekleme alanını göstermektedir).

Figure 1. a) The map showing the study area and eruption centers (Acıgöl caldera boundary, phreatomagmatic centers, and scoria cone locations obtained from Çubukçu et al., 2024); **b)** Outcrop of Nevşehir Acıgöl Maar products (red star indicates sampling location).

ÖRNEKLEME ve YÖNTEM

Örnekleme

Acıgöl Maarı'nın iç duvarından farklı seviyelerden obsidiyen örnekleri alınmıştır (Şekil 1b). Bu örneklerden bazılarının çapları 1-2 cm'yi geçmezken, özellikle bantlı olan obsidiyenler 15-20 cm çapa kadar ulaşabilmektedir.

Yöntem

Volkan camı deneysel genleştirme

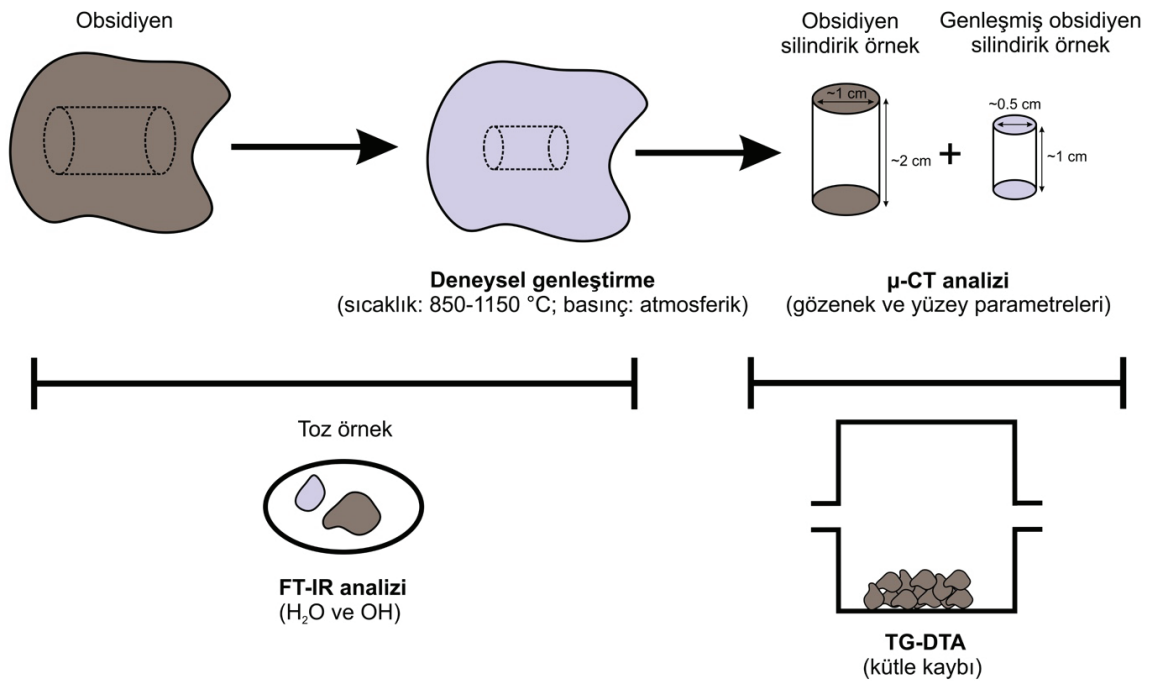
Deneysel genleştirme, bünyede bulunan suyun aniden buharlaştırılması amacıyla bantlı olan obsidiyen parçasının 1150 °C'ye ayarlanan serbest atmosferli fırında ısıtılmasıyla gerçekleştirilmiştir. İlk genleşmeler 850 °C üzerine çıkıldığında başlamış ve deney 950 °C'de sonlandırılmıştır. Numune deney sırasında kütle kaybına uğramış ve gözenekli bir yapı kazanmıştır.

Analitik yöntemler

Deneyisel çalışma basamakları ve kullanılan analitik yöntemler Şekil 2'de özetlenmiştir. Buna göre her analitik çalışmaya göre farklı örnek hazırlama süreçleri gerçekleştirilmiştir.

X-ışını bilgisayarlı mikro-tomografi (μ -CT)

Bu çalışmada Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (HÜNİTEK) kurulu olan Bruker Skyscan 1272 bilgisayarlı mikro-tomografi (μ -CT) cihazı kullanılmıştır. Analiz için orijinal obsidiyen ve genleşmiş obsidiyen numunesinden sırasıyla yaklaşık 2 ile 1 cm yüksekliğinde ve 1 ile 0,5 cm çaplarında silindirik formlarda örnekler hazırlanmıştır. Taramadan elde edilen veri setleri, yeniden yapılandırma modülü kullanılarak üç boyutlu yığınlara dönüştürülmüştür. Veri setleri içerisinde örnekleme, eşikleme ve diğer ölçümler cihazın yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın deneysel ve analitik süreçlerini gösteren şematik çizim.

Figure 2. Schematic drawing showing the experimental and analytical processes of the study.

Termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz (TG-DTA)

Numune içindeki kütle kaybının ve olası faz dönüşümlerinin ortaya çıkarılması amacıyla yapılan eş zamanlı termogravimetrik diferansiyel termal analiz (TG-DTA), Setaram-Labsys model ısı analizörü kullanılarak 25-1000 °C sıcaklıklar arasında durgun hava atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

Fourier dönüşümlü kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi

FT-IR analizleri, Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (HÜNİTEK) kurulu ATR-FTIR cihazı kullanılarak 4000 ila 400 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR

Obsidiyen ve genleştirme sonucu oluşan ürüne ait ana element içerikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Obsidiyen, temel olarak ağırlıkça %75,75 oranında SiO₂ ve %13,38 Al₂O₃'ten oluşmaktadır. Sırasıyla ağırlıkça %4,88 ve %3,84 değerlerinde K₂O ve Na₂O içermekte olup riyoitik bileşimi temsil etmektedir. Genleştirilen malzemenin SiO₂ ve Al₂O₃ içerikleri sırasıyla %73,86 ve %13,09 olarak ölçülmüştür. İlkel obsidiyen örneğinden yapılan ince kesitlerde çoğunlukla kristalin olmayan silisik volkan camı formuna rastlanılmaktadır. Ayrıca, perlitik dokuya, hidrasyon veya termal gerilim çatlaklarına da rastlanılmamaktadır. Riyoitik bileşime sahip volkan camı içerisinde tipik olarak feldispat gibi kristallerin az miktarda varlığı söz konusudur (Şekil 3a ve 3b). Buna karşın, ısı işlem görmüş olan örnekte homojen cam ve yüksek oranlarda camsı bölmelerle ayrılmış gözenek oluşumu dikkat çekmektedir (Şekil 3c ve 3d). Obsidiyenin genleşmesi sonucunda hafif ve oldukça gözenekli bir ürüne dönüştüğü belirlenmiştir. Bu kapsamda,

obsidiyen ve genleşme ürününe ait parçalardan yoğunluk ölçümü yapılmış ve sırasıyla 2,26 g/cm³ ve 0,97 g/cm³ değerleri elde edilmiştir. Genleşme homojen olmayıp, bazı örneklerde 0,08 g/cm³ gibi oldukça düşük yoğunluk değeri de hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Obsidiyen ve genleşmiş obsidiyen ana element bileşimleri.

Table 1. Major element compositions of obsidian and expanded obsidian.

Ana element	Obsidiyen	Genleşmiş Obsidiyen
SiO ₂	75,75	75,86
Al ₂ O ₃	13,38	13,09
Na ₂ O	3,84	2,88
K ₂ O	4,88	5,59
CaO	0,53	0,66
Fe ₂ O ₃	0,97	1,18
P ₂ O ₅	0,33	0,43
Toplam	99,67	99,68

Termal Karakterizasyon

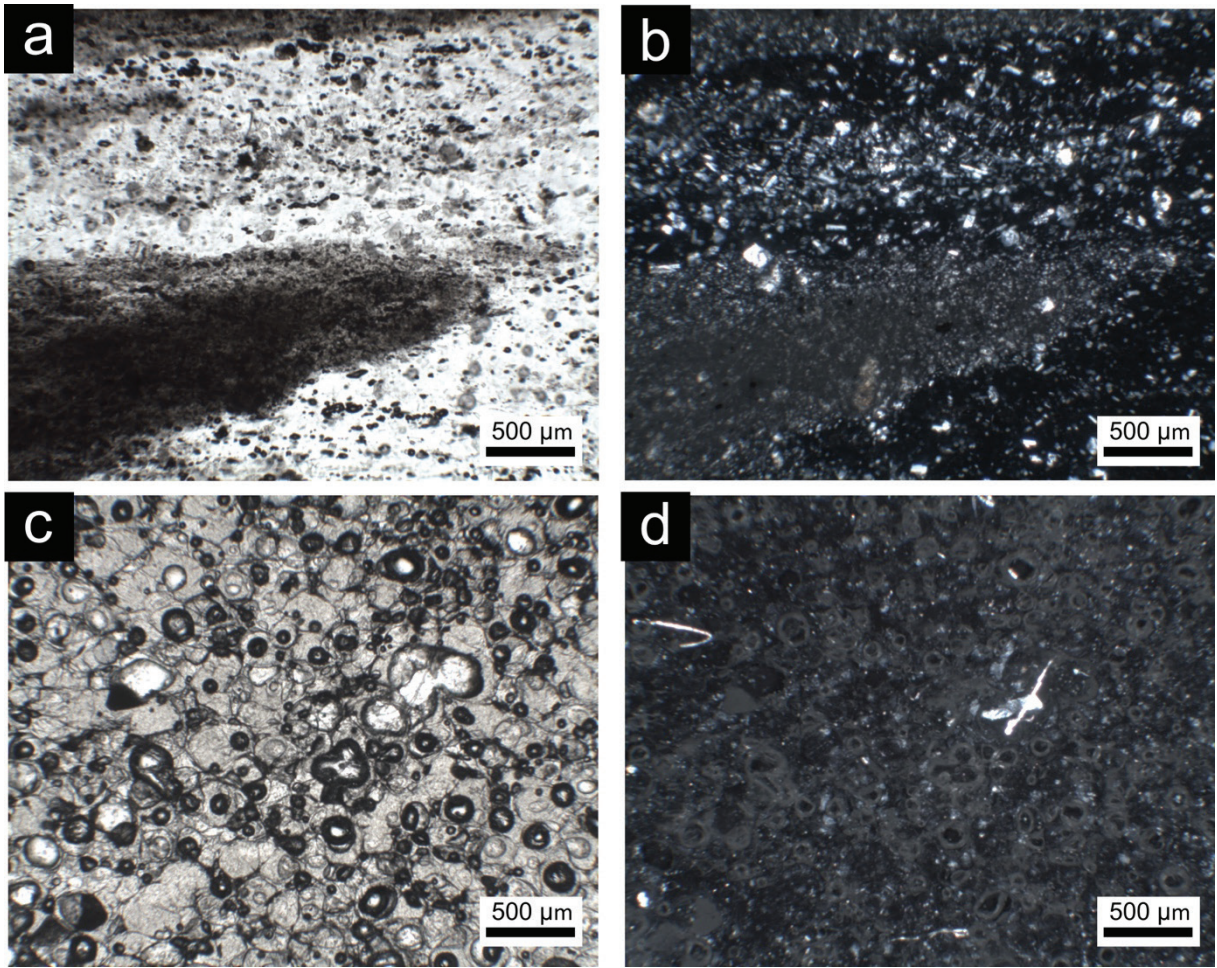
Obsidiyen numunesine ait TG-DTA eğrileri Şekil 4'te gösterilmiştir. TG eğrisinden görüldüğü üzere numune içindeki su kaybıyla ilişkili kütle azalması yaklaşık olarak 850 °C sıcaklığa kadar sürekli olarak devam etmekte olup 25 ile 850 °C aralığındaki kütle kaybı değeri yaklaşık %0,99'dur. DTA eğrisinde yaklaşık olarak 450-500 °C aralığındaki çok belirgin olmayan endotermik pikin numune içindeki hidroksil suyunun uzaklaşması ile ilişkili olduğu öngörülmektedir.

FT-IR Spektral Karakterizasyon

FT-IR analizi sonuçlarına göre çizilen grafikte 3500 ile 3300 cm⁻¹ arasındaki bantlar, su molekülünün parçası olan hidroksil grupları O-H ile çoğunlukla silika parçalarının yüzeyinde gözlenen silanol (Si-OH) grupları temsil etmektedir (Ellerbrock vd., 2022). Yaklaşık olarak 1630 cm⁻¹'de bulunan

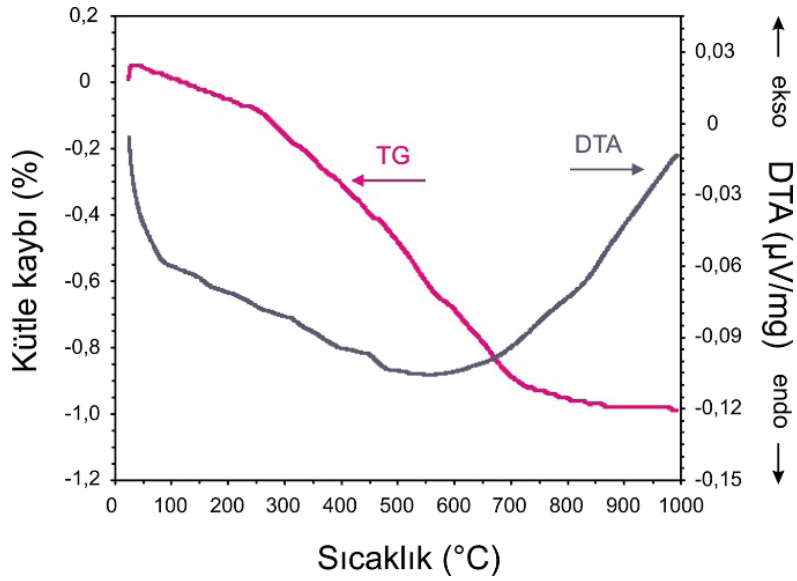
bant, Si-O-Si yapısına adsorbe edilen moleküler koordineli suyun bükülme veya deformasyon moduna atfedilmektedir (McIntosh vd., 2014; Lenhardt vd., 2021). 1050 ila 1100 cm^{-1} 'deki bantlar Si-O-Si için önemli spektral bölgeleri ifade etmektedir. Malzemenin iç düzeninin düşük olduğu durumlarda bandın tepe noktasında genişleme olabilmektedir (Lenhardt vd., 2021; Ellerbrock vd., 2022). Dalga sayısı 980 cm^{-1}

olarak gelişen bantlar, Si-OH bağlarının asimetrik titreşimine atfedilen Si-O-H gruplarının Si-O gerilme titreşimleri için karakteristiktir. Bu gruplara ait piklerin artışı polimerize silikanın yüzeyinde bulunan OH gruplarının artışı ile ilişkilendirilmektedir. 798 cm^{-1} ve 467 cm^{-1} 'deki simetrik pikler Si-O-Si için düzlem dışı deformasyonlarını ifade etmektedir (Ellerbrock vd., 2022).



Şekil 3. a, b) Obsidiyen ve (c, d) genişmiş obsidiyen ince kesit mikroskop görüntüleri (a, c: tek nikol; b, d: çift nikol).

Figure 3. Microscope images of thin sections for (a, b) obsidian and (c, d) expanded obsidian (a, c: plane-polarized light; b, d: cross-polarized light).



Şekil 4. Çalışma alanından örneklenen obsidiyenin termogravimetrik ve diferansiyel termal analizi (TG-DTA).

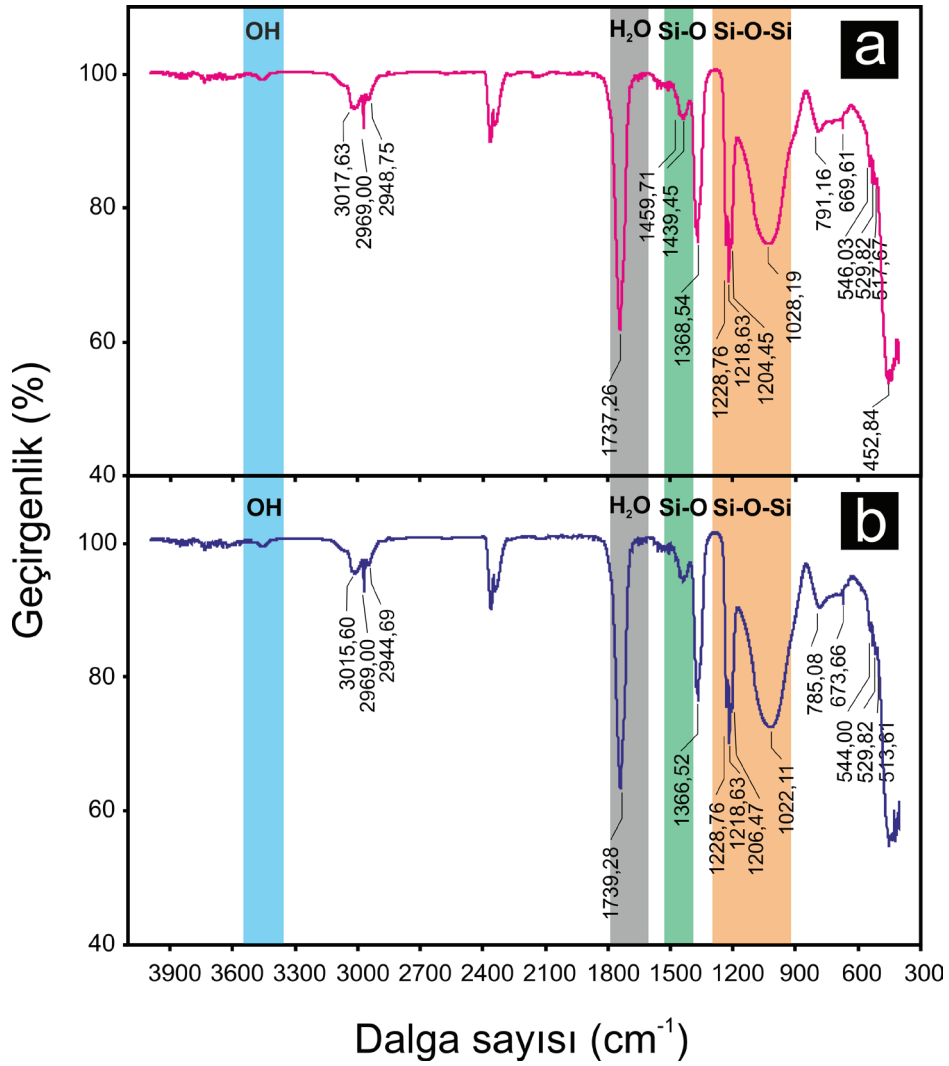
Figure 4. Thermogravimetric and differential thermal analysis (TG-DTA) of obsidian sampled from study area.

Obsidiyen ve genleşmiş obsidiyen örneklerinde Si-O-Si'nin karakteristik pikleri 1228, 1218, 1204, 1022 ve 1028 cm^{-1} 'de gözlenmektedir (Şekil 5a ve 5b). Si-O-Si'ye adsorbe olan moleküler suya ait değerler analiz edilen iki örnek için 1737 ve 1738 cm^{-1} 'de gözlenmiştir. 791, 699, 546, 529 ve 517 cm^{-1} pikleri örnek içerisindeki Si-O bağlarına ait bantları ifade etmektedir (Şekil 5a). Yaklaşık olarak 452 ve 440 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik, Si-O-Fe bağının titreşimine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, genleşmiş obsidiyen örneği FT-IR sonuçlarında 785, 673, 544, 529 ve 513 cm^{-1} 'deki bantlar silikat ağının Si-O bağlarının halka titreşimleriyle ilgili olarak gelişmektedir (Şekil 5b).

Bilgisayarlı Tomografi Gözenek Karakterizasyon

Bu çalışma kapsamında silindirik şekillerde hazırlanmış ilksel obsidiyen ile genleşmiş obsidiyen örnekleri bilgisayarlı tomografi cihazı ile üç boyutlu olarak analiz edilmiştir (Çizelge 2).

Analiz için özellikle orijinal obsidiyen örneklerinde hidrasyon bantlanması gösteren bölgeleri içeren kısımların olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 6a ve 6b). Buna göre, orijinal obsidiyenlerde hidrasyon sonucunda gelişen hidrasyon gözeneklerinin, voksellerin bölümlenmiş hacminden hesaplanan oranları sırasıyla, %3,87 ve %0,44 olarak belirlenmiştir. Isıl işlem sonucu oluşan obsidiyen örneklerinde gerçekleştirilen üç boyutlu gözenek analizleri sonucunda, seçilen hacim içerisinde hesaplanan değerler ise sırasıyla %67,06 ile %67,62 olarak belirlenmiştir. Gözenekler arası ara katmanların kalınlıkları düzensiz olup yer yer obsidiyenin genleşmeye uğramamış kısımlarına da rastlanmaktadır (Şekil 6c ve 6d). Gözenekler küresel olarak gelişmiş olup her iki birime ait gözeneklerin büyük çoğunluğunun açık gözenek olarak geliştiği belirlenmiştir. İnce çeperlere sahip geniş gözenekler ile nispeten daha kalın ve camın içerisinde dağılım gösteren küçük gözenekler olmak üzere iki tip gözenek oluşumu gözlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 5. a) Acıgöl freatomagmatik ürünlerinden örneklenen obsidiyen ve **(b)** genleşmiş obsidiyen FT-IR spektrumları.
Figure 5. FT-IR spectra of **(a)** obsidian sampled from Acıgöl phreatomagmatic products and **(b)** expanded obsidian.

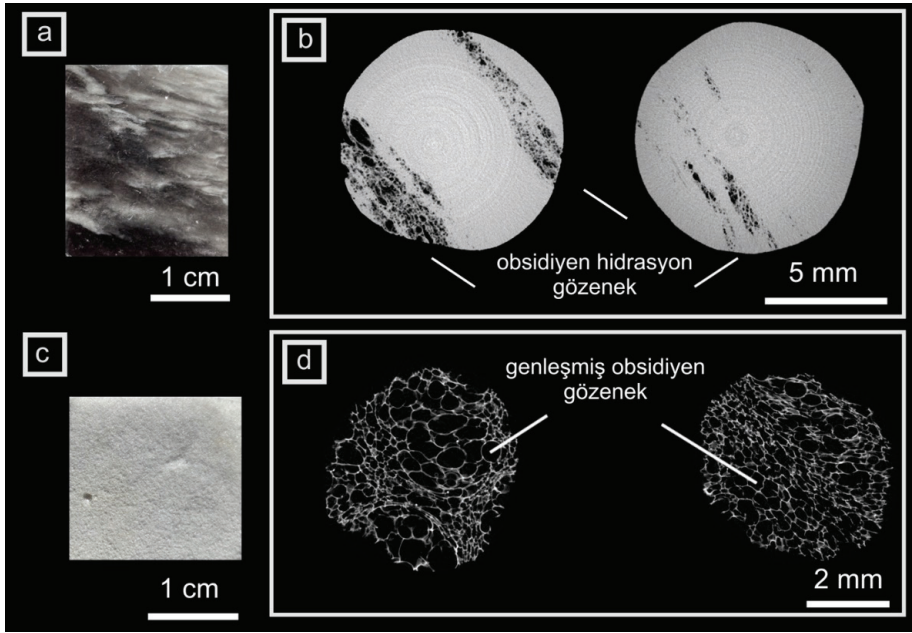
Çizelge 2. Obsidiyen ve genleşmiş obsidiyen üç boyutlu gözenek analiz sonuçları.

Table 2. Three-dimensional vesicle analysis results of obsidian and expanded obsidian.

		Obsidiyen		Genleşmiş Obsidiyen	
Toplam hacim¹	mm ³	377,92	290,37	94,1	155
Gözenek	%	3,78	0,44	67,06	67,62
Açık gözenek	%	3,22	0,19	67,03	67,61
Kapalı gözenek	%	0,58	0,25	0,086	0,02
Toplam gözenek hacmi²	mm ³	15,89	1,27	63,2	105

¹toplam hacim, üç boyutlu gözenek analizi için seçilen hacmi temsil etmektedir.

²toplam gözenek hacmi, seçilen hacim içerinden hesaplanan gözenek hacmini temsil etmektedir.



Şekil 6. a, b) Obsidiyen ve (c, d) genleşmiş obsidiyen fotoğraf görüntüleri ve orijinal yeniden yapılandırılmış iki boyutlu tomografi kesitleri.

Figure 6. Photo images and original reconstructed two-dimensional tomography slices of (a, b) obsidian and (c, d) expanded obsidian.

TARTIŞMA ve YORUM

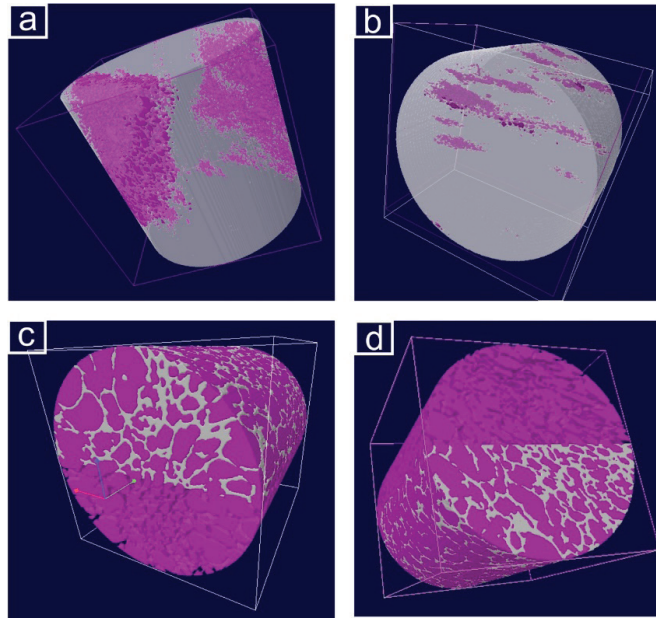
Volkanizma sırasında salınan volkanik gazlar, patlamanın tarzını ve yoğunluğunu büyük oranda etkilemektedir. Volkanik patlama sonucu oluşan ürünlerde su ve uçucu içeriklerinin belirlenmesi, patlama sırasında gerçekleşen süreçlerin yorumlanmasına olanak sağlamaktadır (Giachetti ve Gonnerman, 2013; Giachetti vd., 2015). Bununla birlikte, tek bir analitik yöntem ile magmatik ve ikincil su ayrımı yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple, farklı analitik yöntemlerin korelasyonu özellikle bu tarz çalışmalarda oldukça önemli bir yere sahiptir.

Analitik Yöntemler ile Cam Hidrasyon Davranışının Değerlendirilmesi

Volkan camında bulunan su içeriğinin belirlenmesine yönelik kullanılan analitik yöntemlerin hassasiyeti göz önünde

bulundurulduğunda, düşük oranlarda H_2O içeren örneklerde FT-IR yöntemi çok iyi sonuçlar sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, yöntem özellikle örnekte bulunan suyun OH ve H_2O formlarının belirlenmesinde önemli rol oynamıştır. Bununla birlikte, laboratuvar ortamında deneysel genleştirme ile bünyede bulunan suyun buharlaştırılması sürecinde, riyoitik bileşimdeki volkan camında gerçekleşen kütle kaybını belirlemek için termogravimetrik analiz yöntemi tercih edilmiştir. Örneklerin dokusal özelliklerini ve bileşenlerini tanımlamak amacıyla da bilgisayarlı tomografi ile üç boyutlu görüntüler elde edilmiştir.

Obsidiyene ait termogravimetrik analizde kütle kaybının $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa kadar sürekli olarak devam ettiği belirlenmiştir. Bu durum özellikle camsı fazda ve minerallerde bulunan mevcut su kaybına karşılık gelmektedir.



Şekil 7. a, b) Obsidiyen ve **(c, d)** genişlemiş obsidiyen üç boyutlu bilgisayarlı tomografi görüntü modelleri (gri bölgeler volkan camını, pembe bölgeler gözenekleri ifade etmektedir).

Figure 7. Three-dimensional computed tomography image models of **(a, b)** obsidian and **(c, d)** expanded obsidian (the gray area shows volcanic glass, while the pink area indicates vesicles).

Bu çalışmadaki örnekte su, özellikle silanol ve moleküler H_2O formlarında bulunmakta olup TG-DTA sonucunda belirlenen kütle kaybı, FT-IR spektral bölgelerinde gözlenen ve su bileşenlerine ait olan bantlar ile tutarlılık göstermektedir. Son çalışmalar, ağırlıklı olarak veya tamamen moleküler sudan oluşan volkan camındaki ikincil suyun, termogravimetrik analiz sırasında $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda, magmatik suyun ise $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde uzaklaştığını ileri sürmektedir (Giachetti vd., 2015). Aynı zamanda, $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki kütle kaybının ise genellikle adsorbe edilen suyun kaybına işaret ettiği ifade edilmektedir (Denton vd., 2012; Giachetti vd., 2015). FT-IR analizleriyle moleküler (H_2O) ve hidroksil (OH) formlarının cam içerisinde homojen bir şekilde dağılım gösteren çözünmüş içeriklerinin varlığı belirlenmiştir. FT-IR ile tespit edilen su içeriğinin büyük oranda cam taneciklerinin yüzeyindeki buharın atmosferik su adsorpsiyonunun bir sonucu olduğu ve ayrıca adsorbe edilen suyun ise

çoğunlukla termogravimetrik analiz sırasında $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye gelmeden uzaklaşmaya başladığı sonucuna varılmıştır.

Önceki çalışmalarda, magmatik suyun ağırlıklı olarak çözünmüş OH, çevresel suyun ise çoğunlukla moleküler H_2O formlarda geliştiği ifade edilmektedir (Stolper, 1982; Silver vd., 1990; Pandya vd., 1992; Giachetti vd., 2015; Seligman vd., 2016). Bununla birlikte, herhangi bir ısıtma sürecinde çevresel suyun (H_2O) daha düşük sıcaklıklarda, daha güçlü bağlar ile bağlanan magmatik suyun (OH) ise daha yüksek sıcaklıklarda salındığı ortaya konmuştur (Zhang, 1999; Zhang ve Behrens, 2000; Giachetti vd., 2015; Seligman vd., 2016). TG tekniği ile volkan camında ikincil su içeriğinin modelini oluşturmak amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda, ağırlıkça %0-4 H_2O içeren ortalık ile felsik arasında değişen kimyalara sahip volkan camının yüzey sıcaklıklarında ikincil hidrasyon difüzyonunun

yaklaşık olarak $10^{-23} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir (Giachetti vd., 2015; Seligman vd., 2016). Oluşum ortamını temsil eden sıcaklık ve basınç koşullarında felsik ve mafik camda bulunan suyun başlangıç difüzyon katsayısı güncel çalışmalarda 10^{-3} ila $10^{-4} \mu\text{m}^2/\text{yıl}$ olarak sunulmuştur (Seligman vd., 2016). Ayrıca, Friedman vd. (1966) ve Zhang ve Behrens (2000) ikincil hidrasyon oranlarını 400°C ve üzeri sıcaklıklarda $1\text{-}10 \mu\text{m}/1000 \text{ yıl}$ olarak hesaplamışlardır.

Obsidiyenin ve genleşme ürününün dokusal olarak incelenmesi, örneklerle ait mikro yapının üç boyutlu olarak görüntülenmesi ve gözenek içeriklerinin saptanması ayırt edici özelliklerin belirlenmesinde önemli veriler sağlamıştır. Bu kapsamda perlitleşme, perlitik çatlaklar sunmayan, ilksel obsidiyen örneğinin ısı işleme tabi tutulması sonucu, su ve uçucuların giderilmesi ile birlikte genleşerek gözenekli bir yapı kazandığı ortaya konmuştur (Şekil 7c ve 7d). Aynı zamanda, ilksel volkan camında gelişen magmatik ve/veya ikincil hidrasyonun görüntülenmesi ile birlikte diğer analitik yöntemler ile elde edilen verilerin korelasyonu sağlanmıştır (Şekil 7a ve 7b).

Magmatik Gaz Salınım Süreci: Obsidiyen Hidrasyonu ve Genleşme Özellikleri

Bu çalışmada, su içeren riyolitik camın deneysel ısı işlem süreçleri sonucunda yüksek oranlarda genleşmeye uğradığı ortaya konmuştur. Riyolitik bileşime sahip obsidiyenin yaklaşık olarak 850 ila 950°C 'deki sıcaklıklarda genleşme sürecini tamamladığı ve bunun sonucunda gözenekli bir yapı kazandığı belirlenmiştir. Isıl işlem altında gazlar gözeneklerde daha fazla büyümeye neden olarak bünyenin genleşmesine katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, su içeriğinin belirli bir oranın altında olduğu koşullarda, genleşme işlemi sırasında uçucu ve su içeriği bünyeyi daha yavaş terk edeceğinden, parçalanma şiddeti azalmaktadır (Angelopoulos vd., 2020; 2022). Volkanik patlamalarda hidrotermal olarak

sisteme giren su ve gazlar patlamanın şiddetli olarak gelişmesine neden olmakla beraber bu tarz volkanizma sonucu oluşan ürünler, özellikle hızla soğuyan volkan camları, çözünmüş magmatik suyu kaydedebileceği gibi ortamdan gelen ilave suyu da bünyesine alabilmektedir (Hudak vd., 2022). Bu kapsamda, Hudak vd. (2021)'de gerçekleştirdikleri hidrojen izotop çalışmaları ile volkanizma ürünlerinde bulunan magmatik suyun çoğunun kaybolduğunu ve bir miktar çevresel suyun kazanıldığını öne sürmüşlerdir. Camın volkanizma ile eş zamanlı olarak hidrasyona uğraması için ise olduğu ortamda yüksek sıcaklıklarda suyla karşılaşması gerektiğini önermektedirler (Hudak vd., 2021; 2022).

Obsidiyen genleşme sürecinde gelişen gözeneklerin dayanımı eriyik malzemenin viskozitesi tarafından belirlenmektedir. Yüksek viskozite, basınca dayanıklı camsı duvarların oluşumuna neden olmaktadır. Obsidiyen genleşmesi, eriyikte sıvı fazın gelişimi ile meydana gelmektedir. Viskozitenin ani düşmesi gaz faza ait basıncın artmasına neden olmakta ve eriyik viskozitesini yenen bir basınç meydana getirerek yüzey gerilimini yenmektedir. Burada genleşmenin miktarı, gaz fazın oranına bağlı olarak değişmektedir (Friedman vd., 1963; Gardner vd., 2000).

SONUÇ

Bu çalışma, obsidiyenin, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ısı işlemle bünyesinde bulunan uçucu ve su türlerini kaybedeceğini ve buna bağlı olarak yoğunluğunun azalacağını, petrografik olarak perlitleşme olmasa da genleşmenin meydana gelebileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile volkanik patlamalar sırasında uçucuların ve suların salınmasının olası önemini vurgulamak ve süreci ölçmek için kullanılabilecek yöntemlerin uygulanabilirliğini tartışarak daha fazla araştırmayı

motive etmek amaçlanmıştır. Buna göre, volkanik patlamalar ile oluşan ürünlerin su içeriklerinin, bu çalışmada uygulanan analitik yöntemlerin yanı sıra izotop analizleri gibi kapsamlı analitik yöntemler ile daha güvenilir bir şekilde analiz edilebileceği sonucuna varılmıştır.

EXTENDED SUMMARY

The style of volcanic eruptions is mostly controlled by the volatile content in the magma during the ascent to the surface (Ross and Smith, 1955; Sparks, 2003; Eichelberger, 1995; Gardner, 2007; Gonnermann and Manga, 2007). The source of volatiles produced by explosive eruptions has been identified as water content. This is also accepted to be one of the most important parameters affecting the rheology of intermediate and felsic magmas (Gardner et al., 2000; Gonnermann and Manga, 2007; Giachetti et al., 2015). Obsidian is a volcanic product formed by the rapid cooling of rhyolitic magma, characterized by a glassy texture and a color spectrum typically ranging from dark greenish-black to deep black (Lacy, 1959; Denton et al., 2009; Angelopoulos et al., 2022). Water in rhyolite can be found in both molecular (H₂O) and hydroxyl (OH) forms (Silver et al., 1990; Pandya et al., 1992; Kaufhold et al., 2014). Volcanic glass can form simultaneously with primary magmatic water which changes during or after the gas release process that occurs as a result of volcanism (Seligman et al., 2016; Giachetti et al., 2020).

In this study, various analytical methods were applied to obsidian samples collected from the rhyolitic Acıgöl Maar, located within the Cappadocian Volcanic Province and dated to 20.3 ± 0.6 ka (Schmitt et al., 2011). The samples were obtained from the crater wall of the Nevşehir Acıgöl Maar, a phreatomagmatic structure characterized by its rhyolitic composition. The obsidian typically occurs as non-vesicular lithic fragments, ranging in size from a few millimeters

to several decimeters. The primary objective of this study is to investigate the hydration behavior and expansion characteristics of the obsidian. To investigate vesicle formation resulting from hydration and heat-induced expansion mechanisms in obsidian, the samples were analyzed using three-dimensional computed tomography (CT). Mass loss at varying temperatures was assessed through thermogravimetric and differential thermal analysis (TG-DTA), while the structure and speciation of water within the glass were characterized using Fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy.

This study demonstrated that expanded obsidian with high rates of expansion might be experimentally created by heat treatment procedures from obsidian containing a certain amount of water. It was determined that obsidian with a rhyolitic composition undergoes significant expansion at temperatures between approximately 850 and 950 °C, accompanied by increased vesiculation. This expansion is driven by heat-induced degassing, where the release of volatiles promotes vesicle growth, thereby contributing to the overall volume increase of the material. However, when the initial water content falls below a certain threshold, the release of volatiles occurs at a slower rate, which in turn mitigates the risk of abrupt fragmentation or explosive disintegration during heating (Angelopoulos et al., 2020; 2022). In the context of this study, density measurements obtained from both the raw obsidian and the heat-treated product further confirm that vesicle formation during thermal treatment is associated with the loss of volatiles and water species within the glass matrix.

FT-IR analysis revealed that the dissolved water was homogeneously distributed within the glass. This water content was interpreted as resulting primarily from ambient adsorption onto the surface of the glass particles. Thermogravimetric

analysis indicated that most of the adsorbed water began to disappear at temperatures below 500 °C, supporting the interpretation that the detected water was weakly bound and surface-associated. TGA of the volcanic glass indicated that mass loss began at approximately 25 °C and was largely completed by 850 °C. Previous studies showed that at low H₂O concentrations, magmatic water in volcanic glass predominantly exists in the form of dissolved hydroxyl groups (OH), whereas environmental water is present primarily as molecular H₂O (Stolper, 1982; Silver et al., 1990; Pandya et al., 1992; Giachetti et al., 2015; Seligman et al., 2016). In obsidian, water is typically found as both silanol (Si-OH) and molecular H₂O species. Recent research further suggests that secondary water, which is composed mainly or entirely of molecular H₂O, is released during TGA at temperatures below 550 °C, while magmatic water is released at temperatures above 550 °C (Giachetti et al., 2015). Additionally, mass loss observed below 250 °C is generally attributed to the loss of loosely adsorbed surface water (Denton et al., 2012; Giachetti et al., 2015).

The textural data obtained through the computed tomography analysis allowed three-dimensional imaging of the microstructure of the samples and vesicle distribution. The thermally expanded product of the obsidian sample was found to exhibit a porous structure, attributed to the release of volatiles and water during heating. Concurrently, the development of magmatic and/or secondary hydration within the primary volcanic glass was successfully visualized and correlated with results obtained from other analytical techniques. This study demonstrates that laboratory-based heat treatment induces the loss of structurally bound water and volatile components in obsidian, resulting in decreased density and subsequent physical expansion. It was also concluded that such expansion can occur even in the absence of petrographically observable

perlitic texture, indicating that perlitisation is not a prerequisite for vesiculation or thermal response in rhyolitic glass.

In conclusion, this study aims to highlight the possible importance of the release of volatiles and water during volcanic eruptions and to motivate further research by discussing the feasibility of methods that can be used to measure the process. Accordingly, it was concluded that the water content of volcanic eruption products can be more reliably characterized through the use of comprehensive analytical approaches, such as isotopic analysis, in conjunction with the methods employed in this study.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, TG-DTA ölçümleri için Abdullah Obut'a (Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü), bilgisayarlı tomografi ve FT-IR ölçümleri için H. Evren Çubukçu'ya (Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü) teşekkür etmektedir. Yazarlar, ayrıca, bu çalışmanın ilk versiyonu üzerinde yapıcı eleştiri ve katkıları bulunan hakemlere de teşekkür etmektedir. Bu çalışmanın bir kısmı Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 0701602009).

ORCID

Lütfiye Akın  <https://orcid.org/0000-0003-2965-3745>

Erkan Aydar  <https://orcid.org/0000-0002-6550-0714>

KAYNAKLAR / REFERENCES

Angelopoulos, P. M., Manic, N., Jankovic, B. & Taxiarchou, M. (2022). Thermal decomposition of volcanic glass (rhyolite): Kinetic deconvolution of dehydration and dehydroxylation process.

- Thermochimica Acta*, 707, Article 179082. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2021.179082>
- Angelopoulos, P. M., Manić, N., Tsakiridis, P., Taxiarchou, M. & Janković, B. (2020). Dehydration of rhyolite: activation energy, water speciation and morphological investigation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 142, 395–407. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10105-2>
- Çubukçu, H. E. Aydar, E., Akin, L. & Şen, E. (2024). Temporal constraints on magmatic evolution of Acıgöl Bimodal Volcanic Field (Nevşehir, Türkiye). *Geochemistry*, 84(4), Article 126129. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126129>
- Davis, B. K. & McPhie, J. (1996). Spherulites, quench fractures and relict perlite in a Late Devonian rhyolite dyke, Queensland, Australia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 71, 1–11. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(95\)00063-1](https://doi.org/10.1016/0377-0273(95)00063-1)
- Denton, J. S., Tuffen, H., Gilbert, J. S. & Odling, N. (2009). The hydration and alteration of perlite and rhyolite. *Journal of the Geological Society*, 166(5), 895–904. <https://doi.org/10.1144/0016-76492008-007>
- Denton, J. S., Tuffen, H. & Gilbert, J. S. (2012). Variations in hydration within perlitised rhyolitic lavas—evidence from Torfajökull, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 223, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.02.005>
- Eichelberger, J. (1995). Silicic volcanism: ascent of viscous magmas from crustal reservoirs. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 41–64.
- Ellerbrock, R., Stein, M. & Schaller, J. (2022). Comparing amorphous silica, short-range-ordered silicates and silicic acid species by FTIR. *Scientific Reports*, 12, Article 11708. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15882-4>
- Friedman, I., Smith, R. L. & Long, W. D. (1966). Hydration of natural glass and formation of perlite. *Geological Society of America Bulletin*, 77(3), 323–328. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1966\)77\[323:HONGAF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1966)77[323:HONGAF]2.0.CO;2)
- Friedman, I., Long, W. & Smith, R. L. (1963). Viscosity and water content of rhyolite glass. *Journal of Geophysical Research*, 68(24), 6523–6535. <https://doi.org/10.1029/JZ068i024p06523>
- Friedman, I. & Long, W. (1984). Volcanic glasses, their origins and alteration processes. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 67(1–3), 127–133. [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(84\)90144-3](https://doi.org/10.1016/0022-3093(84)90144-3)
- Gardner, J. E. (2007). Heterogeneous bubble nucleation in highly viscous silicate melts during instantaneous decompression from high pressure. *Chemical Geology*, 236(1–2), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.08.006>
- Gardner, J.E., Hilton, M. & Carroll, M.R. (2000). Bubble growth in highly viscous silicate melts during continuous decompression from high pressure. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(8), 1473–1483. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00436-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00436-6)
- Giachetti, T. & Gonnermann, H.M. (2013). Water in volcanic pyroclast: Rehydration or incomplete degassing? *Earth and Planetary Science Letters*, 369–370, 317–332. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.03.041>
- Giachetti, T., Gonnermann, H. M., Gardner, J. E., Shea, T. & Gouldstone, A. (2015). Discriminating secondary from magmatic water in rhyolitic matrix-glass of volcanic pyroclasts using thermogravimetric analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 148, 457–476. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.10.017>
- Giachetti, T., Hudak, M. R., Shea, T., Bindeman, I. N. & Hoxsie, E. C. (2020). D/H ratios and H₂O contents record degassing and rehydration history of rhyolitic magma and pyroclasts. *Earth and Planetary Science Letters*, 530, Article 115909. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.115909>

- Gonnermann, H. M. & Manga, M. (2007). The fluid mechanics inside a volcano. *Annual Reviews of Fluid Mechanics*, 39(1), 321–356. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.39.050905.110207>
- Hudak, M. R., Bindeman, I. N., Loewen, M. W. & Giachetti, T. (2021). Syn-eruptive hydration of volcanic ash records pyroclast-water interaction in explosive eruptions. *Geophysical Research Letters*, 48, Article e2021GL094141. <https://doi.org/10.1029/2021GL094141>
- Hudak, M. R., Bindeman, I. N., Watkins, J. M. & Lowenstern, J. B. (2022). Hydrogen isotope behavior during rhyolite glass hydration under hydrothermal conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 337, 33–48. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2022.09.032>
- Kaufhold, S., Reese, A., Schwiebacher, W., Dohrmann, R., Grathoff, G. H., Warr, L. N., Halisch, M., Müller, C., Schwarz-Schampera, U. & Ufer, K. (2014). Porosity and distribution of water in perlite from the island of Milos, Greece. *SpringerPlus*, 3, 598. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-598>
- Lacy, E. (1959). Hydrated Glasses. *Nature*, 183, 178–179. <https://doi.org/10.1038/183178b0>
- Lenhardt, K.R., Breitzke, H., Buntkowsky, G., Reimhult, E., Willinger, M. & Rennert, T. (2021). Synthesis of short-range ordered aluminosilicates at ambient conditions. *Scientific Reports*, 11, Article 4207. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83643-w>
- Lexa, J., Varga, P., Uhlik, P., Koděra, P., Biroň, A. & Rajnoha, M. (2021). Perlite deposits of the Central Slovakia Volcanic Field (Western Carpathians): Geology and properties. *Geologica Carpathica*, 72, 253–281. <https://doi.org/10.31577/GeolCarp.72.3.5>
- Lofgren, G. (1971). Experimentally Produced Devitrification Textures in Natural Rhyolitic Glass. *Geological Society of America Bulletin*, 82, 111–124.
- McIntosh, I. M., Llewellyn, E. W., Humphreys, M. C. S., Nichols, A. R. L., Burgisser, A., Schipper, C. I. & Larsen, J. F. (2014). Distribution of dissolved water in magmatic glass records growth and resorption of bubbles. *Earth and Planetary Science Letters*, 401, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.05.037>
- Meier, V., Breitzkreuz, C., Groß, D. & Ohser, J. (2023). Re-evaluation of perlitic textures and fracture behavior in silica-rich volcanic rocks. *Bulletin of Volcanology*, 85, 50. <https://doi.org/10.1007/s00445-023-01659-8>
- Pandya, N., Muenow, D. W. & Sharma, S. K. (1992). The effect of bulk composition on the speciation of water in submarine volcanic glasses. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(5), 1875–1883. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(92\)90317-C](https://doi.org/10.1016/0016-7037(92)90317-C)
- Ross, C. S. & Smith, R. L. (1955). Water and other volatiles in volcanic glasses. *American Mineralogist*, 40(11–12), 1071–1089.
- Schmitt, A. K., Danišik, M., Evans, N. J., Siebel, W., Kiemele, E., Aydın, F. & Harvey, J. C. (2011). Acigöl rhyolite field, Central Anatolia (part 1): high-resolution dating of eruption episodes and zircon growth rates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162, 1215–1231. <https://doi.org/10.1007/s00410-011-0648-x>
- Seligman, A.N., Bindeman, I.N., Watkins, J.M. & Ross, A.M. (2016). Water in volcanic glass: From volcanic degassing to secondary hydration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 191, 216–238. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.07.010>
- Silver, L. A., Ihinger, P. D. & Stolper, E. (1990). The influence of bulk composition on the speciation of water in silicate glasses. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104, 142–162. <https://doi.org/10.1007/BF00306439>
- Sparks, R. S. J. (2003). Dynamics of magma degassing. *Geological Society, London, Special Publications*, 213, 5–22.
- Stolper, E. (1982). The speciation of water in silicate melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(12), 2609–2620.

Zhang, Y. (1999). H₂O in rhyolitic glasses and melts: measurement, speciation, solubility, and diffusion. *Reviews of Geophysics*, 37, 493–516.

Zhang, Y. & Behrens, H. (2000). H₂O diffusion in rhyolitic melts and glasses. *Chemical Geology*, 169(1–2), 243–262. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(99\)00231-4](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(99)00231-4)



**Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Manto-Tipi Cu ($\pm$ Ag) Cevherleşmesinin Jeolojisi,
Jeokimyası ve İzotop ($\delta^{65}\text{Cu}$ - $\delta^{34}\text{S}$ ‰) Oranları**
*Geology, Geochemistry, and Isotope Ratio ($\delta^{65}\text{Cu}$ - $\delta^{34}\text{S}$ ‰) of Manto-Type Gölcük
(Koyulhisar-Sivas) Cu ($\pm$ Ag) Mineralisation*

**İsmail Erdem Kızılgöz¹ , Çiğdem Şahin Demir² , Ali Uçurum^{3*} 
Nazmi Otlu³ , Ahmet Efe³ , Ryan Mathur⁴ **

¹ Bursa Teknik Üniversitesi, Mimar Sinan Yerleşkesi, 163140 Yıldırım- Bursa, Türkiye

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, 58140, Sivas, Türkiye

³ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

⁴ Juniata College, Huntingdon, 16652 PA, United States

• Geliş/Received: 02.05.2025

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 14.07.2025

• Kabul/Accepted: 22.07.2025

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 17.08.2025

• Baskı/Printed: 31.08.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) cevherleşmesi, Eosen yaşlı bazalt ve andezit ile bunların piroklastiklerini içeren volkanik-volkanosedimanter yan kayaçlıdır. Cevher mineralleri bornit, kalkopirit, kovellit, kalkosit, malakit, manyetit ve hematittir. Yan kayaçlarda alterasyonlar serizitleşme, killeşme, karbonatlaşma, iddingsitleşme ve epidotlaşmadır. Gang mineraller kuvars ve kalsit ile sınırlıdır. Sondaj karot örneklerinin analiz sonuçlarına göre, yüzeyden ortalama 9,7 m derinlikte %2,97 Cu ve 37 g/t Ag tenör olarak belirlenmiştir. Kükürt izotop değerleri ($\delta^{34}\text{S}$ ‰) yüzey örneklerinde -20,0'dan +2,8'e, karot örneklerinde -6,3'ten +0,6'ya değişim aralığındadır. Bakır izotop değerleri ($\delta^{65}\text{Cu}$ ‰) yüzey örneklerinde -0,86'dan +1,38'e, karot örneklerinde -1,41'den +2,69'a değişim göstermektedir. Gölcük Cu (Ag) cevherleşmesi; cevher mineral parajenezi, alterasyon mineralojisi, yataklanma tipi ve izotop jeokimya değerlerine göre Manto-tipi olabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gölcük Cu ($\pm$ Ag), Manto-tipi Cevherleşme, S-Cu İzotopu.

Abstract: Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) mineralisation is hosted by Eocene basalt and andesite and pyroclastics with volcanic-volcano-sedimentary rocks. Ore minerals are bornite, chalcopyrite, covellite, chalcocite, malachite, magnetite and hematite. Alteration in the host rocks includes sericitization, argillisation, carbonation, iddingsitization and epidotization. Gangue minerals are limited to quartz and calcite. According to the analysis results for the drill core samples, 2.97% Cu and 37 g/t Ag grade was determined at an average depth of 9.7 m from the surface. Sulphur isotope values ($\delta^{34}\text{S}$ ‰) range from -20.0 to +2.8 in surface samples and from -6.3 to +0.6 in core samples. Copper isotope values ($\delta^{65}\text{Cu}$ ‰) range from -0.86 to +1.38 in surface samples and -1.41 to +2.69 in core samples. For Gölcük Cu (Ag) mineralization, ore mineral paragenesis, alteration mineralogy, deposit type, and isotope geochemistry values suggest that it may be a Manto-type deposit.

Keywords: Gölcük Cu ($\pm$ Ag), Manto-type Mineralisation, S-Cu Isotopes.

GİRİŞ

Manto-Tipi Cu±Ag Yataklarına Genel Bakış

Manto-tipi Cu (Ag) cevherleşme modeli hakkında okuyucuya kısa bilgi vermek amacı ile literatür taraması ile derlenerek özetlenmiştir.

Şili’de ilk kez ayrıntılı olarak tanımlanan ve nispeten yüksek tenörlü (en fazla %8 ağırlıkça Cu) olan manto tipi Cu yatakları, dünyada önemli bir Cu yatak türüdür (örneğin Wilson ve Zentilli, 1999; Vila vd., 1996; Benavides vd., 2007). Manto tipi Cu kütleleri her zaman volkanik veya tortul tabakalar içinde bulunur ve çoğunlukla yapısal olarak kontrol edilir (Megaw vd., 1988; Wilson ve Zentilli, 1999; Pollard, 2006). Şili’deki Manto tipi yataklarda, mineralizasyon tabakalara göre uyumsuzdur ve yapısal olarak damarlar tarafından kontrol edilir (Wilson vd., 2003a ve b), oysa İran’daki Manto tipi yataklarda, metallerin birikimi üzerinde güçlü bir stratigrafik kontrol vardır (Boveiri vd., 2013; Abolipour vd., 2015; Maghfouri vd., 2017). Şili And dağlarındaki volkanik yankayaçlı ve sedimanter yanı kayaçlı yataklar olarak ayrılmıştır (Camus, 1980).

Bu yataklar genellikle volkanik/volkaniklastik kayaçlarda bulunur ve bakır sülfür mineralleri (örneğin, kalkopirit, kalkosit, bornit ve digenit) bakımından zengindir ve tabakalı veya tabular cevher kütleleri için büyük ölçeklidir. 1960’larda ilk kez tanımlanmalarının ardından (örneğin, Carter, 1961), manto tipi bakır yataklarının jeolojisi, sıvı kapanım özellikleri, izotoplar, yaşlar ve mineral jeokimyası açısından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. (örneğin, Wilson vd., 2003a; Tristá-Aguilera vd., 2006; Oliveros vd., 2008; Carrillo-Rosúa vd., 2006, 2014; Cai vd., 2016; Maghfouri vd., 2017).

Kuzey Amerika Cordillera’daki benzer yataklar “volkanik kırmızı yatak” olarak adlandırılır (Wilton ve Sinclair, 1988; Kirkham, 1996; Cabral ve Beaudoin, 2007). Pasifik Kıyısı Kuşağı çevresinde, Şili’deki Cerro Negro, Mantos

Blancos, Buena Esperanza ve El Soldado gibi çok sayıda Mesozoyik Manto tipi Cu yatakları bulunmaktadır (Wilson ve Zentilli, 1999; Wilson vd., 2003a ve b). Eosen ve Kretase dönemlerinde oluşan manto tipi bakır yatakları, Himalaya-Tibet Kuşağı boyunca da görülmüştür. İran’daki Abbas Abad, Mari, Kesht Mahaki gibi yataklar bunlara örnektir (Maghfouri vd., 2017; Boveiri vd., 2013; Abolipour vd., 2015; Salehi ve Rasa, 2016).

Paleozoyik volkanik-sedimanter dizisi Orta Asya Orojenik Kuşağı’nda iyi gelişmiştir, ancak şu ana kadar Manto tipi yatak tanımlamaları sınırlıdır. Çin’in Sincan Uygur Özerk Bölgesi’nin kuzeyindeki Batı Junggar bölgesindeki Sharburti Dağı’nda bulunan Hongguleleng (Armuqiang olarak da bilinir) Cu yatağı (Shen vd., 2020), ve Tiyanşan bölgesindeki Orta Permiyen Honglanliang yatağı (Zhao vd., 2020), batı Junggar’daki Hongguleleng yatağı (Sun vd., 2021) örnek olarak verilebilir.

Manto tipi yatakların oluşumu pek çok tartışmaya konu olmuştur (Fontboté, 1990); önerilen genetik modeller arasında;

- volkanojenik sinjenetik (örn. Ruiz vd., 1965; Camus, 1980; Ruiz ve Peebles, 1988)’ten
- volkanik yığınlarının düşük dereceli metamorfizması sırasında serbest kalan akışkanlarla ilişkili (örn. Sato, 1984; Westra, 1988; Sillitoe, 1992);
- doğrudan granitoid plütonlardan türetilen akışkan kaynaklı (örn. Carter, 1961; Palacios, 1986; Kohn vd., 1990),
- bu son iki mekanizmanın bir kombinasyonunu (örn. Fontboté, 1990) çağrıştıran hipotezlere kadar değişmektedir.

Kojima vd. (2009) Şili manto-tipi bakır cevherleşmesinin derin plüton kökenli hidrotermal çözeltilerin volkanik-sedimanter kayaç ile etkileşimi sonucu oluştuğunu vurgulamıştır. Boric vd. (2002) El Saldado-Şili manto tipi bakır cevherleşmesinde cevher minerallerinin

zonlandığını, merkezde bornit-kalkosit, bunu bornit-kalkopirit zonunun sardığını ve en dış zonda da kalkoprit-pirit zonu olduğunu vurgulamıştır.

Kojima vd. (2009)'a göre meteoritik su ve havza havza tuzlu suları gibi yüzey kökenli sıvıların, volkano-sedimanter ana kayalarla hidrotermal etkileşimi, manto tipi yatakların oluşumu için güçlü bir köken mekanizma olarak görülmektedir.

Bu suların dolaşımını sağlamak için bölgesel bir ısı kaynağı gereklidir ve bu rolü derin kökenli bir plütonik kompleks oynamış olabilir. Dolayısıyla, ana kaya litolojisi ve intrüzyonların konumu gibi yerel jeolojik özellikler, her bir yatakta özgün bir manto tipi cevherleşme modelinin oluşturulması açısından iyi şekilde belirlenmelidir.

Porfiri tipi bakır yataklarından sonra, Şili'nin en önemli bakır üretim madenleri "mantolar"dır. Bu yataklar tipik olarak epijenetik tabakalarla sınırlı, yayılmış, yüksek tenörlü (~%2 Cu), kalkosit-bornit-kalkopirit cevherleşmeleri şeklindedir ve çoğunlukla Mesozoyik yaşlı karasal volkanik ve volkano-klastik kayaç serilerinde bulunmaktadır.

Cevherleşme genellikle birincil gözeneklilik ve çatlak porozitesi tarafından kontrol edilir.

- Manto jeolojisi bölgeden bölgeye oldukça değişkendir.
- Volkanik kayaçlarda barındırılan yataklardaki sülfürün izotop bileşimi genellikle değişkendir, $\delta^{34}\text{S}$ değerleri magmatik sülfür değerlerine (-10 ila +10‰) benzemektedir.
- Buna karşılık, daha çok sedimanter tabakalar tarafından barındırılan yataklardaki sülfürler izotopik olarak çok hafiftir: $\delta^{34}\text{S}$ değerleri -10 ila -40‰ arasındadır (Munizaga ve Zentilli, 1994).
- Bu fark, sülfürün kaynağının ya da oluşum süreçlerinin farklılığını yansıttığı şeklinde yorumlanmaktadır.

Tetis metalojenik kuşağında komşumuz olan İran'da Manto-tipi Cu (Ag) yataklarının son on yılda hızla tanımlanmış olmasına rağmen (Movahednia vd., 2022), Türkiye de bu tür tanımlama ve adlandırma henüz yapılmamıştır. İlk kez bu çalışma ile Eosen yaşlı bazalt ve andezit ile bunların piroklastiklerini içeren volkanik-volkanosedimanter yan kayaçlı Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) cevherleşmesi: bornit, kalkopirit, kovellit, kalkosit, malakit, manyetit ve hematit mineral içeriği; serizitleşme, killeşme, karbonatlaşma, iddingsitleşme ve epidotlaşmadan oluşan alterasyonları; kuvars ve kalsit ile sınırlı gang mineralleri; S -Cu izotop oranları ($\delta^{34}\text{S}$ ‰ yüzey örneklerinde -20,0'dan +2,8'e, karot örneklerinde -6,3'ten +0,6; $\delta^{65}\text{Cu}$ ‰ yüzey örneklerinde -0,86'dan +1,38'e, karot örneklerinde -1,41'den +2,69) ve yataklanma tipi göre Manto-tipi olabileceği ileri sürülebilir.

MATERYAL ve METOD

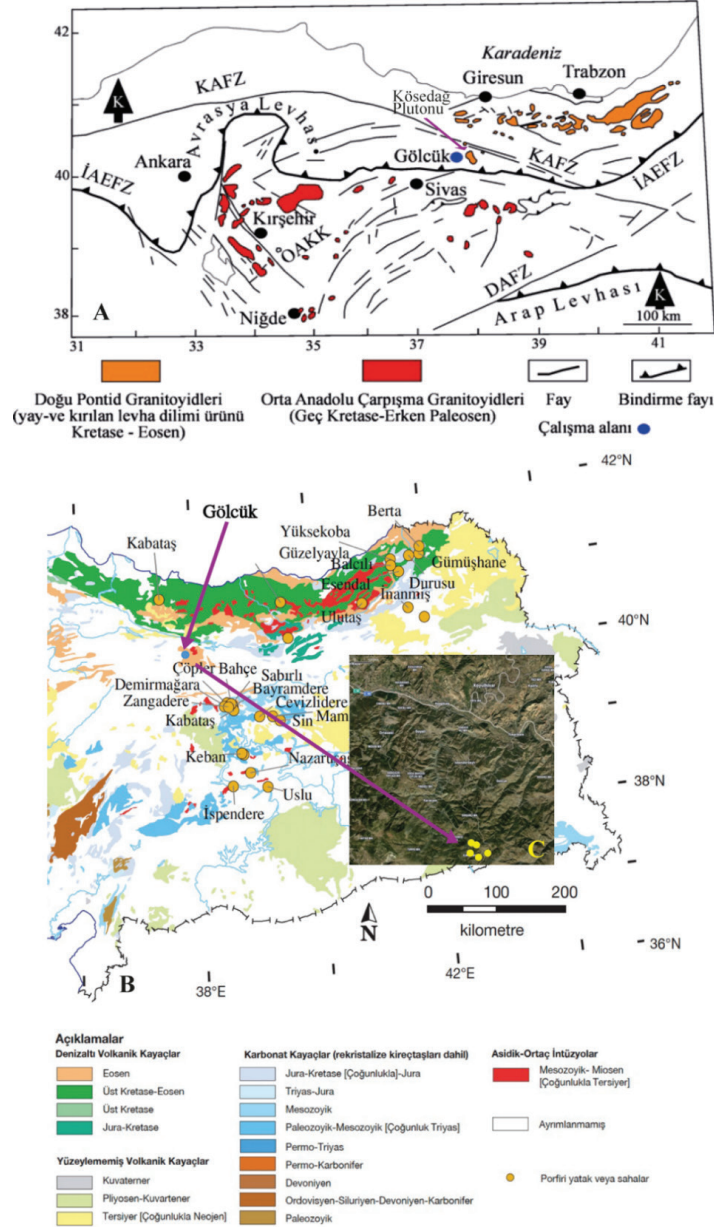
İnceleme alanındaki cevherleşme ve yan kayaç ilişkisi, saha ve laboratuvar çalışmalarından oluşan yöntemlerle incelenmiştir.

Gölcük Cu cevherleşme sahası 9 farklı mostra alanından oluşmakta olup (Şekil 1 ve 2) 50 adet yüzey ve 9 adet sondaj karotlarından alınan 25 adet sondaj ve toplamda 75 adet kayaç örneğinde ince kesit; 30 adet mostra ve 30 adet sondaj karotlarından olmak üzere toplamda 60 adet parlatma blokları hazırlanarak tanımlanmıştır. Tanımlamalar Nikon Coolpix 4500 kamera ataçmanlı üstten ve alttan aydınlatmalı Nikon Eclipse E600 POL mikroskobunda Pyser-SGI Tablo 1,0/0,01mm mikrometresi ile ölçeklendirilerek tanımlanmıştır.

S ve Cu izotopları tek bir mineral örneğinden ziyade, mineral bornit (Bn), kalkopirit (Cp), kovellit (Cv), kalkosit (Cc) ve malakit (Mlc) birlikteliklerini/dönüşümleri içeren mineral tanelerinden elde edilmiştir. S ve Cu izotop analizleri için örnekler CÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü

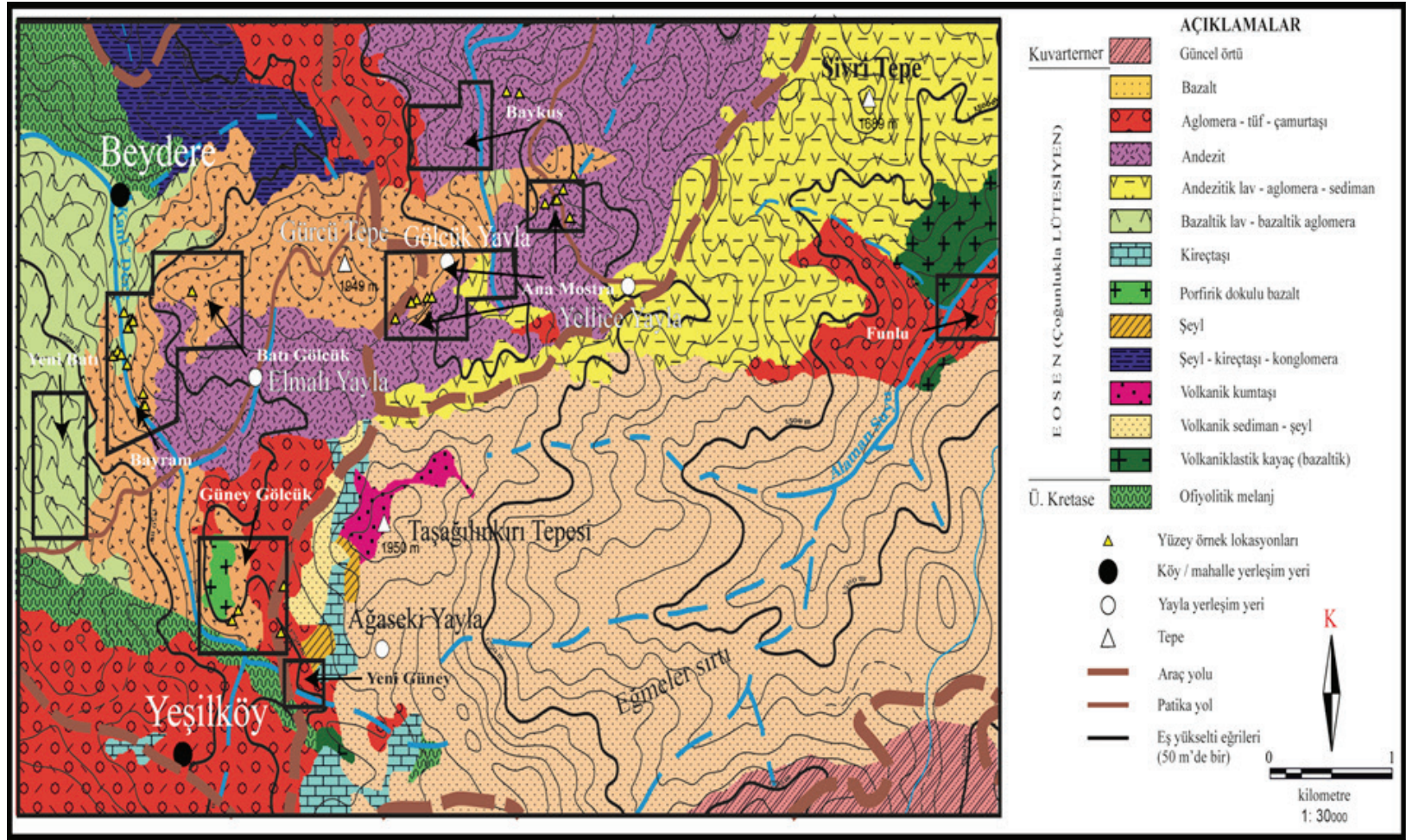
Parlak Kesit Laboratuvarı'nda üstten aydınlatmalı mikroskop ile ayıklanarak hazırlanmıştır. Daha sonra bu mineral birliktelikleri/dönüşümlerini

içeren mineral tanelerin bileşimleri, XRD yöntemi ile de teyit edilmiştir.



Şekil 1.A) Çalışma bölgesi ve yakın civarının basitleştirilmiş bölgesel tektoniği, (Boztuğ, 2008'den), **B)** Doğu Pontid porfiri yataklarının dağılımı ile Gölçük sahasının bölgesel jeolojik ve coğrafik konumu (Yiğit, 2009'dan) **C)** Gölçük sahasının ve cevher mostralarını gösterir uydu görüntüsü.

Figure 1.A) Simplified regional tectonics in the study area and surroundings (after Boztuğ, 2008); **B)** Regional geological and geographical location of the Gölçük area with the distribution of Eastern Pontide porphyry deposits (after Yiğit, 2009); **C)** Satellite view of the Gölçük area and ore outcrops.



Şekil 2. Gölcük ve civarının detaylı jeolojik haritası ve cevherleşme mostraları (King, 2013, Smyth, 2013 ve Smyth, 2014'ten değiştirilerek).

Figure 2. Detailed geologic map of Gölcük and mineralised outcrops (modified from King, 2013, Smyth, 2013 and Smyth, 2014).

$\delta^{34}\text{S}$ İzotopu

Kükürt izotop jeokimyası analizi için 30 adet örnekten (14 yüzey–16 karot), $\delta^{34}\text{S}$ izotop analizleri Nevada Reno Üniversitesi (ABD) Duraylı İzotop Laboratuvarı’nda yaptırılmıştır.

Kükürt izotopları Eurovector 3000 model element analiz cihazında 1000 °C’de doğrudan yakma (combustion) ile analiz edilmiştir. S gazı oksijen fugasitesinin Cu-CuO karışımı ile tamponlandığı fırınlarda SO_2 gazına dönüştürülür. Oluşan SO_2 gaz kromatograflarında saflaştırılmış ve devamlı akış hatlı Micromass Isoprime izotop oran kütle spektrometresi ile analiz edilmiştir. S izotop analizleri Giesemann vd., 1994’te belirtilene benzer yöntemle yürütülmüştür. Analizler GSL (Green Sphalerite), UGLI (Galena), BSL (Brown Sphalerite) ve MIC (Chalcopyrite) standartları kullanılarak kalibre edilmiştir. Hata oranı $\pm$ (%0,2)’dir. Değerler V-CDT’e (Vienna Canyon Diablo Troilite) ve Denklem (1) kullanılarak rapor edilmiştir.

$$\delta^{34}\text{S} = \left(\frac{\left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{\text{örnek}}}{\left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{\text{standart}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (1)$$

$\delta^{65}\text{Cu}$ İzotopu

Bakır izotop analizleri için örnekler 0,05 gr Cu-sülfür ve Cu-oksit ve aqua regia yöntemiyle çözeltiye alınıp bir gece 200 °C de bekletilmiştir. Sonrasında Mathur vd. (2009) tarafından belirtilen yöntem ile alınıp analiz 200 ppb ye kadar saflaştırılmıştır. Örnekler Arizona Üniversitesi (ABD) Micromass Isoprobe labotratuvarında MC-ICP-MS (çoklu kollektörlü iyon kütle spektrometresi)’ne enjekte edilip analiz edilmiştir. Kütle spektrometresinde indiyum iç standartı ve NIST 976 $\delta^{65}\text{Cu}$ standardı kullanılarak 0,01% den daha az hata oranı ve (2) denklemi ile rapor edilmiştir.

$$\delta^{65}\text{Cu}\text{‰} = \left(\frac{\left[\frac{^{65}\text{Cu}}{^{63}\text{Cu}} \right]_{\text{örnek}}}{\left[\frac{^{65}\text{Cu}}{^{63}\text{Cu}} \right]_{\text{standart}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (2)$$

BÖLGESEL JEOLJİ

Türkiye’nin Tetis metalojeni, dalma-batma, çarpışma, çarpışma sonrası ve sürüklenme süreçlerinin etkileşimi ile şekillenmiştir ve esas olarak Geç Kretase’dan Senozoyik’e kadar uzanan volkanik plutonik ve ofiyolitik kayalarla ilişkilidir. Ada yaylarında bulunanlardan kıta ortamlarıyla ilişkili olanlara kadar geniş bir yelpazede maden yatakları mevcuttur. Bunlar porfiri, skarn, yüksek ve düşük sülfidasyonlu epitermal (Yiğit, 2006), Kuroko ve Kıbrıs tipleri dahil olmak üzere polimetalik volkanik ilişkili masif sülfür (VMS) yatakları, podiform kromit, lateritik nikel, karbonat barındıran kurşun-çinko (sedimanter-eksalatif (SEDEX) ve Mississippi Vadisi tipi (MVT) dahil), karstik ve lateritik boksit, mezotermal ve listvenit barındıran tipleri içeren orojenik altın (Uçurum ve Larson, 1999; Uçurum, 2000) ve plaser yatakları gibi ekonomik öneme sahip başlıca yatak türleridir (Yiğit, 2009).

Anadolu bölgesi Alp-Himalaya Orogenik kuşağının bir parçası olup günümüzde bölgede yüzeyleyen kayalar Geç Mesozoyik-Senozoyik döneminde Afrika-Avrasya kıtalarının yaklaşması sonucu Neotetis okyanus (ları) nın kapanma tarihçesine ait jeolojik kayıtları içerir. İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı (İAEKK) boyunca yüzeyleyen ofiyolitik melanjın konumu eskiden Neotetisin kuzey kolunun bulunduğu yeri işaret eder. İAEKK’nın güneyinde bulunan ve metamorfik kayalar, ofiyolitler ile magmatik sokulumlardan oluşan Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK) Türkiye’de yüzeyleyen en büyük metamorfik komplekstir. Bahsi geçen kristalen kompleks Geç Kretasede Paleozoyik-Mesozoyik sedimanter birimler üzerine ofiyolitik napların yerleşmesi, buna bağlı olarak bölgesel

Barrovian metamorfizması (Lefebvre vd., 2011; 2013) ve magmatik sokulum gibi karmaşık tektonik olaylara maruz kalmıştır (Şengör ve Yılmaz 1981; Boztuğ ve Jonckheere, 2007; Moix vd., 2008; Yiğit, 2006; 2009).

Orta Anadolu Kristalin Kompleksi'ndeki maden yatakları NeoTetis Okyanusu'nun kuzey kolunun kapanması sırasında, Sakarya Mikro kıtasını altındaki okyanus kabuğunun kuzeye doğru dalmasıyla meydana gelen çarpışma ve çarpışma sonrası magmatic süreçler, Geç Kretase-Eosen döneminde çeşitli maden yataklarının oluşumuna yol açmıştır. Bunlar arasında skarn, damar tipi yataklar ile tortul diatomit, kaolinit, tuz ve uranyum yataklarıdır. Bölgesel dağılımları ve bölgenin jeolojik evrimiyle olan ilişkileri göz önüne alındığında, skarn ve damar tipi yatakları Orta Anadolu Kristalin Kompleks (OAKK) metalojenezinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Kuşçu ve Erler, 1998; Yiğit, 2006, 2009; Kuşçu vd., 2010).

Gölcük Bakır cevherleşmesi H39 (1:100.000) jeoloji haritasında (MTA, Sayısal Harita) Eosen yaşlı volkanik kayalar içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu da Türkiye'nin bu bölgesinde Pontidlerde ve Orta Anadolu Kristalin Kompleks (OAKK)' inde gerilme rejimi ve onu takip eden sıkışma rejimleri (Boztuğ, 2008) sonucu gelişmiştir. Gölcük ve civarında da gözlenen volkano-sedimanter birlik, Torid-Anatolid ve Kuzey Avrasya plakalarının Geç Paleosen-Erken Eosen'de çarpışması sonucu oluşmuştur. Volkano-sedimanter birim genellikle D-B ve KD-GB yönlerinde dağılım göstermektedir (Şekil 1).

Gölcük cevherleşmesi KAFZ'nun 2-3 km güneyinde, Köseadağ plutonu ise Gölcük Cu cevherleşmesinin 2,5 km GD'sunda yer almaktadır. Bölgede Eosen (tüm kayalar Rb-Sr izokron yaş 42 ± 4 my, Kalkancı, 1974; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ zirkon ağırlıklı ortalama yaş ile evaporasyon yaşı $52,1\pm 6,4$ my, Boztuğ, 2008) yaşlı siyenit, kuvars-siyenit bileşimli Köseadağ plütunu OAKK'ni

üzerleyen volkano-sedimanter birimi kesmiş ve bu da Gölcük cevherleşmesinin oluşumuna katkı sağlamıştır (Şekil 1).

İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

MTA 1:100.000, 1:25.000 ölçekli jeoloji haritalarına (sırası ile Giresun H-39 (MTA, Sayısal Harita), H-39 c₁ (Uysal, 1992)) göre, Gölcük'teki mineralizasyon Eosen yaşlı volkano-klastik kayalarda gelişmiştir (Şekil 1 ve 2).

Bunlar, Türkiye genelinde tanımlanan özellikle Karadeniz bölgesinde Eosen volkano-sedimanter dizilimlerle uyumlu olup, zaman bakımından iki sıkıştırma rejimiyle çevrelenmiş bölgesel bir genişleme rejimi ile ilişkilidir (Şekil 1; Boztuğ, 2008).

Bu volkano-sedimanter dizi, modern literatürde Aksu Formasyonu (Kalkancı, 1974); Cıbiltepe Volkanikleri (Uysal vd., 1995); Mucur Formasyonu olarak (Geneli, 2011) adlandırılmıştır. Ancak MTA haritasında Giresun H-39, H-39 c₁ bu şekilde adlandırılmamış olup, herhangi bir açıklayıcı metin eşlik etmemektedir. Dizi, Güney Torid-Anatolit platformu ile Kuzey Avrasya plakası arasındaki son çarpışmadan (Geç Paleosen-Erken Eosen) önce oluşmuş, Avrasya ile Afrika-Arap arasındaki çarpışmadan kaynaklanan Oligosen'den Geç Miyosen'e kadar olan sıkıştırmadan sonra yer almaktadır.

Uysal vd. (1995) inceleme alanının temelini Üst Senoniyen öncesi yaşta Tekelidağ Karışığı'ndan oluştuğunu, bunun üzerine açısız uyumsuzluk ile kilaşı-kumtaşı ve konglomera ardalanmasından oluşan ve yer yer olistostromal düzeyler içeren Alt-Orta Eosen yaşlı Akıncılar Formasyonu (Yılmaz, 1985) yer aldığını belirtmiştir. Akıncılar Formasyonu inceleme sahasının kuzeybatısında küçük bir alanı kapladığı ifade edilmiştir. Akıncılar Formasyonunu uyumlu ve geçişli olarak andezitik, bazaltik lav akıntıları ve aglomeralar ve tüfitlerle ayrılan Haydaroğlu

Formasyonu (Terlemez ve Yılmaz, 1980) izler. İnceleme alanındaki çoğu cevher mineralizasyonu Haydaroğlu Formasyonunda bazaltik kayalarda yer aldığı rapore edilmiştir. Sahanın güney kesiminde kireçtaşları ile kıltaşı, kumtaşı ve konglomera birimleri yer alır. Doğanşar Formasyonunun üzerinde ise geçişli olarak genellikle aglomeradan oluşan, andezitik ve bazaltik lav akıntıları içeren Cıbiltepe volkanitleri yer almaktadır (Uysal vd., 1995).

Çarpışma sonrası gelişen Orta Eosen yaşlı volkanitler Üst Eosen yaşlı Köseadağ plütunu tarafından ve daha sonraki dönemde yine Üst Eosen sonlarında andezit ve tüflerden oluşan daykılarla (Şarköy volkanitleri) kesilmiştir. Daha sonra bölgede Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı kırıntılardan oluşan Onarı Formasyonu önceki formasyonlar üzerinde uyumsuz olarak yer alır (Uysal vd., 1995).

Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kadıköy Formasyonu ve Şerefiye Bazaltı, kendilerinden daha yaşlı olan formasyonları uyumsuz olarak örter. En üstte ise güncel alüvyon ve alüvyon yelpazeleri yer alır. (Uysal vd., 1995). Bölgedeki volkano-sedimenter kayalar Gönçüoğlu vd. (1993 ve 1994) Orta Anadolu Kristalin Kompleksi üzerindeki sedimanter örtü olarak adlandırmış ancak, Genelli (2011) bu sedimanter örtüyü yeniden üretmiş ve KD Pontidlerde gözlenen Volkano-sedimanter birimleri Eosen Mucur Formasyonu olarak adlandırmıştır.

Doğu Karadeniz bölgesindeki Eosen volkanik kayalar lav şeklinde gözleendiği gibi zaman zaman farklı alanlarda genellikle kırıntılı tortul istifler içinde ara lav akmaları halinde ve dayklar şeklinde gözlenmektedir. Bazaltik volkanik kayalar ve piroklastikler yastık yapısı ve sütun eklemleri sergilemekte ve bu özelliğinden dolayı Genelli (2011) tarafından volkaniklerin sıg denizel ortamda yerleştii ifade edilmekte ve özellikle bazaltların amigdaloidal olup kuvars, kalsit ve zeolit dolgular içerdii ifade edilmiştir. Buna

karşın, Gölcük civarında volkanik kayalarda arjilik, serizitik, iddingsitleşme ve epidotlaşma türü alterasyonun yaygın olduğu Kızılgöz, (2019) tarafından tanımlanmıştır.

İnceleme sahasının (Şekil 2) daha çok kuzey batısında mostra veren andezitik lav-aglomera birimleri tabakalı yapı gösterir, breşik ve genelde killeşmiştir. Kireçtaşları Yeşilköy civarının doğusunda bantlar halinde bulunur ve içinde kalsit damar ve toplulukları vardır. Sahanın batısında mostra veren bazaltik lav ve bazaltik aglomera tabakalı ve yer yer şistoziteli yapı gösterir. Volkanik sedimanlar ve şeyl sahanın güneydoğusuna doğru geniş yayılım gösterir, tuf ve killeşmiş kayalar parçalarından oluşur. Andezitler sahanın kuzey ve orta kesiminde mostra verir, bazalt ve andezitik lavlar ile kontak halindedir. Sahanın batısındaki bazalt birimler bazaltik lav-bazaltik aglomera ile kontak halindedirler ve yer yer breşik yapı gösterirler.

Gölcük bölgesindeki stratigrafik dizilim; alttan üstte doğru sırası ile Üst Kretase Ofiolitik melanj ile başlamakta, bunu uyumsuzlukla bazaltik bileşimli volkanoklastik kayalar üzerlemekte, ve sonrasında volkanik ara katkılı sedimanter kayalar-şeyl, volkanik kumtaşı, şeyl-kireçtaşı-konglomera, şeyl, porfirik dokulu bazalt, kireçtaşı, bazaltik lav-aglomera, andezitik lav-aglomera, andezit-aglomera-tuf ve bazalt takip etmektedir. Ofiyolitler üzerine gelen volkanik ve sedimenter seriler genellikle Eosen (çoğunlukla Lütisiyen yaşlıdır). İnceleme alanının GD’da güncel örtü birimleri Kuvaterneri oluşturmaktadır (Şekil 2).

Genelli (2011) Yozgat bölgesindeki volkanik kayaların tortul birimlerle ilişkisi, volkanizmanın çökelimle eş zamanlı olduğunu ifade etmiştir. Volkanik kayalar ile ilişkili kireçtaşı ve kumtaşı, Geç-Orta Eosen (Bartoniye, 37-40 My)’i temsil eden zengin bir fosil topluluğuna sahip olduğunu ifade etmiştir. Bu yaş, önceki çalışmalarla da tutarlıdır (Gönçüoğlu vd., 1993, 1994; Erdoğan vd., 1996). Atakay (2009), Çorum

bölgesinde yüzeyleyen volkanik kayalar için K-Ar yöntemiyle ($41,4 \pm 1,4$ My) yaş tayini yapmıştır. Bununla beraber Eyüboğlu vd. (2013) ve Gümüşhane'nin GD'sunda Nummilites sp. içeren kireçtaşları ile birlikte bulunan bazalt, andezit ve piroklastiklerin yaşının, U/Pb yöntem ile; adakitik biyotitce zengin andezitte $48,71 \pm 0,74$ My, adakitik olmayan aglomera bombası olan andezitte $44,68 \pm 0,84$ My olduğunu ifade etmiştir. Radyometrik yaş verilerinin tamamı çalışma bölgesindeki volano-sedimanter kayalarının yaşının Orta Eosen (Lutesiyen) işaret etmektedir.

KAYAÇ VE CEVHER PETROGRAFİSİ

Gölcük sahasında epidotlar ve Cu cevherleşmesi, genellikle saçınımlı damar ve stokwork şeklinde tabakalı andezit, bazalt ve piroklastiklerin içerisinde oluşmuştur. Gölcük bakır cevherleşmesinin dokuz farklı bölgede yüzlek verdiği gözlemlenmiştir (Şekil 2). Bunlar batıdan doğuya doğru Yeni Batı; Bayram, Batı Gölcük, Güney Gölcük, Ana, KD Ana, Baykuş ve Funlu yüzlekleridir.

Kayaç Petrografisi

İnce kesit petrografi çalışması sonucu; bazalt, andezit ve bazaltik piroklastik kayaç tanımlaması yapılırken, killeşme, karbonatlaşma, epidotlaşma ile iddingsitleşme, serizitleşme, serpantinleşme ve opasitleşme türü alterasyon ürünleri tanımlanmıştır. Kayaç tanımlamalarında; MacKenzie (1982), Adams vd. (1984), Deer vd. (1992), Melgarejo ve Martin (2011), ve Barker (2014) referanslarından faydalanılmıştır. Buna karşın alterasyon petrografisi ve mineralojisinde ise Thompson ve Thompson (1996), Delvigne (1998) referanslarından faydalanılmıştır.

Bazı kayalar yoğun altere olduğundan dolayı ilksel kayaç tanımlaması çoğunlukla yapılamamıştır. Bazalt: Olivin mineralleri

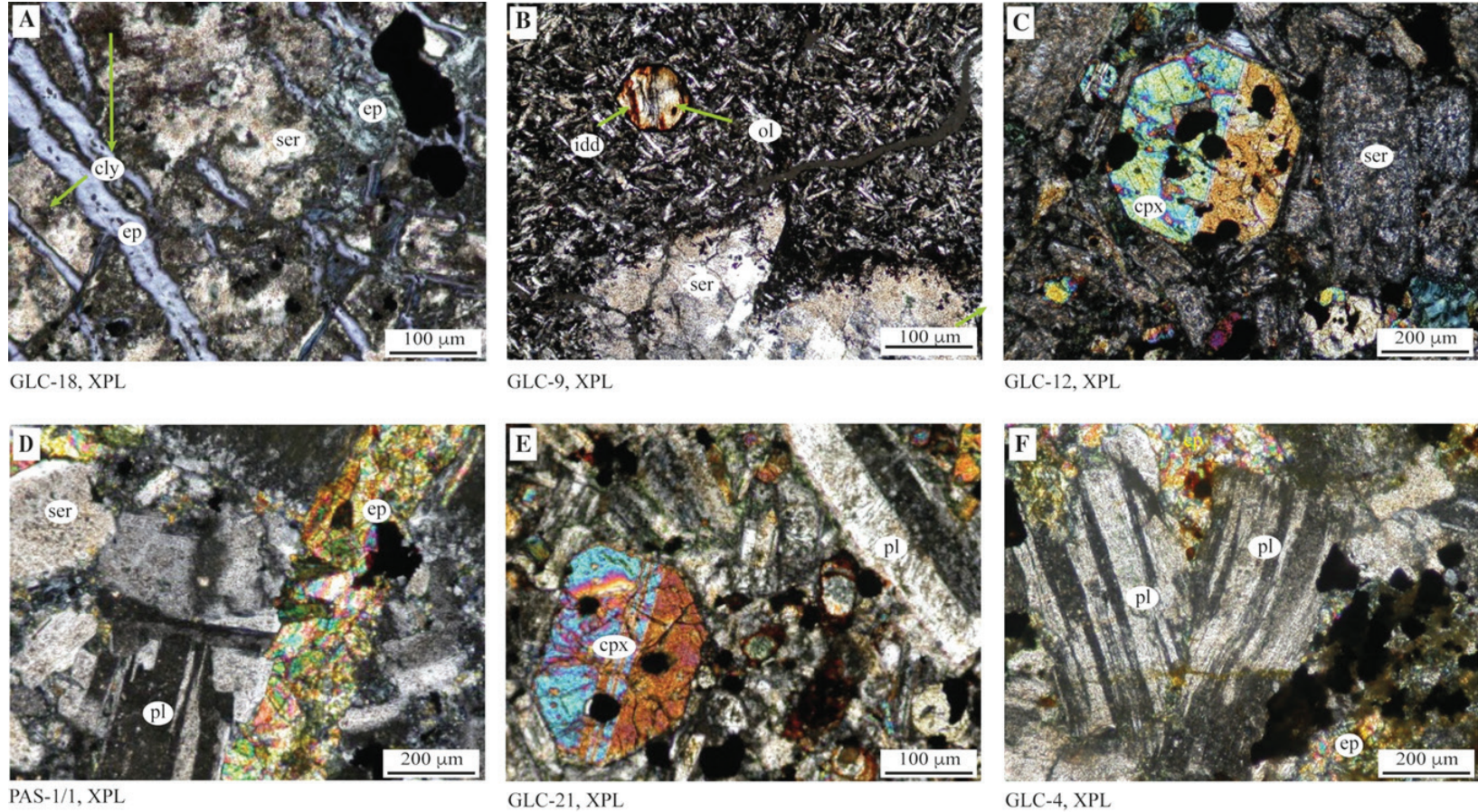
çoğunlukla özşekilsiz (anhedral) ve bazı örneklerde özşekilli (euhedral) gözlemlenmiştir. Klinopiroksenler; diğer minerallere göre daha yoğun ve yaygındır. Çoğunlukla yarı özşekilli (subhedral) ve bazı örneklerde özşekillidir (euhedral). Hornblend ve biyotit, klinopiroksenlere göre çok daha az orandadır. Plajiyoklazlar daha çok yarıözşekilli (subhedral), tipik polisentetik ikizlenme ile serizitleşmiş, killeşmiş olarak gözlemlenmiştir. (Şekil 3A, D, E ve F).

Piroklastik bazaltik kayalar da gelişi güzel dağılmış mikrolitler, fenokrsitaller ve volkanik malzemelerden oluşmuştur. Olivinler genelde yeşilimsi sarı renkte gözlemlenmiştir. Genelde mikroçatlaklar boyunca serpantinleşmiş ve mineral sınırları boyunca iddingsitleşmiştir (Şekil 3 B). Mikrolitler daha çok plajiyoklaz minerallerinden oluşmaktadır. Hamur malzeme de tuf ve volkanik camdan oluşmaktadır.

Cevher Petrografisi

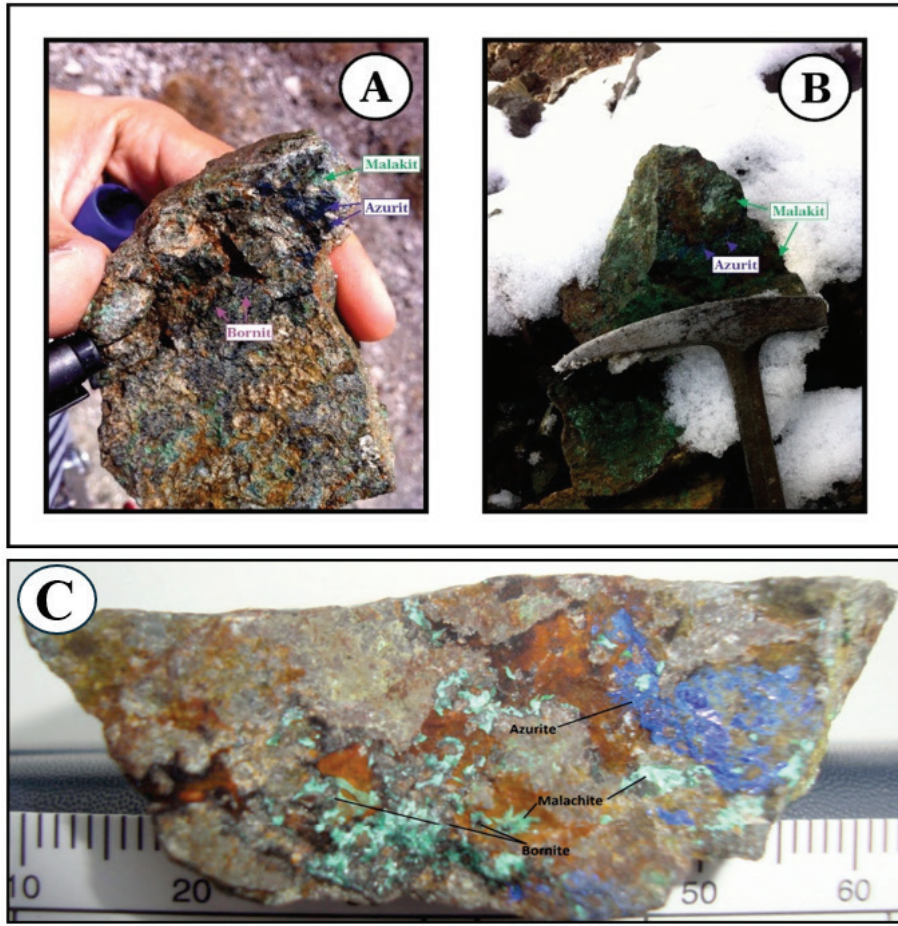
Altmış adet parlatma bloğunda, cevher petrografisi çalışmalarında Ramdohr (1980), Picot ve Johan (1982), Ixer, (1990), Jambor ve Vaughan (1990), Craig ve Vaughan (1994), Augustithis (1995), Marshall vd. (2004), Taylor (2009), Lufkin (2012), Pracejus (2015), Paar vd. (2016) referanslarından faydalanılmıştır.

Gölcük Cu cevherleşmesi yüzeyde 9 farklı alanda mostra vermektedir (Şekil 1). Bunlar Bayram sahası Gölcük köyünün 1,3 km KB'sında olup, bazaltlar içerisinde malakit, az oranda da bornit ve azurit mineralleri ile karakteristiktir. Yüzlek kesikli olarak 800 m devam etmektedir. 700 m GB'sında Batı Gölcük sahası bulunmakta; bu saha fay kontrollüdür ve cevherleşme içermektedir. Buna karşın Baykuş sahası ise Ana Gölcük sahasının 1,2 km KD'sunda yer alır ve bazalt içinde malakit ve az oranda bornit içerir (Şekil 4 ve 5).



Şekil 3. Mostradan alınan yan kayaç mikrofotografıları. **A)** yoğun killeşme (cly) ve epidotlaşma (ep), **B)** piroklastik bazaltik kayaç; öz şeklini korumuş olivinin (ol), kenarlarından itibaren iddingsitleşmesi (idd), yoğun killeşme (cly), pilotaksitik doku. **C)** piroklastik bazaltik kayaç; klinopiroksen (cpx) ve serisitleşme (ser). **D)** piroklastik bazaltik kayaç; epidotlaşma (ep), plajiyoklaz (pl) minerallerinde killeşme (cly) ve serizitleşme (ser). **E)** bazalt; klinopiroksen (cpx) mineralleri ve olivin parçalarında iddingsitleşme (idd), yoğun opak mineraller. **F)** Plajiyoklazlarda polisentetik ikizlenme ve epidot gelişimi.

Figure 3. *A)* Dense argillisation (cly) and epidotization (ep), *B)* Pyroclastic basaltic rock with olivine (ol) preserving its core shape, iddingsitization (idd) from the edges, dense argillisation (cly), pilotaxitic texture. *C)* Pyroclastic basaltic rock with clinopyroxene (cpx) and sericitization (ser). *D)* Pyroclastic basaltic rock with epidotization (ep), argillisation (cly) and sericitization (ser) in plagioclase (pl) minerals, *E)* Basalt with iddingsitization (idd), dense opaque minerals in clinopyroxene (cpx) and olivine? *F)* Polysynthetic twinning in plagioclase and epidote formation.



Şekil 4. Bazaltik kayalarda Cu mineralizasyonu makrofotoğrafları. **A)** Azurit ve kısmen bornit ve malakit mineralizasyonu. **B)** Azurit ve yoğun malakit mineralizasyonu. **C)** Bazaltik piroklastikler içersindeki Cu mineralizasyonun el örneği görünümü.

Figure 4. Close-up view of Cu mineralisation in basaltic rocks. **A)** Azurite and partly bornite and malachite mineralisation. **B)** Azurite and intense malachite mineralisation. **C)** Hand sample view of Cu mineralisation in basaltic pyroclastics.

Cevher mineralleri parajenez, süksesyon ve doku bazında incelenmiştir. Bakır cevher mineralleri; bornit, kalkopirit, kovellit, kalkosit, malakit, demir oksit mineralleri ise manyetit ve hematitdir (Şekil 6). Bornit minerali kalkopirit tarafından ornatılmış (Şekil 6B ve E) ve/veya birlikte oluşmuştur. Bornit kalkosit iç içe büyümelerini gösterir mirmekitik doku

göstermektedir (Şekil 6D). Örneklerin birçoğunda bornitin, sırası ile kalkosit ve kovellit tarafından ornatıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 6). Demir oksit minerali olan manyetitin tercih edilen kristal düzlemleri boyunca oksidasyon sonucu kısmen hematite dönüşerek martitleşme gelişmiştir (Şekil 6C).



Şekil 5. Gölcük bakır sahası 5 farklı mostralarda gözlenen cevherleşmelerin arazi ve el örneği görünümü.

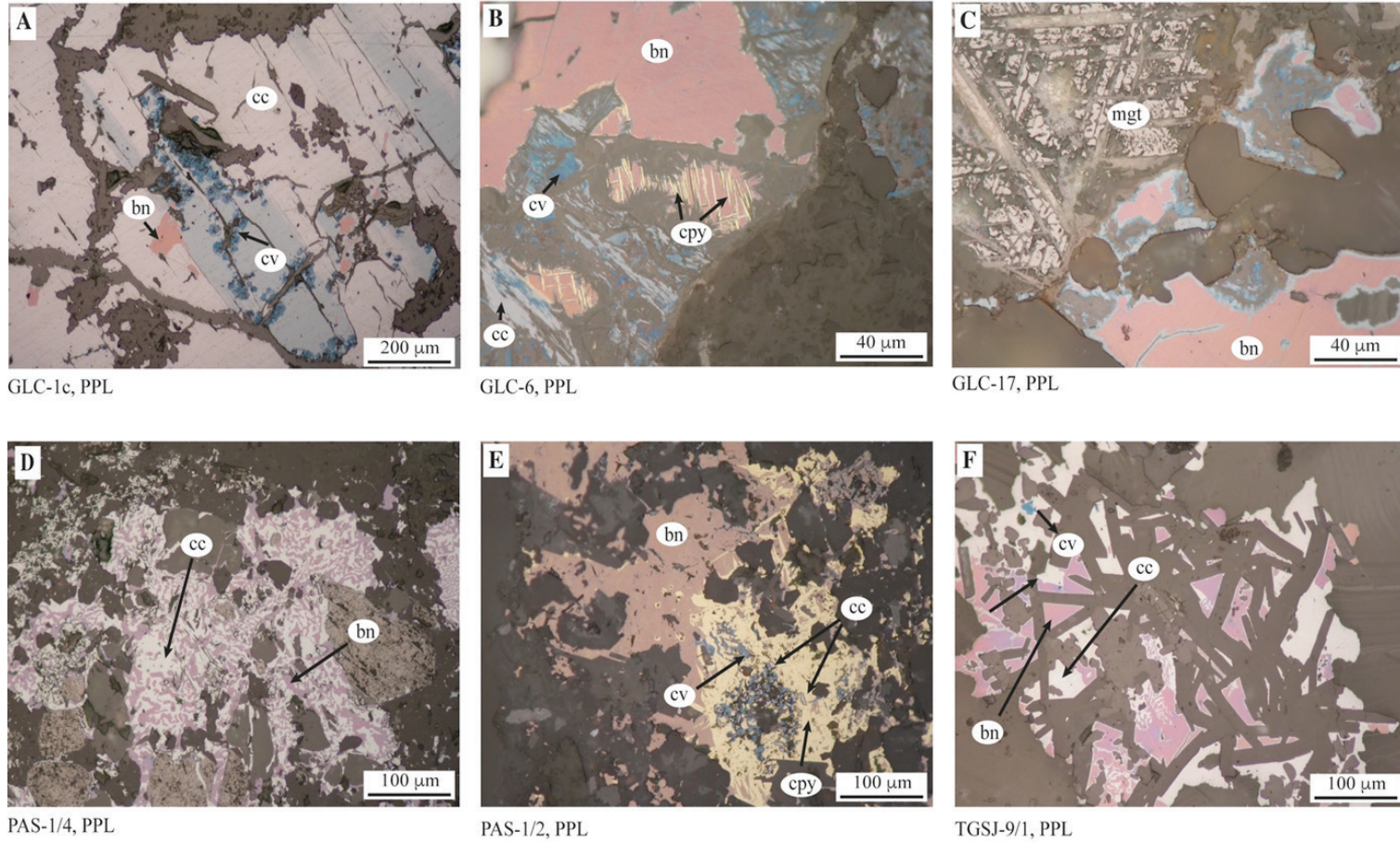
Figure 5. Field and hand sample view of ores observed in 5 different outcrops in Gölcük copper mineralisation.

Cevher minerale parajenezi aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

Bornit→Kalkopirit→Kalkosit→Kovellit→Malakit

Manyetit→Hematit

Martitleşme



Şekil 6. Cevher minerallerinin mikrofotografı. **A)** kalkosinin (cc) bornitten (bn) itibaren oluşumu ve kolloform yapıda kovellit (cv), **B)** Kalkopiritin (cpy) bornit (bn) dilinimleri ve mineralin sınırları boyunca eksolüsyonu. **C)** Bornitten (bn) itibaren kalkosit ve kovellit oluşumu, daha sonra manyetit tarafından ornatılması, **D)** Bornit (bn) ve kalkosit (cc) arasındaki mirmekitik doku. **E)** Kalkopirit (cpy) bornit (bn) ile iç içe/beraber oluşması ve kalkosit (cc) ile kovellit (cv) tarafından ornatılması, **F)** kırıklı parçalı doku; kalkosit (cc) ve kovellit (cc) bornitten (bn) itibaren gelişimi ve Çatlaklardan itibaren kalsit ve epidot oluşumu.

Figure 6. **A)** Formation of chalcocite (cc) from bornite (bn) and covellite (cv) in colloform structure, **B)** Exsolution of chalcopyrite (cpy) along bornite (bn) slices and mineral boundaries, **C)** Formation of chalcocite and covellite from bornite (bn), followed by its replacement by magnetite, **D)** Myrmekitic texture between bornite (bn) and chalcocite (cc)-covellite (cv), **E)** Chalcopyrite (cp) intergrown/co-formed with bornite (mn), and chalcocite (cc) and covellite (cv), **F)** Fractured texture between bornite (bn), chalcocite (cc) and covellite (cv) (fractures filled with calcite and epidote).

Çizelge 1. Pasinex tarafından yapılan bazı karotlu sondajlarda Cu (%) ve Ag (ppm) değerleri.

Table 1. Cu (%) and Ag (ppm) values in core drillings made by Pasinex.

Sondaj No	Sondaj Uzunluğu (m)	Örnekleme Başlangıcı (m)	Örnekleme Sonu (m)	Analiz Uzunluğu (m)	% Cu	Ag (ppm)
PAS-03	165,0	6,0	8,0	2,0	0,56	ND
		78,5	85,5	7,0	1,57	6
		90,5	92,5	2,0	1,01	5
		93,5	97,5	4,0	1,83	15
PAS-04	203,5	10,0	13,5	3,5	0,82	9
		28,0	31,0	3,0	0,69	18
PAS-05	212,5	117,0	119,5	2,5	1,21	17
		142,5	143,0	0,5	0,42	6
		144,5	145,0	0,5	0,59	1
PAS-07	213,0	139,0	142,0	3,0	0,35	7

Jeokimyasal analizlerde Ag belirlenmesine (Çizelge 1) rağmen cevher petrografisinde Ag içeren mineraller gözlemlenmemiştir. Cevherleşmeye eşlik eden alterasyonlar, bazalt ve bazaltik piroklastiklerin bileşimindeki plajiyoklazlardan itibaren serizitleşme, killeşme ve karbonatlaşma; özşekilli-yarı öz şekilli olivin kristallerinden itibaren iddingsitleşme ve piroksenlerden±olivinden itibaren gelişen epidotlaşmadır.

JEOKİMYA

Roma döneminde eski madencilik faaliyet kalıntılarının gözlemlendiği Gölcük Cu cevherleşmesi ve civarında, MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, Turmenka tarafından yapılan 20 adet karotlu sondajlarda cevherleşme yüzeyden ortalama 13,5 m derinlikte %2,6 Cu ve 41,9 g/t Ag belirtilmiştir (Şekil 7, 8, 9 ve 10).

Ancak, Pasinex tarafından yapılan sondajlarda ise, cevherleşme ortalama yüzeyden 9,7 m %2,97 Cu değeri ve 37 g/t Ag tenör olarak belirlenmiştir (Çizelge 1, Şekil 10) (King, 2013).

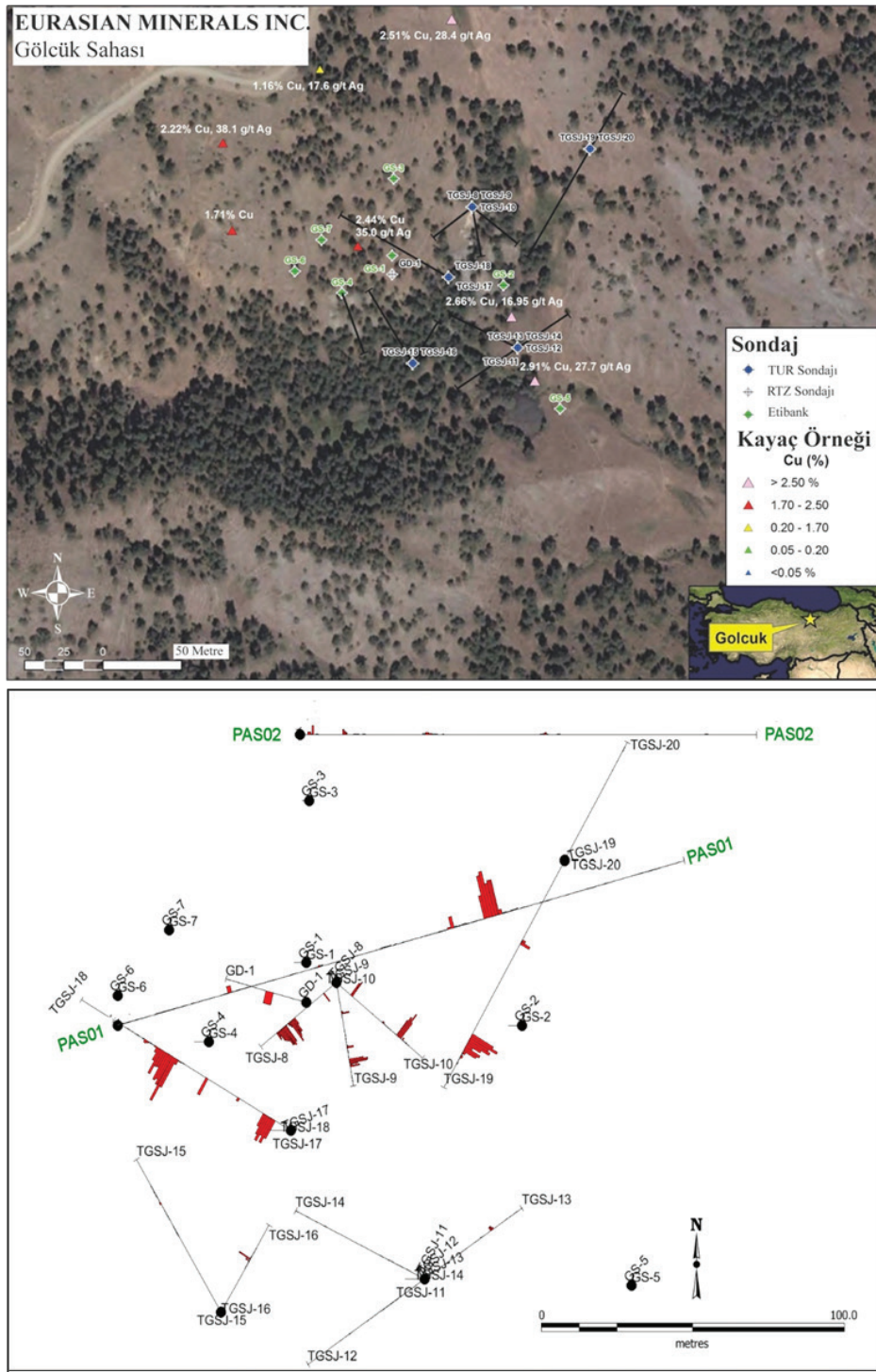
Gölcük bakır cevherleşmesinin tenör/ rezervinin anlaşılması için yüzey, yarma ve

sondaj örneklerinden Cu, Ag element jeokimyasal analizler ile cevher çökelim mekanizmasının yorumlanması için bakır cevherlerinden S ve Cu izotop analizleri yapılmıştır.

Yüzeyden toplanan-açılan yarmalardan alınan örneklerde %Cu analizleri yapılmıştır. Yüzeyden 700x300 m alandan toplanan 52 adet (Şekil 8) kayaç örneğinde Niton XRF ile yapılan analizlerde yaygın olarak %1'den daha fazla Cu oranı tespit edilmiştir. Çoğu örnekte %2'den daha fazla Cu oranı belirlenmiştir. Yarmalardan yapılan ortalama %Cu 0,41 olarak rapor edilirken değerlerin %0,21 ile %0,70 Cu arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 9).

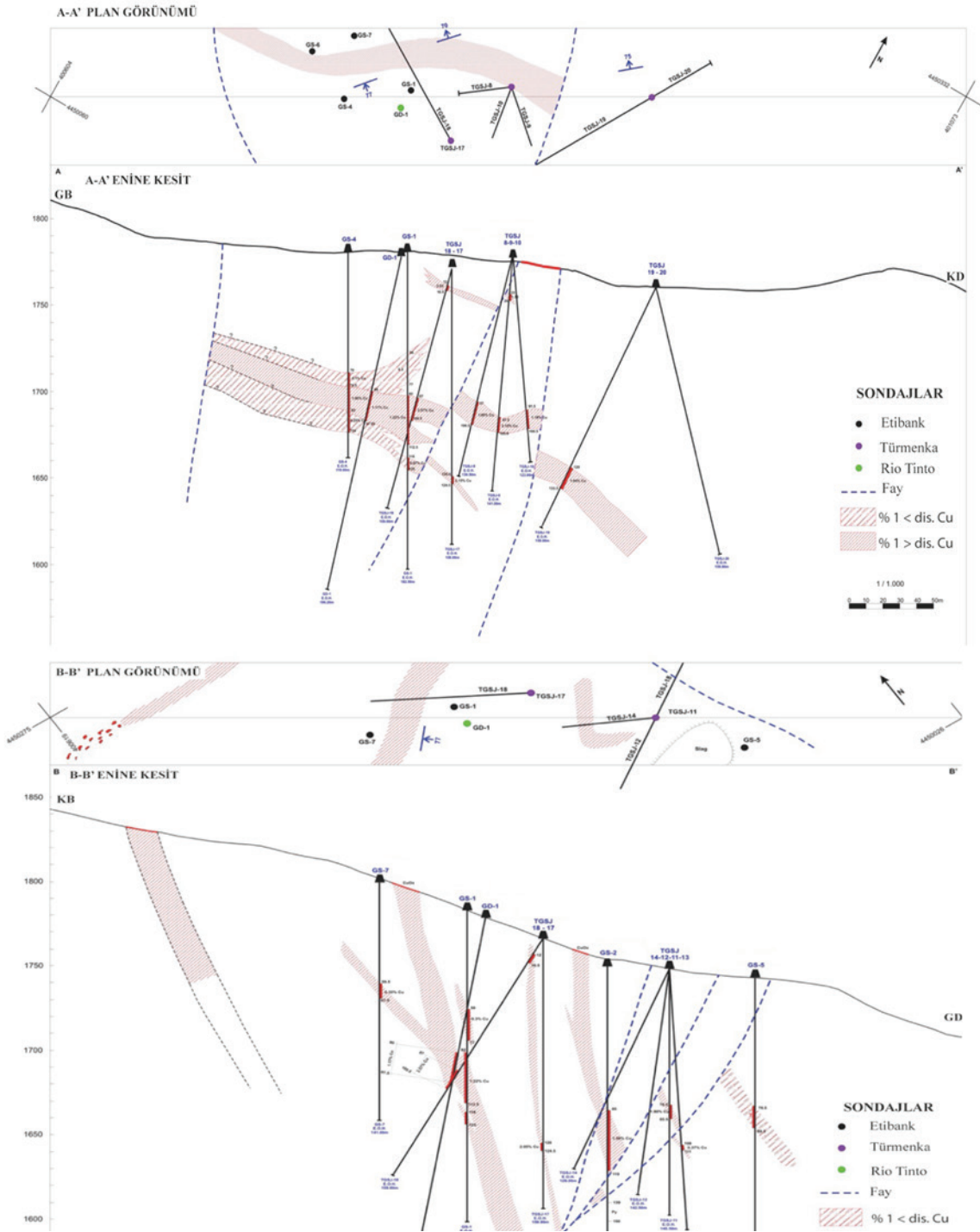
δ³⁴S (‰) İzotop Jeokimyası

Yüzey örnekleri: δ³⁴S -20,0'dan +2,8'e; karot örnekleri: δ³⁴S -6,3'ten +0,6'ya değişim göstermektedir (Çizelge 2, Şekil 11). Gölcük Cu cevherleşmesinin δ³⁴S oranları Şili Manto-tipi Cu yataklarının ki (Kojima vd., 2009) ile benzerlik göstermektedir. Bu da Gölcük Cu cevherleşmesinin Manto-tipi bir bakır cevherleşmesi olabileceği görüşünü desteklemektedir.



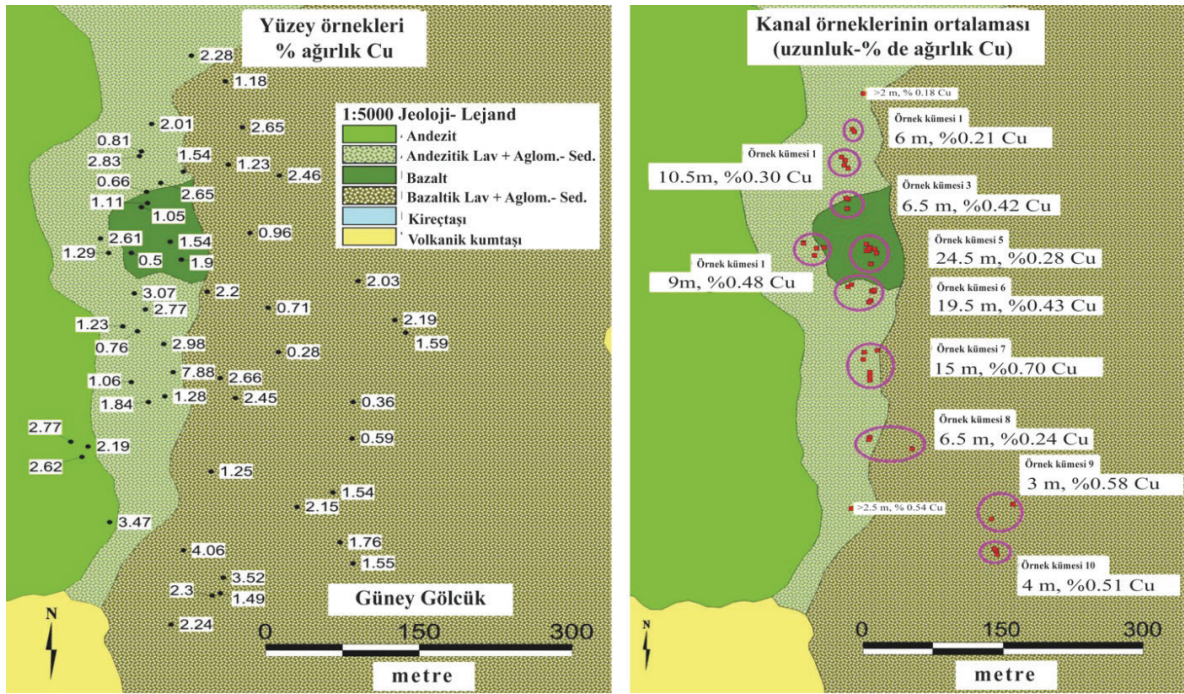
Şekil 7. A) Gölcük sahasının 2012 yılı öncesi yapılan sondajların Google Earth görünümü ve **(B)** Pasinex tarafından yapılan PAS rumuzlu sondaj içeren plan görünümü ve bakır profili (kırmızı kolonlar)

Figure 7. A) Google earth view of drill logs before 2012 and **(B)** PAS drill logs made by Pasinex with copper data (red histogram).



Şekil 8. 2012 yılından önce MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, Türmenka firmalarınca yapılan sondajların ve Pasinex tarafından yapılan PAS rumuzlu 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 nolu karotlu sondajların plan görünümü ve A-A' ve B-B' enine kesitleri.

Figure 8. Plan view and A-A' and B-B' cross sections of drillings made by MTA, ETIBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, and Turmenka before 2012 and Pasinex core drillings numbered PAS 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7.



Şekil 9. Güney Gölcük mostrasında yüzey ve kanal örneklerinin, kanal uzunluk ve ortalama %Cu oranları, King, (2013)’den, (Koordinatlar ve lokasyon için Şekil 2’ye bakınız).

Figure 9. Channel length and average %Cu ratios of surface and channel samples at South Gölcük outcrop, from King (2013) (See Fig. 2 for coordinates and location).

$\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) İzotop Jeokimyası

Cu izotop jeokimyası analizi için 14 adet örnekten (7 yüzey–7 karot) bornit, kalkopirit, kovallit, kalkosit, malakit mineralleri ayıklanmıştır. Yüzey örneklerinde $\delta^{65}\text{Cu}$ -0,86’den +1,38’e, karot örneklerinde ise $\delta^{65}\text{Cu}$ -1,41’den +2,69’a değişim göstermiştir (Çizelge 3, Şekil 12). Yüzey ve yüzeye yakın bakır minerallerinin izotop oranları daha çok tüketilmiş yani hafif izotoplarca zenginleşmiştir (GLC-5,7,8,17). Sondaj karot örneklerinin bakır mineral izotop oranlarının yüzeyden yaklaşık 200 m derinliklerden itibaren (PAS-1/4,10) ağır izotoplarca zenginleşmiştir (Çizelge 3). Bu özellik, maden aramalarında nasıl kullanılacağı Mathur ve Zhao (2023) tarafından ayrıntısı ile açıklanmıştır; Bakır izotop fraksiyonlaşması, süperjen süreçlerle ilişkili en düşük sıcaklıktaki yataklarda en yüksektir.

Sülfür mineralleri ve liç zonlarındaki kalıntı Fe-oksitler için bakır izotop değerleri -10‰ ila +15‰ arasında değişmektedir. Zenginleşme zonlarındaki daha yüksek izotop değerlerine kıyasla liç şapkası minerallerindeki daha düşük bakır izotop değerlerinin genel bir ilişkisi, modelin (Şekil 13) nedeni olarak su tablasının yer değiştirmesi ile oksidasyonu işaret etmektedir (Mathur vd., 2018). Maden Aramalarında Bakır izotoplarının süperjen yataklarının aranmasında kullanılmasına ilişkin spesifik örnekler; Braxton ve Mathur (2011), liç şapka minerallerindeki bakır izotop değerlerinin önceki zenginleşme olaylarının çoklu ayrışma aşamalarının varlığını belirlemek için nasıl kullanılabileceğine dair mükemmel bir örnek sunmaktadır. Yıkanmış şapkanın Fe-oksitlerindeki yüksek bakır izotop değerlerinin derinlikteki daha büyük bakır konsantrasyonlarıyla ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

Çizelge 2. Gölcük Cu cevherleşmesinin yüzeyden ve sondaj karot örneklerinde $\delta^{34}\text{S}$ (‰) değerleri.

Table 2. $\delta^{34}\text{S}$ (‰) values in surface and drill core samples of Gölcük Cu mineralisation.

Örnek	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Mineral	Derinlik (m) (yüzeyden)
C-5-Bn	-3,9	Bn±Cv-Cc	yüzey
GLC-6	-18,1	Bn±Cv-Cc	yüzey
GLC-7	-19,4	Bn±Cv-Cc	yüzey
GLC-8	+1,4	Cv-Cc	yüzey
GLC-17	-20,0	Bn±Cv-Cc-Mlc	yüzey
GLC-22	+0,8	Cv-Cc-Mlc	yüzey
GLC-27	+2,8	Bn±Cv-Cc-Mlc	yüzey
PAS 1-6	-2,9	Bn±Cp	198,60-198,80
PAS 1-8	-1,4	Bn	200,40-200,60
TGSJ-8/1	-2,8	Bn	87,00-87,50
TGSJ-10/1	+0,6	Bn	97,70-98,00
TGSJ-10/7	-0,2	Bn	104,60-104,80
TGSJ-11/2	-0,7	Bn±Cp-Cv-Cc	80,70-80,90
TGSJ-11/5	-5,5	Bn±Cp-Cv-Cc	84,50-84,80
TGSJ-15/1	-1,0	Cp	87,40-87,50
TGSJ-16/1	-6,3	Cp±Mlc	82,50-82,65
TGSJ-16/3	-5,8	Bn±Cp	84,00-84,20
TGSJ-19/1	+0,1	Bn±Cv-Cc	122,80
TGSJ-19/9	-6,0	Bn±Cv-Cc	153,10-153,20

GLC-1, GLC-5.Mlc, GLC-10, GLC-19, GLC-23, GLC-32, GLC-35, PAS-2/1, PAS-2/2, TGSJ-8/7, TGSJ-9/1 örneklerinde S konsantrasyonları analiz deteksiyon limitin altında olduğu için burada rapor edilmemiştir.
(Bn: bornit, Cp: kalkopirit, Cv: kovelin, Cc: kalkosin, Mlc: malakit)

Aynı derecede önemli olarak, kalkositin bakır izotop değerlerinin hidrojeolojik gradyanlarda değiştiğine ve böylece mineralizasyon sıvısı için bir akış yoluna işaret ettiği ifade edilmiştir. Braxton ve Mathur (2014), Fe-oksitle kaplı ancak yüzeyde mineralizasyon olmayan bir alanda, Fe oksit minerallerin bakır izotoplarının, süperjen kalkositin ayrıştığı ve yoğunlaştığı alt yüzeydeki alanlara işaret ettiğini ifade etmiştir. Her iki çalışma da yüzeyde bol miktarda bulunan ve gömülü arama hedeflerinin belirlenmesinde yararlı olan Fe-oksitlerde bakır izotop değerlerinin kullanılmasının önemine işaret etmektedir.

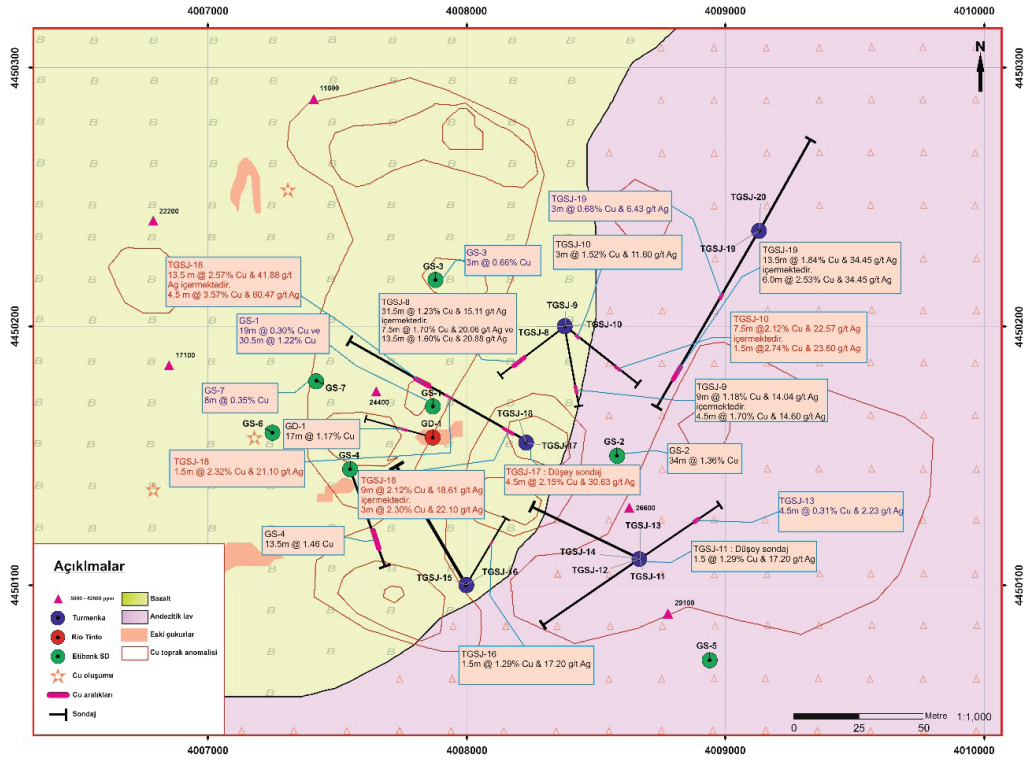
Çizelge 3. Gölcük Cu cevherleşmesinin yüzeyden ve sondaj karot örneklerinde $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) değerleri.

Table 3. $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) values in surface and drill core samples from Gölcük Cu mineralisation.

Örnek	$\delta^{65}\text{Cu}$ (‰)	Mineral	Derinlik (m) (yüzeyden)
GLC-1,c	+1,38	Bn±Cv-Cc-Mlc	yüzey
GLC-5	-0,86	Cv-Cc-Mlc± Bn	yüzey
GLC-7	-0,04	Cv-Cc-Mlc±Bn	yüzey
GLC-8	-0,1	Cv-Cc-Mlc	yüzey
GLC-17	-0,63	Cv-Cc-Mlc±Bn	yüzey
TGSJ-11/2	+2,69	Bn±Cv-Cc-Cp	80,70-80,90
TGSJ-11/5	-0,88	Cv-Cc-Cp±Bn	84,50-84,80
TGSJ-19/1	-0,09	Cv-Cc±Bn	124,80-125,00
TGSJ-19/9	+1,21	Bn±Cv-Cc-Cp	153,10-153,20
PAS-1/1	-1,41	Cv-Cc±Bn	176,60-177,10
PAS-1/4	+2,21	Bn±Cv-Cc	198,20-198,40
PAS-1/10	+0,13	Bn-Cv-Cc	202,20-202,50

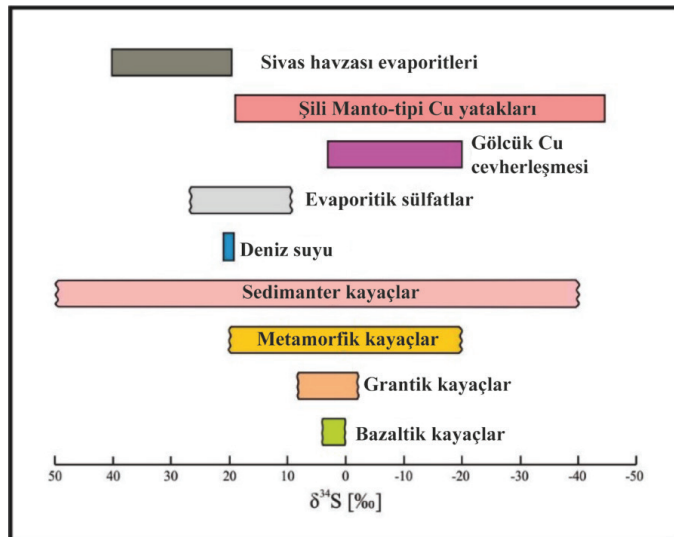
GLC-25, GLC-35 örneklerinde Cu izotop oranı deteksiyon limitinin altında olduğu için rapor edilmemiştir.
(Bn: bornit, Cp: kalkopirit, Cv: kovelin, Cc: kalkosin, Mlc: malakit)

Düşük sıcaklık sürecinin Cu izotoplarının redoks duyarlılığı ile birlikte daha yüksek derecelerde fraksiyonlaşmaya neden olabileceği göz önüne alındığında, Mathur vd. (2018) kalkositin bakır izotop imzasının kökenini izlemek için kullanılabileceğini ifade etmiştir. Birçok maden yatağındaki süperjen süreçlerinin etkisi ile, kalkositin kökenine ilişkin sürecin tanımlanmasını esrarengiz hale getirmektedir. Mathur ve Zhao (2023) kalkositteki düşük bakır izotop değerlerinin sedimanter bakır yatağı kalkositini oluşturan Cu-klorür komplekslerinden kaynaklandığını (Şekil 13'te gösterildiği gibi), süperjen kalkositin ise oksidatif ortamlarda oluştuğu için daha yüksek bakır izotop değerlerine sahip olduğunu öne sürmüşlerdir. Magmatik kalkosit, daha yüksek sıcaklıklarda daha küçük derecelerde fraksiyonlaşma meydana geldiği için ‰ 0 civarında seyreden değerlere sahiptir (Şekil 13).



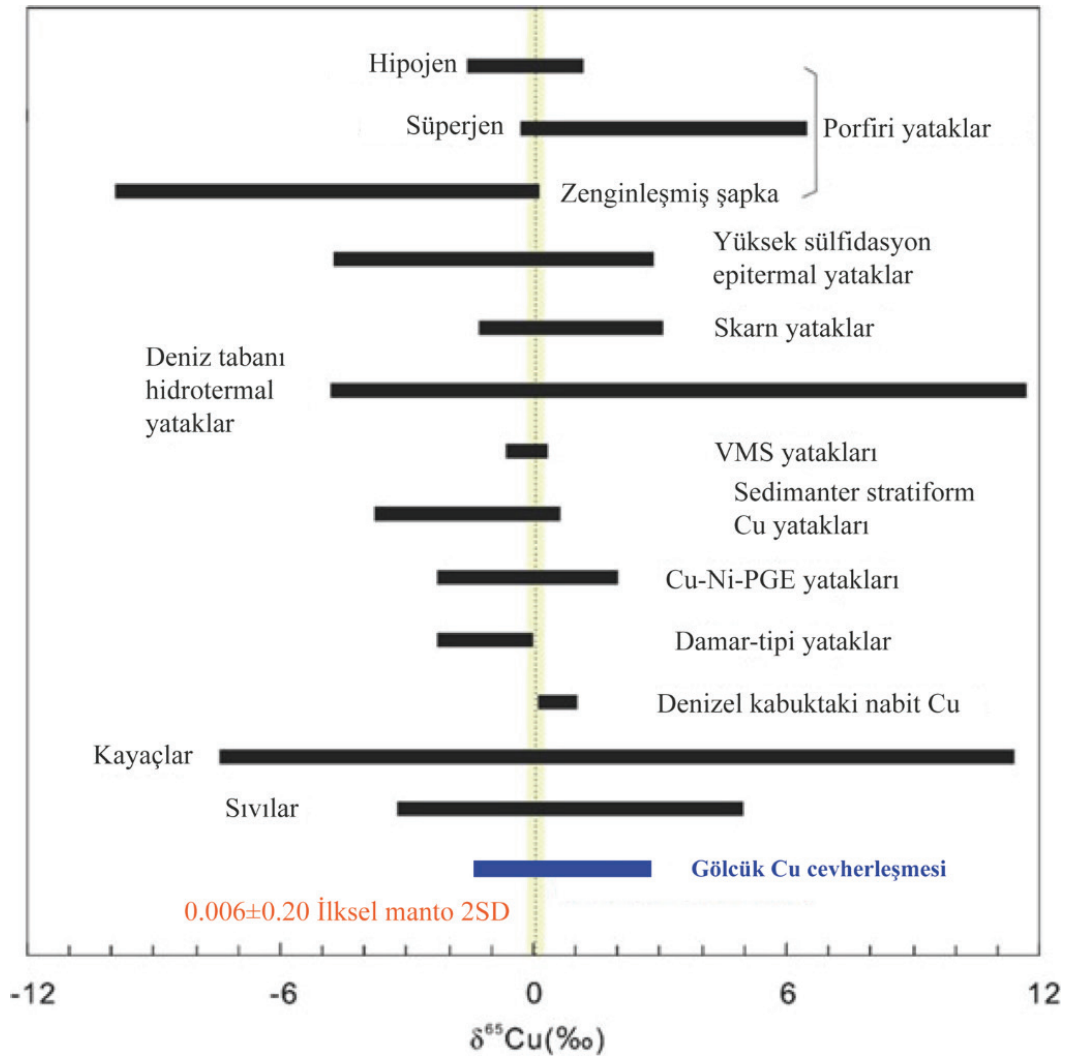
Şekil 10. Gölcük Cu cevherleşmesinde Etibank, Rio Tinto, ve Türmenka tarafından yapılan karotlu sondajların ortalama (%) Cu değerleri (King, 2013'den değiştirilerek).

Figure 10. Average (%) Cu values of core drilling by Etibank, Rio Tinto, and Türmenka at Gölcük Cu mineralisation (modified from King, 2013).



Şekil 11. Gölcük Cu cevherleşmesinin $\delta^{34}\text{S}$ VCDT (‰) oranlarının yaygın kayaç grupları (Hoefs, 2021), Şili manto tipi (Kojima vd., 2009) Cu yatakları ve Sivas havzası evaporitleri (Uçurum vd., 2017) ile karşılaştırılması.

Figure 11. Comparison of $\delta^{34}\text{S}$ VCDT (‰) ratios from Gölcük Cu mineralisation with common rock groups (Hoefs, 2021), Chilean mantle-type (Kojima et al., 2009) Cu deposits and Sivas Basin evaporites (Uçurum et al., 2017).

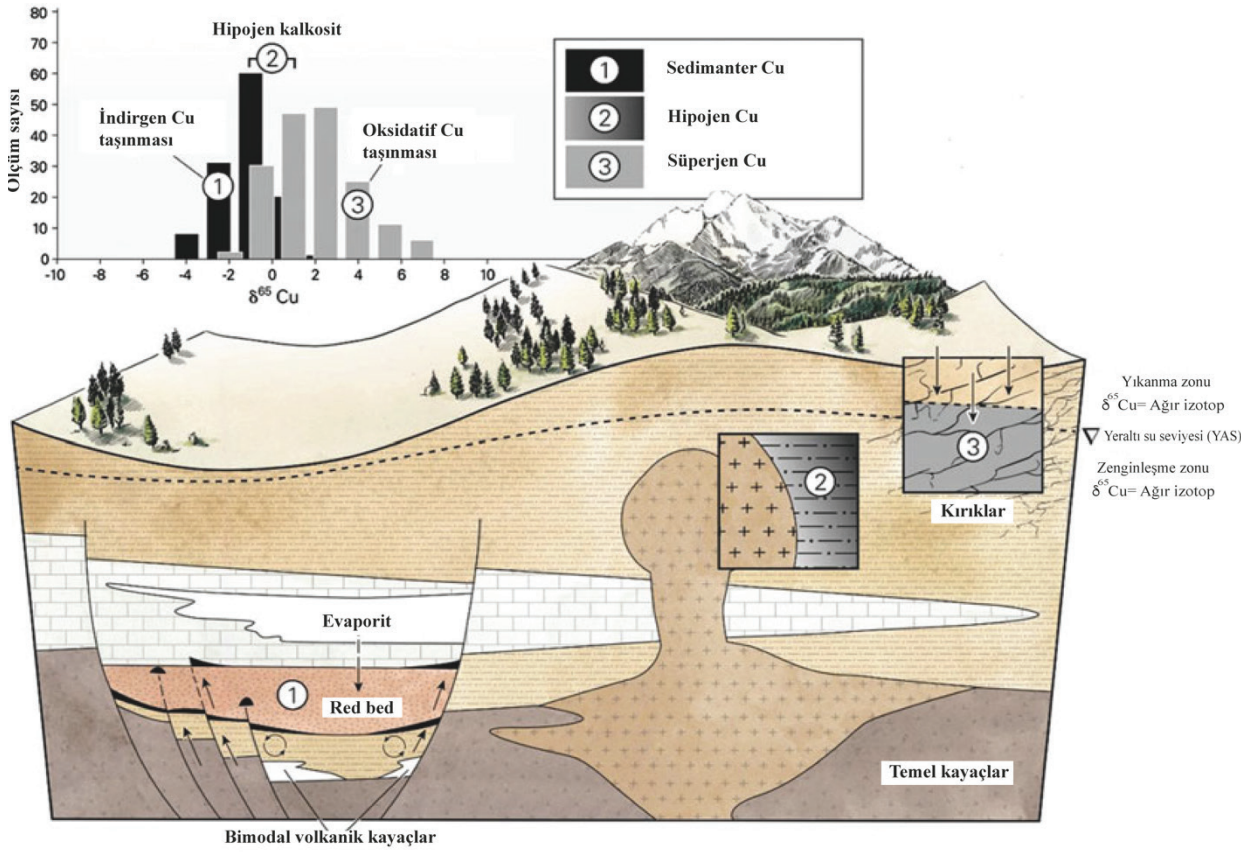


Şekil 12. Gölcük Cu cevherleşmesi, farklı yatak tipleri, kayaçlar, su ve toprak ile porfiri yataklardaki $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) oranlarının dağılımı (Mathur ve Zhao, 2023'ten).

Figure 12. Distribution of $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) ratios in Gölcük Cu mineralisation, different deposit types, rocks, water and soil, and porphyry deposits (from Mathur and Zhao, 2023).

Cevherlerdeki ve sulardaki bakır izotopik fraksiyonlaşması, cevher yataklarını işaret etmesi bakımından önemli potansiyele sahiptir. Bu tekniklerin kullanımındaki en büyük sınırlama, izotop vektörünün bakır-sülfür mineralizasyonunun varlığına işaret edebilmesi, ancak sistemde bulunan bakır miktarını açıkça belirtmek

için kullanılamamasıdır. Diğer jeofiziksel ve jeokimyasal verilerle birlikte kullanıldığında, elde edilen bakır izotopik değerleri maden arama jeologları için değerli bilgiler sağlayabilmekte ve bu özelliği ile Cu yataklarının aranmasında etkili bir yöntem olarak görülmesi teşvik edilmelidir.



Şekil 13. Kalkosit'in Cu izotop bileşimine göre farklı jeolojik ortamlarda oluşumunu gösterir şematik model (Mathur ve Zhao, 2023'ten değiştirilerek).

Figure 13. Schematic model showing the formation of chalcocite in different geological environments according to Cu isotope composition (modified from Mathur and Zhao, 2023).

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışması sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Cevherleşme yan kayacı, bazaltik-andezitik lav ve piroklastiklerinden oluşmaktadır.
- Cu-Ag cevherleşmesi ağısı (stockwork) ve kısmen damar şeklinde oluşmuştur.
- $\delta^{34}\text{S}$ ‰ yüzey örneklerinde -3,9'dan +20,0'a, karot örneklerinde -6,3'den +2,9'a değiştiği belirlenmiş ve Şili Manto-tipi Cu $\pm$ Ag yataklarına benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

- $\delta^{65}\text{Cu}$ ‰ yüzey örneklerinde -0,86'dan +1,38'e, karot örneklerinde ise -0,88'den +2,69'a değişim göstermekte ve Magmaya yakın kaynağı temsil ettiği söylenebilir.
- Sondaj karot örneklerinin analiz sonuçlarına göre, yüzeyden ortalama 9,7 m derinde % 2,97 Cu ve 37 gt/t Ag tenör olarak belirlenmiştir.

Yukarıdaki özellikler itibari ile Gölcük Cu $\pm$ Ag cevherleşmesinin oluşum model;

Yan kayacının bazalt-andezitik lav ve piroklastiklerden oluşması,

Saçınımlı ve lav akıntı yüzeylerine paralel ince damarlar sunması,

$\delta^{34}\text{S}$ ‰ oranlarının Şili Manto-tipi $\text{Cu}\pm\text{Ag}$ yatakları ile benzerlik göstermesi,

$\delta^{65}\text{Cu}$ ‰ oranları Cu 'ın kaynağının manto kökenli olduğunu göstermesi,

Yaygın alterasyonun epidotlama olması ve daha az yaygın alterasyonların, killeşme, karbonatlaşma, epidotlaşma ile iddingsitleşme, serizitleşme, serpantinleşme ve opasitleşme olması,

Cevher minerallerinin

- Bornit→Kalkopirit→Kalkosit→Kovellit→Malakit
 - Manyetit→Hematit
 - Martitleşme

Çalışma bölgesi yakınında Köseadağ Pluton'un yer alması, cevherleşmenin oluşumunda etkin olan ısı kaynağı olarak değerlendirilebilirliği, nedeniyle Wilson ve Zentilli (1999), Wilson vd. (2003a ve b) ve Kojima vd. (2009) tarafından tanımlanan Manto-tipi cevherleşme benzerlik gösterdiği ileri sürülebilir. Bu çalışma ile Türkiye de ilk defa Manto-tipi bir cevherleşmenin varlığı ortaya konarak tartışmaya açılmıştır.

EXTENDED SUMMARY

Gölcük (Koyulhisar-Sivas) $\text{Cu}(\pm\text{Ag})$ mineralisation is hosted by Eocene basalt, andesite, and associated pyroclastic rocks, which are in contact with volcanic-volcano-sedimentary rocks. The ore minerals present in the region include bornite, chalcopyrite, covellite, chalcocite, malachite, magnetite, and hematite. The host rocks exhibit alteration such as sericite, argillic, and carbonate, iddingsite, and epidote. The gangue minerals found in the area are limited to quartz and calcite.

During drilling operations in and around Gölcük $\text{Cu}(\pm\text{Ag})$ mineralisation, basalts, andesites,

volcanoclastic, and sedimentary units were identified. The Gölcük mineralisation is situated approximately 2-3 kilometres south of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), while the Köseadağ pluton is located 2.5 kilometres from the Gölcük $\text{Cu}(\pm\text{Ag})$ mineralisation. Eocene syenite, a quartz-syenite composite, constitutes the Köseadağ pluton, which covers an area of 225 square kilometres in the region. This pluton overlies the Central Anatolian Crystalline Complex (CACC) and is the source of $\text{Cu}(\pm\text{Ag})$ mineralisation, contributing to the formation of Gölcük mineralisation (Figure 1 and Figure 2).

According to the MTA 1:100,000 geological map (H39-Giresun), mineralisation at Gölcük occurs in Eocene volcanoclastic rocks (Figures 1 and 2). These rocks are consistent with Eocene volcano-sedimentary sequences identified throughout Turkey, particularly in the Black Sea region, and are temporally associated with a regional extension regime surrounded by two compressional regimes (Figure 1; Boztuğ, 2008). This volcano-sedimentary sequence was named the Aksu Formation (Kalkancı, 1974), Cıbiltepe Volcanics (Uysal et al., 1995), and Mucur Formation (Geneli, 2011) in the modern literature. The sequence formed prior to the last collision between the Southern Tauride-Anatolian platform and the Northern Eurasian plate (Late Palaeocene-Early Eocene) and after compression from Oligocene to Late Miocene resulting from the collision between Eurasia and Africa-Arabia. The volcano-sedimentary rocks in the region were designated as sedimentary cover over the CACC by Göncüoğlu et al. (1993, 1994) and Göncüoğlu and Türel (1994). However, Geneli (2011) replicated this sedimentary cover and named the volcano-sedimentary units observed in the NE Pontides as the Eocene Mucur Formation.

The stratigraphic column section in Figure 2 is representative of the Eocene volcano-sedimentary succession observed in Gölcük. The volcano-sedimentary sequences are predominantly found in E-W and NE-SW trending basins. The convergence

that persisted from the Late Miocene onward resulted in the formation of the dextral NAFZ and the westward displacement of the Anatolian block, as depicted in Figure 1.

The Gölcük Cu($\pm$ Ag) mineralisation comprises nine distinct outcrop areas, as illustrated in Figure 1. Olivine minerals, predominantly anhedral, are observed in some samples, exhibiting euhedral characteristics. Clinopyroxenes exhibit higher density and wider distribution compared to other minerals. They are predominantly subhedral and, in certain instances, euhedral. Hornblende and biotite are significantly less prevalent than clinopyroxenes. Plagioclases, predominantly subhedral, exhibit typical polysynthetic twinning accompanied by sericite and argillic alterations, as evidenced in Figures 3, 4 and 5.

In pyroclastic basaltic rocks, the composition comprises randomly dispersed microliths, phenocrysts, and fragments of volcanic rocks. Olivine minerals are generally observed to have a greenish-yellow colour, which arises from oxidation, serpentinisation along microcracks, and iddingsite along mineral boundaries, as illustrated in Figures 3. Microliths predominantly consist of plagioclase minerals. The groundmass material primarily comprises tuff and volcanic glass.

Ore minerals were analysed based on their paragenesis and texture. The copper ore minerals present are bornite, chalcopyrite, covellite, chalcocite, and malachite, and iron oxide minerals are magnetite and hematite (Figure 4). The alteration accompanying the mineralisation includes sericitization, carbonation, and argillisation, which affect the composition of basalt and basaltic pyroclastics, starting from plagioclases. Iddingsitization occurred in euhedral olivine crystals, and epidotization formed in pyroxenes and olivine.

In 20 core drillings conducted by MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, and Türmenka, mineralisation was detected as 2.6%

Cu and 41.9 g/t Ag at an average depth of 13.5 m from the surface. However, in drillings conducted by Pasinex, mineralisation was identified as 2.97% Cu and 37 g/t Ag at an average depth of 9.7 m (Table 1) (King, 2013).

Samples collected from a channel were analysed for Cu percentage. Analysis of 52 rock samples collected from a 700 x 300 m area on the surface using Niton XRF commonly found more than 1% Cu. In most samples, more than 2% Cu($\pm$ Ag) was detected. The average Cu percentage reported for channel samples was 0.41%, with values ranging from 0.21% to 0.70% Cu (Figure 9).

$\delta^{34}\text{S}$ data range from -20.0 to +2.8 from outcrop samples (bornite-chalcopyrite-covellite-chalcocite-malachite) and varies from -6.3 to +0.6 from core samples (bornite-chalcopyrite-covellite-chalcocite-malachite) (Table 2, Figure 11). The $\delta^{34}\text{S}$ ratios for Gölcük Cu($\pm$ Ag) mineralisation are similar to those of Chilean Manto-type Cu($\pm$ Ag) deposits (Kojima et al., 2009; Makshev and Zentilli, 2002).

$\delta^{65}\text{Cu}$ isotope geochemistry was conducted on Cu-bearing minerals extracted from 14 samples (7 surface-7 core). In outcrop samples $\delta^{65}\text{Cu}$ ranges from -0.86 to +1.38, and in core samples $\delta^{65}\text{Cu}$ ranges from -1.41 to +2.69 (Table 3, Figure 12) and indicate a mantle origin for Cu.

Copper isotopic fractionation in ores and waters has potential as an indicator of ore deposits. However, the primary limitation of these techniques is that they solely point to the presence of copper sulphide mineralisation, lacking the ability to quantify the copper content within the system (Figure 13). When employed in conjunction with other geophysical and geochemical evidence, copper isotopic data provides valuable insights for exploration geologists.

The proximity of the Köseadağ pluton to the study area and its potential as an effective heat source for mineralisation formation align it with the Manto-type mineralisation defined by Wilson and

Zentilli (1999), Wilson et al. (2003a, b) and Kojima et al. (2009). This study marks the first description of Manto-type mineralisation in Turkey.

KATKI BELİRTME

Finansal desteklerinden dolayı CÜBAP birimine (M-529 nolu proje), saha çalışmaları sırasında lojistik desteklerinden dolayı Pasinex Resources Limited' den Steve WILLIAMS (President, CEO), Clinton SMYTH (VP Exploration)'e, kükürt izotop verilerinin elde edilmesindeki katkılarından dolayı Simon POULSON, Greg B. AREHART'a (UNR-Nevada, ABD) teşekkürü bir borç biliriz. Bu makale kısmen İ. ERDEM KIZILGÖZ' ün Yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

ORCID

İsmail Erdem Kızılğöz  <https://orcid.org/0000-0003-1699-1358>

Çiğdem Şahin Demir  <https://orcid.org/0000-0002-0630-4924>

Ali Uçurum  <https://orcid.org/0000-0002-9548-353X>

Nazmi Otlı  <https://orcid.org/0000-0002-8046-8484>

Ahmet Efe  <https://orcid.org/0000-0002-5989-4753>

Ryan Mathur  <https://orcid.org/0000-0001-9095-8527>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Abolipour, M., Rastad, E. & Rashidnejad Omran, N. (2015). Manto-type copper mineralization in pyrobitumen-bearing porphyritic andesite, Koshkoiye district of Rafsanjan, Dehaj-Sardoieye subzone. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24 (95), 123–144. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42418>
- Adams, A. E., MacKenzie, S. & Guilford, C. (1984) *Atlas Of Sedimentary Rocks Under The Microscope*. John Wiley & Sons, New York, 104.
- Atakay, E. (2009) *Çorum güney batısındaki volkanik kayaların jeolojik ve petrolojik özellikleri ve Alacahöyük kazısında arkeolojik çalışmalar*, [Yayımlanmamış doktora tezi]. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 194 s.

- Augustithis, S. (1995). *Atlas Of The Textural Patterns Of Ore Minerals and Metallogenic Processes*. Walter de Gruyter & Co, Berlin, 659 p.
- Barker, A. J., (2014). *A Key for Identification of Rock-forming Minerals in Thin-Section*. CRC Press, Boca Baton, 70.
- Benavides, J., Kyser, T. K., Clark, A. H., Oates, C., Zamora, R., Tarnovschi, R. & Castillo, B., (2007). The Mantoverde iron oxide-copper-gold district, III Región, Chile: The role of regionally-derived, non-magmatic fluid contributions to chalcopyrite mineralization. *Economic Geology*, 102, 415–440.
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N. S. F. & Zentilli, M. (2002) The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. In Porter, T. M. (ed.) *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective* (p. 1-22). Vol. 2. PGC Publications, Adelaide.
- Boveiri, M., Rstad, E., Kojima, S. & Rashidnejad, N. (2013). Volcanic redbed-type copper mineralization in the Lower Cretaceous volcano-sedimentary sequence of the Keshtmahaki deposit, southern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, 190(2), 107 – 121. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2013/0236>
- Boztuğ, D. (2008). Petrogenesis of the Köseadağ Pluton, Suşehri-NE Sivas, East-Central Pontides, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 241-262.
- Boztuğ D. & Jonckheere, R. C. (2007). Apatite fission-track data from central-Anatolian granitoids (Turkey): constraints on Neo-Tethyan closure. *Tectonics*, 26, Article TC3011. <https://doi.org/10.1029/2006TC001988>
- Braxton, D. & Mathur, R. (2011) Exploration applications of copper isotopes in the supergene environment: a case study of the Bayugo Porphyry Copper-Gold Deposit, Southern Philippines. *Economic Geology*, 106(8), 1447–1463. <https://doi.org/10.2113/econgeo.106.8.1447>
- Braxton, D. & Mathur R. (2014) Copper isotopic vectors to supergene enrichment: leaches cap iostopic footprint of the Quellaveco porphyry copper deposit, southern Peru. In *SEG conference proceedings: SEG 2014: Building exploration capability for the 21st century*.

- Cabral, A. R. & Beaudoin, G. (2007) Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration Mont Alexandre Quebec Appalachians Canada. *Mineral Deposita*, 42, 901–912.
- Cai, Y. T., Ni, P., Wang, G. G., Pan, J. Y., Zhu, X. T., Chen, H. & Ding, J. Y. (2016), Fluid inclusion and H-O-S-Pb isotopic evidence for the Dongxiang Manto-type copper deposit, South China. *Journal of Geochemical Exploration*, 171, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.01.019>
- Camus, F., (1980). *Posible modelo genético para los yacimientos de cobre del distrito minero punta del cobre*. *Revista Geológica de Chile*, 11, 51-76.
- Carrillo-Rosúa, F. J., Molares-Ruano, S., Morata, D., Boyce, A. J., Fallick, A. E., Belmar, M., Munizaga, F. & Fenoll Hach-Alí, P. (2006). *Sulfur isotope studies in Chilean Manto-type Cu-(Ag) deposits in the coastal range of central Chile ('area de La Serena y Melipilla) v. 2*. 199–202.
- Carrillo-Rosúa, J., Boyce, A., Morales-Ruano, S., Morata, D., Roberts, S., Munizaga, F. & Moreno-Rodríguez, V. (2014). Extremely negative and inhomogeneous sulfur isotope signatures in Cretaceous Chilean manto-type Cu-(Ag) deposits, Coastal Range of central Chile. *Ore Geology Reviews*, 56, 3–24. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.06.013>
- Carter, W. D. (1961). *Yacimientos de Cobre Tipo Manto, su distribución en franjas mineralizadas. Provincia de Aconcagua*. Boletín N° 10, Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile, 30. *Chem. Geol.* 197, 161–176.
- Craig, J. R. & Vaughan, D. J. (1994). *Ore Microscopy & Ore Petrography*. John Wiley & Sons. Inc., Canada, 434 p.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1992). *An Introduction to The Rock Forming Minerals* 2nd Edition. Logman Scientific & Technical, 696 p.
- Delvigne, J. E. (1998). *Atlas of Micromorphology of Mineral Alteration and Weathering: The Canadian Mineralogist*, SP# 3, Mineralogical Association of Canada, Canada, 495 p.
- Erdoğan, B., Akay, E. & Uğur, M.S. (1996). Geology of the Yozgat Region and Evolution of the Collisional Çankırı Basin. *International Geology Review*, 38, 788-806.
- Eyuboglu, Y., Santhos, M., Dudas, F. O., Akaryalı, E., Chung, S. L., Akdağ, K. & Bektaş, O. (2013). The nature of transition from adakitic ton on-adakitic magmatism in slab window setting: A synthesis from the eastern Pontides, NE Turkey. *Geoscience Frontiers*, 4(4), 353-375. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.10.001>
- Fontboté, L. (1990). Stratabound Ore Deposits in the Andes: A Review and a Classification According to their Geotectonic Setting. In Fonbote, L., Amstutz, G.C., Cardozo, M., Cedillo, E. & Frutos, J. (eds.), *Stratabound ore deposits in the Andes, SP#8 Society for Geology Applied to Mineral Deposits*, 79-110.
- Geneli, F. (2011). *Petrology of Eocene Volcanism in Central Anatolia: Implications for the Early Tertiary Evolution of the Central Anatolian Crystalline Complex* [Ph.D. Dissertation]. METU Graduate School of Natural and Applied Sciences, 252 p.
- Giesemann, A., Jager, H. A., Norman, A. L., Jrouse, H. L. & Brand W. A. (1994). Online sulphur-isotope determination using an elemental analyzer coupled to a mass spectrometer. *Analytical Chemistry*, 66(18), 2816-2819. <https://doi.org/10.1021/ac00090a005>
- Göncüoğlu, M. C. & Türel, T. K. (1994). Alpine collisional-type granitoids from western Central Anatolian Crystalline Complex. *Journal of Kocaeli University*, 1, 39-46.
- Göncüoğlu, M. C., Erler, A., Toprak, V., Olgun, E., Yılmaz, K., Kuşçu, İ., Köksal, S. & Dirik, K., (1993). Orta Anadolu Masifinin Orta Bölümünün Jeolojisi, Bölüm III, Orta Kızılırmak Tersiyer Baseninin Jeolojik Evrimi (Proje Rapor No: 3313). TPAO, 104 s.
- Göncüoğlu, M. C., Dirik, K., Erler, A. & Yılmaz, K. (1994). *Orta Anadolu Masifinin Doğu Bölümünün Jeolojisi Bölüm IV, Orta Anadolu Masifinin Sivas Baseni ile İlişkisi* (Proje Rapor no: 3535). TPAO, 135 s.
- Hoefs, J. (2021). *Stable Isotope Geochemistry*, 9th Edition: Springer, 528 p.
- Ixer, R. A. (1990). *Atlas Of Opaque and Ore Minerals In Their Associations*. Van Nostrand Reinhold., New York, 208 p.

- Jambor, J. L. & Vaughan, D. J. (1990). *Mineralogical Association of Canada: Advanced Microscopic Studies of Ore Minerals, Short Course Handbook, Ottawa*, Vol.17, 426 p.
- Kalkancı, Ş. (1974). *Etude geologique et p.trochimique du sud de la region de Suşlehi: Geochronologie du massif syenitique de Köseadağ (NE de Sivas-Turquie)* (These de doctorat de 3eme cycle). L'Universite de Grenoble, 84 p.
- Kızılgöz, E. İ. (2019). *Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) Cevherleşmesinin Ana-Eser Element, Duraylı İzotop (S, Cu) Jeokimyası ve Sıvı Kapanım İncelemeleri* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. S.C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 73 p.
- King, B. H. (2013). *N143-101 Technical report on the Golcuk licence, Sivas province, Turkey*. Pasinex Research Limited, Toronto, 101 p.
- Kirkham, R. V. (1996). Volcanic redbed copper. In Eckstrand, O. R., Sinclair, W. D. & Thorpe, R. I. (eds.). *Geology of Canadian mineral deposit types. Geol. Surv. Canada (Geology of Canada)*, 8, 241–252.
- Klohn, E., Holmgren, C. & Ruge, H. (1990). El Soldado, a stratabound copper deposit associated with alkaline volcanism in the central Chilean coastal range. In Fontboté, L., Amstutz, G. C., Cardozo, M., Cedillo, E. & Frutos, J. (eds), *Stratabound Ore Deposits in Andes. _ Special Publication No. 8 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, vol 8*, (pp: 435-448.). Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88282-1-33>
- Kojima, S., Trista-Aguilera, D. & Hayashi, K.İ. (2009). Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposit. *Resource Geology*, 59(1), 87-98.
- Kuşçu, İ. & Erler, A. (1998). Mineralization events in a collision related setting: The Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *International Geological Review*, 40, 552–565.
- Kuşçu, İ., Gençalioglu-Kuşçu, G., Tosdal, R. M., Ullrich, T. & Friedman, R. (2010), Magmatism in the Southeastern Anatolian orogenic belt: Transition from arc to post-collisional setting in an evolving orogen. *Geological Society of London, Special Publication*, 340, 437–460.
- Lefebvre, C., Barnhoorn, A., van Hinsbergen, D. J. J., Kaymakci, N. & Vissers, R. L. M. (2011). Late Cretaceous extensional denudation along a marble detachment fault zone in the Kırşehir massif near Kaman, Central Turkey. *Journal of Structural Geology*, 33(8), 1220-1236. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2011.06.002>
- Lefebvre, C., Meijers, M. J. M., Kaymakci, N., Peynircioğlu, A., Langereis, C.G. & van Hinsbergen, D. J. J. (2013). Reconstructing the geometry of central Anatolia during the late Cretaceous: large-scale Cenozoic rotations and deformation between the Pontides and Taurides. *Earth Planet. Sci. Lett.* 366, 83–98. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.01.003>
- Lufkin, J. L. (2012). *Ore Mineralogy & Microscopy*. Golden Publisher, CO, USA, 192 p.
- MacKenzie, W. S., Donaldson, C. H. & Guilford, C. (1982). *Atlas Of Igneous Rocks And Their Textures*. John Wiley & Sons, New York, 148.
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., Movahednia, M. & Choulet, F. (2017). Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews*, 81, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.025>
- Maksaev, V. & Zentilli, M. (2002). Chilean Stratabound Cu (Ag) Deposits: An Overview: In Porter, T. M. (ed.), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*, Vol. 2, (p: 185–205). PGC Publications, Adelaide.
- Marshall, D., Anglin C.D (‘Lyn). & Mumin, H. (2004). *Ore Mineral Atlas*. GAC, Canada, 112.
- Mathur, R. & Zhao, Y. (2023). Copper Isotopes Used in Mineral Exploration. In D. Huston and J. Gutzmer (Eds.), *Isotopes In Economic Geology, Metallogenesis and Exploration, Mineral Resource Reviews*, 433-450.
- Mathur, R., Titley, S., Barra, F., Brantley, S., Wilson, M., Phillips, A., Munizaga, F., Maksaev, V., Vervoort, J. & Hart, G. (2009). Exploration Potential of Cu Isotope Fractionation in Porphyry Copper Deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 102(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2008.09.004>
- Mathur R., Falck, H., Belogub E., Milton J., Wilson M., Rose A. & Powell, W. (2018). Origins of chalcocite

- defined by copper isotope values. *Geofluids*, Article 854829. <https://doi.org/10.1155/2018/5854829>
- Megaw, P. K. M., Ruiz, J. & Titley, S. R. (1988). High-temperature, carbonate-hosted Ag–Pb–Zn (Cu) deposits of northern Mexico. *Economic Geology*, 83(8), 1856–1885. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.83.8.1856>
- Melgarejo, J. C. & Martin, R. B. (2011). *Atlas Of Non-Silicate Minerals In Thin Section*. The Canadian Mineralogist SP 7, Canada, 522 p.
- Moix, P., Beccalotto, L., Kozur, H. W., Hochard, C., Rosselet, F. & Stampfli, G. M. (2008). A new classification of the Turkish terranes and sutures and its implication for the paleotectonic history of the region. *Tectonophysics*, 451, 7–39.
- Movahednia, M., Maghfouri, S., Fazli, N., Rastad, E., & Ghaderi, M., (2022). Metallogeny of Manto-type stratabound Cu-(Ag) mineralization in Iran: Relationship with NeoTethyan evolution and implications for future exploration. *Ore Geology Reviews*, 149, Article 105064. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105064>
- Munizaga, F. & Zentilli, M. (1994) Sulphur isotope characterization of stratabound copper deposits in Chile Comunicaciones, *Universidad de Chile, Santiago*, 45, 127–134.
- Oliveros, V., Feraud, G., Aguirre, L., Ramirez, L., Fornary, M. & Palacios, C. (2008). Detailed $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of geologic events associated with the Mantos Blancos copper deposit, northern Chile. *Mineralium Deposita*, 43, 281–293.
- Paar, W.H., de Brodtkorb, M. K., Putz, H. & Martin, R. F. (2016) Atlas Of Ore Minerals: Focus On Epithermal Deposits Of Argentina. *The Canadian Mineralogist*, SP#11, Mineralogical Association of Canada, Canada, 402.
- Palacios, C. (1986). Subvolcanic Copper deposits in the Coastal Range of Northern Chile. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I*, 1985, H.9/10, Stuttgart, 1605-1615.
- Picot, P. & Johan, Z. (1982). *Atlas Of Ore Minerals*. Elsevier, Amsterdam, 458.
- Pollard, P. J. (2006), An intrusion -related origin for Cu-Au mineralization in iron oxide-copper-gold (IOCG) provinces. *Mineralium Deposita*, 41, 179-187. <https://doi.org/10.1007/s00126-006-0054-x>
- Pracejus, B. (2015). *The Ore Minerals Under The Microscope An Optical Guide*, 2nd Edition. Atlases In *Geoscience 3*, Elsevier, 1098 p.
- Ramdohr, P. (1980). *The Ore Minerals and Their Intergrowths*, *International Series of Monographs on Earth Sciences*. V. 35: volume 1+2, Pergamon Press., Germany, 1207 p.
- Ruiz, C. & Peebles, F. (1988). *Geología, distribución y génesis de los yacimientos metalíferos chilenos*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 305.
- Ruiz, C., Aguirre, L., Corvalan, J., Klohn, C., Klohn, E. & Levi, B. (1965). *Geología y yacimientos metalíferos de Chile*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, 305 p.
- Salehi, L. & Rasa, I. (2016). Sulfur Isotopic Characteristics of the Chalcocite in Madan Bozorg Cu Deposits, Abbas Abad, NE Iran. *34th National and the 2nd International Geosciences Congress*, Tehran, Iran.
- Sato, T. (1984). Manto type copper deposits in Chile: a review. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 35, 565-582.
- Shen, P., Pan, H., Li, Z., Sun, J., Shen, Y., Li, C., Feng, H. & Cao, C. (2020). A Manto-type Cu deposit in the Central Asian Orogenic Belt: The Hongguleleng example (Xinjiang, China). *Ore Geology Reviews*, 124, Article 103656. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103656>
- Sillitoe, R. H. (1992). Gold and copper Metallogeny of the central Andes: Past, present and future exploration objectives. *Economic Geology*, 87(8), 2205-2216.
- Smyth, C. P. (2013). *Golcuk Property Exploration Status Report as of 17 August, 2013*. Pasinex Resources Limited, 41 s.
- Smyth, C. P. (2014). *Golcuk Property Exploration Status Report as of 31 December, 2013*. Pasinex Resources Limited, 52 s.
- Sun, J., Shen, P., Pan, H., Li, C., Ma, G. & Li, W. (2021), Geochemistry and genesis of the Hongguleleng Manto-type Cu deposit, West Junggar, Xinjiang, China. *Journal of Asian Earth Sciences: X*, 5, Article 100057. <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2021.100057>
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241.

- Taylor, R. (2009). *Ore Textures: Recognition And Interpretation*. Springer, Berlin, 288 p.
- Terlemez, İ. ve Yılmaz, A. (1980). Ünye-Ordu-Reşadiye-Koyulhisar arasının stratigrafisi: *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 23(2), 179-191. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/eacf7a18a32812d_ek.pdf.
- Thompson, A. J. B. & Thompson, J. F. H. (1996) *Atlas of Alteration: A Field And Petrographic Guide To Hydrothermal Alteration Minerals*. GAC, Canada, 119.
- Trist'a-Aguilera, D., Barra, F., Ruiz, J., Morata, D., Talavera-Mendoza, O., Kojima, S., Ferraris, F. (2006). Re-Os isotope systematics for the Lince-Estefanía deposit: Constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of northern Chile. *Mineralium Deposita*, 41, 99-105. <https://doi.org/10.1007/s00126-006-0048-8>
- Uçurum, A. (2000). Listwaenites in Turkey: Perspectives on Formation and Precious Metal Concentration with Reference to Occurrences in East-Central Anatolia. *Ofoliti*, 25(1), 15-29.
- Uçurum, A. & Larson, L.T. (1999). Geology, Base-Precious Metal Concentration and Genesis of the Silica-Carbonate Alteration (Listwaenites) from Late Cretaceous Ophiolitic Melanges at Central East Turkey. *Chemie Der Erde-Geochemistry*, 59, 77-104.
- Uçurum, A., Şahin Demir C., Efe, A., Hofstra, A. H., Arehart, G. B., Pernicka, E., Molnar, F., Bakker, R. J. (2017). Sr, S, O, and H Isotopic Compositions of Celestine Deposits from the Tertiary Sivas Basin, Turkey. *SEG-2017*, September 17-20, 2017, Beijing, China, Abstract.
- Uysal, Ş., Bedi, Y., Kurt, İ. ve Kılınç, F. (1995). Koyulhisar (Sivas) dolayının jeolojisi (Yayınlanmamış Rapor No: 9838). MTA, 120 s.
- Vila, T. Lindsay, N. & Zamora, R. (1996). Geology of the Manto Verde copper deposit, northern Chile: A specularite-rich hydrothermal tectonic breccia related to the Atacama Fault Zone. In Camus, F., Sillitoe, R. M. & Petersen, R. (Eds.), *Andean copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny*. Special Publications of the Society of Economic Geologists. <https://doi.org/10.5382/SP.05.11>
- Westra, G., (1988). *La importancia del metamorfismo de carga en la formación de yacimientos de cobre de tipo manto*: preprint, Keynote Address, V Cong. Geol. Chileno, Santiago, 18.
- Wilson, N. S. F. & Zentilli, M. (1999). The role of organic matter in the genesis of the El Soldado volcanic-hosted manto-type Cu deposit, Chile. *Economic Geology*, 94(7), 1115-1136. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.94.7.1115>
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M. & Spiro, B. (2003a). A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado manto-type copper district, Chile: The essential role of bacteria and petroleum. *Economic Geology*, 98(1), 163-174. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.1.163>
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M., Reynolds, P. H. & Boric, R. (2003b). Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado manto-type Cu deposit, Chile: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of K-feldspar. *Chemical Geology*, 197(1-4), 161-176. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00350-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00350-9)
- Wilton, D. H. C. & Sinclair, A. J. (1988). Ore geology and genesis of a stratabound disseminated copper deposit at Sustut, British Columbia. *Economic Geology*, 83, 30-45. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.83.1.30>
- Yılmaz, A. (1985). Yukarı Kelkit Çayı ile Munzur Dağları arasının temel jeoloji özellikleri ve yapısal evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 28(2), 79-82. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/9490244a7cabc1f_ek.pdf
- Yiğit, Ö. (2006). Gold in Turkey-a missing link in Tethyan metallogeny. *Ore Geology Reviews*, 28(2), 147-179. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.04.003>
- Yiğit, Ö. (2009). Mineral Deposits of Turkey in Relation to Tethyan Metallogeny: Implications for Future Mineral Exploration. *Economic Geology*, 104(1), 19-51. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.104.1.19>
- Zhao, L., Han, J., Lu, W., Liang, P. & Jourdan, F. (2020). The Middle Permian Hongshanliang Manto-type copper deposit in the East Tianshan: Constraints from geology, geochronology, fluid inclusions and H-O-S isotopes. *Ore Geology Reviews*, 124, Article 103601. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103601>



**Türkiye’de Süstaşlarının (Mücevher Taşlarının) Yasal Durumu ve
Yeni Düzenleme Yapılmasının Önemi**
Legal Status of Gems (Jewellery Stones) in Türkiye and the Importance of New Regulations

Murat Hatipoğlu^{1,2,*} 

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, İMYO, El Sanatları Bölümü, Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Program,
Buca/İZMİR

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doğal Yapı Taşları ve Süstaşları Anabilim Dalı,
Buca/İZMİR

• Geliş/Received: 26.03.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 15.04.2025 • Kabul/Accepted: 19.04.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 19.06.2025 • Baskı/Printed: 31.08.2025

İnceleme Makalesi/Review Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Süstaşları (mücevher taşları) olarak gruplandırılan madenleri diğer metalik ve endüstriyel madenlerden ve yapı taşlarından ayırabilen, hacimli rezervlere ve üretim miktarlarına ihtiyaç duyulmamasının yanında düşük rezervli dahi olsalar eğer iyi kalitede çıkartılırlarsa mücevher sektöründe kullanılabilmeleri açısından aranır olduklarından, diğer gruplarla kıyaslandıklarında, bu malzemeler çok yüksek ekonomik değerlere sahiptirler. Türkiye’de süstaşı-mücevher taşı bilimi (gemoloji) ve süstaşı-mücevher taşı işleme sanayii çok gelişmemiş ve ülkemiz süstaşları potansiyeli henüz tam anlamıyla ortaya konulmamış olmasına rağmen, süstaşları-mücevher taşları, maden sektörü bilinçli yapıldığında ve iyi pazarlandığında Türkiye için yüksek bir ekonomik değeri temsil eder. Bunların ham ve işlenmiş hallerindeki ulusal madenciliği, analizi ve ticaretinin bir eş güdüm ve disiplin içinde olması, ekonomik çıkarlar açısından Türkiye için önem arz eder. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Hazine ve Maliye Bakanlığına bağlı kurumların süstaşları-mücevher taşları söz konusu olduğunda mevzuat ve uygulama itibariyle bir düzensizlik içerisinde olduğu görülmektedir. Bunların tek bir çatı altında yönlendirilmesi aklın ve bilimin gereği bir zorunluluk doğurmuştur. Sadece süstaşları madenciliğine, analizine, borsasına ve ticaretine yönelik yeni bir hukuksal düzenlemeye ihtiyaç olduğu aşikardır. Bu kanun içeriği Dünyadaki diğer ülkelerin çıkardığı eşdeğerlerine uygun olarak özel olarak hazırlanmalıdır. MAPEG (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü) veya MTA (Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü) bünyesinde “Türkiye Süstaşları (Mücevher Taşları (Gemoloji) Uygulama ve Araştırma Merkezi” kurulmalıdır. Bu merkez ülkemizde halen büyük kısmı atıl halde duran süstaşları madenciliğini, işlemeciliğini ve pazarlaması ile AR-GE faaliyetlerini organize edebilecek kapsam ve yeterlilikte olmalıdır. Süstaşları ticaretinin bugün Dünyadaki başlıca merkezleri Asya kıtasına kaymış ve Tayland (Bangkok), Çin (Hong Kong), Hindistan (Jaipur, Bombay) gibi yerler ön plana çıkmıştır. Türkiye Kambyo mevzuatında (32 sayılı Türk Parası Koruma Mevzuatında) 2/K maddesindeki kıymetli taşlar tanımı revize edilerek, eksik düzenlemenin güncellenmesi gerekmektedir. Benzer bir revizyonun da Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından halen yürürlükte olan süstaşları-mücevher taşları ile ilgili standartlar olan TS-6173 ve TS-6174 üzerine de yapılması gerekir. Türkiye’de kuyum sektörünün ana paydaşlarından olan tüketici açısından yürürlükte olan “6502 Sayılı Tüketicinin Korunması Hakkında Kanun” çerçevesinde incelendiğinde, mevcut düzenlemelerin ve yaklaşımların süstaşları açısından karşılaşılan ve olası sorunlara gereken cezai etkinlikte karşılık bulmadığı görülmektedir. Bu kanunun ve ilgili yönetmelikleri ve de ilişkili mevzuatı süstaşları açısından tüketici mağduriyetlerinin önlenmesi bakımından yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gemoloji, süstaşları (mücevher taşları), süstaşları hukuku, süstaşları madenciliği, süstaşları borsası-ticareti.

* Yazışma / Correspondence: murat.hatipoglu@deu.edu.tr

Abstract: *What distinguishes minerals grouped as gemstones (jewellery stones) from other metallic and industrial minerals and building stones is that they do not require bulky reserves and production amounts. Even if they have low reserves, if they are extracted with good quality, they are sought after for use in the jewellery industry, and when compared to other groups, these materials have very high economic value. Although gemstone science (gemmology) and the gemstone processing industry are not very developed in Türkiye and the potential of gemstones in our country has not yet been fully determined, gemstones represent high economic potential for our country when mining is performed consciously and the products marketed well. Therefore, it is in our national interest that national mining, analysis and trade of gems in their raw and processed forms should be coordinated and disciplined. Differing and ignorant practices by the Ministry of Energy and Natural Resources and the Ministry of Treasury and Finance regarding gemstones are contrary to our national interests and are in disorder. Managing gemstones under a single regulation has become a necessity due to logic and science. There is a definite need for new laws just about mining, analysis, exchange and trading of gemstones. The content of this law should be specially prepared in accordance with equivalent laws from other countries in the world. A “Turkish Gemstone (Jewellery Stones (Gemmology) Application and Research Centre” should be established within the General Directorate of Mining and Petroleum Affairs (MAPEG) or General Directorate of Mineral Research and Exploration Institute (MTA). This centre should be able to organise mining, processing and marketing of gemstones and R&D activities, most of which are still not active in our country. Today, the centres of gemstone trade in the world are places such as Thailand (Bangkok), China (Hong Kong), and India (Jaipur, Bombay). The definition of precious stones in Article 2/K of the Turkish Foreign Exchange legislation (Turkish Currency Protection Legislation No. 32) must be revised and missing regulations must be updated. A similar revision should be made to standards TS-6173 and TS-6174 regarding gemstones, which are currently enforced by the Turkish Standards Institute (TSE). When examined in terms of the consumer, one of the main stakeholders in the jewellery industry in Türkiye and within the framework of the “Law on Consumer Protection No. 6502” in our general legal system, the current regulations and approaches cannot respond with the penal effectiveness required for possible problems encountered in terms of gemstones. Based on this determination, the law and the relevant regulations and related legislation need to be rearranged in order to prevent consumer grievance in relation to gemstones.*

Keywords: *Gemmology, gems (jewellery stones), gem laws, gem mining, gem trading.*

GİRİŞ

Türkiye’de rezerv bakımından ekonomik sayılabilecek doğal taşlar arasında belki de ilk beş arasına girebilecek malzemelerden birisi de süstaşları-mücevher taşlarıdır (Hatipoğlu, 2007; Hatipoğlu vd. 2011). Bunlar bilindiği üzere yer kabuğunu oluşturan katı maddelerinin, milyonlarca yıl içerisinde özgün yapı ve özellikler kazanmış türevleridir (Keller, 1990; Bonewitz, 2005) (Şekil 1). Bu yüzden süstaşları-mücevher taşları yalnızca jeolojik oluşumların özgün koşullarının etkisi altında kalan ve maalesef sadece belirli bölgelerde bulunurlar. Bu nadir bulunuşun en önemli avantajlarından birisi de jeo-turizm açısından (gem safari olarak) bulundukları bölgenin ilgi çeken bir destinasyon merkezi olması yüzünden hem ülke bazında hem de dünyaca tanınmasını sağlayan doğal alanlar olurlar (Hatipoğlu ve Gökçen, 1999;

Hatipoğlu ve Babalık, 2008; Hatipoğlu vd. 2010a; Hatipoğlu vd., 2011).

Bilindiği üzere mineralleri oluşturan temel yapıtaşları, katyon ve anyonlardır. Bu katyon ve anyonlar minerallerinin jeokimyasal bileşimlerinde yüzde, binde, milyonda (ppm) ve milyarda (ppb) oranlarda yer alabilirler ve o mineraller için doğanın parmak izi olarak ifade edilirler. Bir süstaşı-mücevher taşı mineralini kimyasal bileşimiyle ifade etmek bazen çok zor ve karmaşık olabilir. Bu yüzden genellikle kimyasal bileşim sadeleştirilerek, kimyasal bileşiminde elementlerin yüzde (bazen binde) oranda bulunanları, kimyasal kurallar içerisinde yazılır. Daha basit, akılda kalabilecek ancak o minerali de karakterize edecek bu yazıma, kimyasal formül denir (Gübelin, 1969; Sinkansas, 1986; Schumann, 2000). Süstaşlarının-mücevher

taşlarının dünya üzerinde kullanılan her dilde bir karşılığı olmasına rağmen, kimyasal formülleri adeta onların uluslararası ortak dilidir ve bu dili bilen her kes tarafından kolaylıkla tanınabilirler (Blackburn, 1924; Mitchell, 1979; Back ve Mandarino, 2008).

Süstaşları-mücevher taşları;

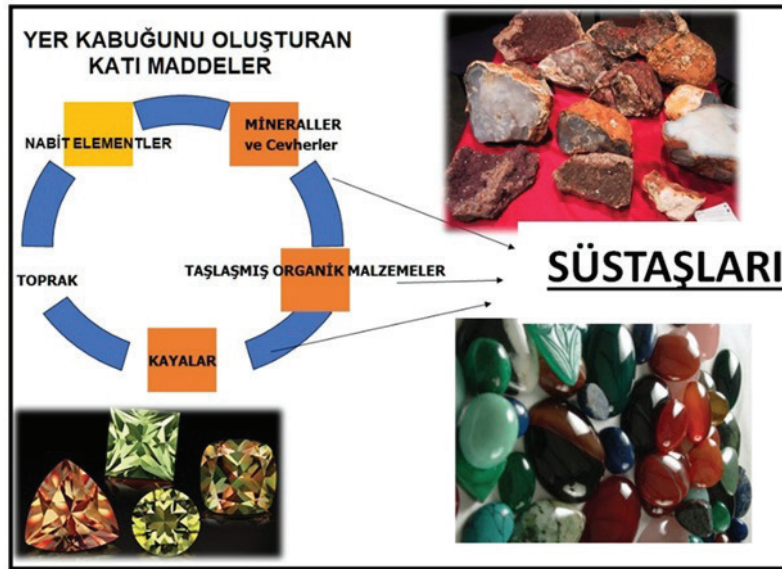
- Özgün fiziko-kimyasal özelliklerinden kaynaklanan albenilik

- Nadir bulunma,
- Büyük kristal olma,
- İşlentiye uygunluk

olarak vücut bulabilecek nedenler sonucu ekonomik değer kazanan mineraller (cevherler), kayalar ve taşlaşmış organik malzemeler için geçerli genel bir ifadedir (Arem, 1987, Webster vd. 1994; Manutchehr-Danai, 2005; Read, 2005; Savaşçın vd. 1988b; Schumann, 2000; Hatipoğlu, 2011b).

Gemoloji bilimi de süstaşı niteliği taşıyabilen mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzemelerin, yerkabuğunda var oluşumundan, çıkartılıp işlenişinden, son tüketiciler için uygun olana kadar geçen süreçteki her yöntem ve işlemi kendisine konu alan bilimsel ve ticari açıdan dünyada kabul görmüş bir disiplindir (Gübelin, 1969; Webster, 1979; Read, 2005).

Kapsam olarak bakıldığında da “elmas” ve “renkli taşlar” adı altında toplanan yaklaşık iki yüz seksen beş (285) adet mineral kökenli süstaşlarını-mücevher taşlarını, ayrıca yaklaşık sekiz (8) adet taşlaşmış organik malzeme kökenli süstaşlarını ve de yaklaşık beş (5) adet kayaç kökenli süstaşlarını içine almaktadır (Savaşçın vd., 1988a; Roberts vd. 1989; Schumann, 2000; Manutchehr-Danai, 2005) (Çizelge 1).



Şekil 1. Yer kabuğunu oluşturan katı maddelerin, süstaşları-mücevher taşları olarak nitelendirilebilecek türlerin grafiksel gösterimi.

Figure 1. Graphical representation of solid materials that make up the earth’s crust and types that can be described as gemstones-jewellery stones.

Çizelge 1. Dünya yüzeyinde madenciligi-üretimi yapılan (doğal inorganik ve organik kökenli) süstaşları gruplaması.

Table 1. Classification of gemstones-jewellery stones (of natural inorganic and organic origin) that are mined and produced on the earth's surface.

Mineral Kökenli (40 Mineral Cinsi ve 285 Mineral Türü)	Kayaç Kökenli (5 Kayaç Türü)	Taşlaşmış Organik Malzeme Kökenli (8 Materyal Cinsi)
*Elmas	*Obsidyen	*İnciler
*Korundum Grubu	*Lapis Lazulli	*Amber, Kopal, Fosil Reçine
-Yakut	*Mor Jade (Türkiyenit)	*Gagat (Taşlaşmış Ağaçlar)
-Safirler	*Lisfenit	*Fildişi
*Krizoberil Grubu	*Serpantinit	*Mercan
-Aleksandrit		*Sedef
-.....		*Oltu Taşı (Jet, Karbon Karası)
*Topaz		*Fosiller (Ammonit, Trilobit)
-Asil Topazlar		
-Sıradan Topazlar		
*Beril Grubu		
-Zümrüt		
- Akuvamarin		
-.....		
*Kuvars Grubu		
-Ametist		
-Kalsedon		
-Opaller		
-.....		
*Spodumen Grubu		
-Kunzit		
-Hiddenit		
-....		
*Spinel Grubu		
-....		
*Turmalin Grubu		
-....		
*Peridot/Olivin		
*Gem Diaspor		
*Malakit		

Böylece diyebiliriz ki; toplamda günümüzde küresel düzeyde ticareti yapılan yaklaşık üç yüz türde süstaşı-mücevher taşı bulunmaktadır (Webster vd., 1994; Newman, 2003; Wise, 2003). Ancak bununla beraber bazı çok ender oluşumlu mineraller de vardır ki, bunlar Dünyanın en nadir süstaşları-mücevher taşları olarak addedilebilirler (Altıngöz vd. 2019; Wright, 1996; Hatipoğlu vd. 2024) (Çizelge 2).

Çizelge 2. Dünyanın bilinen mineralojik açıdan en nadir oluşumlu bazı doğal süstaşları.

Table 2. Mineralogically rare natural gemstones-jewellery stones known on earth.

MİNERAL-SÜSTAŞI (MÜCEVHER TAŞI) İSMİ
*PAİNİT (PAINITE)
*SERENDİBİT (SERENDIBITE)
*MUSGRAVİT (MUSGRAVITE)
*POUDRETTEİT (POUDRETTEITE)
*GRANDİDERİT (GRANDIDERITE)
*JEREMEJEVİT (JEREMEJEVITE)
*BİKSİT-BERİL (BIXBITE-BERYL)
*BENİTOİT (BENITOITE)
*ALEKSANDRİT-KRİZOBERİL (ALEXANDRITE-CHRYSOBERYL)
*GEM TÜRK DİASPORU (GEM TURKISH DIASPORE)
TANZANİT-MAVİ ZOİSİT (TANZANITE-BLUE ZOISITE)
*KAMMERERİT (KAMMARARITE)

Süstaşlarının Dünya çapında mücevher sektöründe ticareti yapılan diğer minerallere ve kayalarlara göre çok az miktarlarda ve boyutlarda olmasından kaynaklanan bir özelliği de işlenmiş olanlarının ticaretinde ağırlık ölçü biriminin de özgün bir değer olan ve tüm dünya ülkelerince kabul edilen ortak ağırlık ölçü birimi “CARAT-CT” (1 Carat = 0,2 gr) olmasıdır (Newman, 2003; Wise, 2003; Altıngöz vd. 2019; Hatipoğlu, 2020). Ancak bu kelimenin soy metaller için olan versiyonu “Karat-KT” olarak da çok yanlış kullanımı maalesef Türkiye’deki mücevher sektör içerisinde hala yaygındır. Bu durum bilimsel anlamda aşağıdaki gibi izah edilebilir.

“Carat” (ya da kısaltılmışı “CT veya C”) kelimesi kesilmiş ve parlatılmış kıymetli taşlar için uluslararası kullanılan bilimsel değeri olan *ağırlık ölçü birimi* dir. “Carat”ın metrik sistemdeki gram olarak eşdeğeri şöyledir;

$$1 \text{ ct} = \frac{1}{5} \text{ gr} = 0,2 \text{ gr} = 200 \text{ mgr}$$

1913 yılında carat ağırlığı uluslararası olarak standartlaştırılmış ve metrik sisteme denkleştirilmiştir (Gübelin, 1969; Altıngöz vd. 2019). İşlenmiş süstaşlarının ağırlık ölçü birimi olan “carat”ın, yüzdesel ast birimi “point” olup bu birimin Türkçedeki karşılığı “puan” dır. Yani;

$$1 \text{ point (puan)} = \frac{1}{100} \text{ ct}$$

“Karat” (ya da kısaltılmışı “KT veya K”) kelimesi altın için simgesel *safılık ölçü birimi* olup, bu kelimenin Türkçedeki karşılığı “ayar” dır. Altın için en yüksek safılık değeri altının atom ağırlığından esinlenerek “24” karat (ayar) ‘dır. Bunu kimyasal konsantrasyon olarak ifade etmek istersek “milyem” (ya da kısaltılmışı “ooo”) ifadesi kullanılır. Bu milyem denilen kimyasal konsantrasyon ifade tarzı ‘molalite’ olarak bilinen ve katılarda ısıya bağlı olmayan 1000/1000 safılık değeridir. Simgesel karat (ayar) olarak söylenen safılık değerinin bilimsel (milyem) değerini bulmak için;

$$\frac{24}{24} * 1000 = 1000^{ooo}$$

denklemini kullanmak gerekir.

Süstaşlarını yapısal bakımdan oluşturan bileşenlere baktığımızda bunlar; İnorganik ve organik kökenli doğal süstaşları ile inorganik kökenli yapay süstaşlarıdır (Hatipoğlu, 2011b; Hatipoğlu, 2020; Keller, 1990; Krauskopf, 1982; Rose vd. 1979) (Çizelge 3).

Çizelge 3. Süstaşlarını yapısal bakımdan oluşturan bileşenler.**Table 3.** Structural components of gemstones.

İnorganik - Doğal Süstaşları	Organik - Doğal Süstaşları	İnorganik - Yapay Süstaşları
*Mineraller Elmas, korundum, kuvars, almandin, beril, topaz, vb. *Kayaçlar Lapis lazulli, obsidyen, mor jade (Türkiyenit), serpantinit, jasperoid, moldavit)	*Taşlaşmış Kavkılar İnci, mercan, kehribar; oltu taşı, jet, fildişi, sedef, taşlaşmış ağaç, amonit	*Camlar *Fayans-Seramikler *Camsı-Seramikler *Kompozitler

Süstaşlarının-mücevher taşlarının kuyum sektöründe kullanımında **şüphesiz** değer-kıymet faktörü de göz önüne alınmaktadır. Bu yüzden bu malzemeler, prestijli (tanınmış) (kıymetli taşlar) ve yarı prestijli (az tanınmış) (eski ismiyle

yarı kıymetli taşlar) olmak üzere değersel bir sınıflandırmaya da tabi tutulmaktadır (Webster vd. 1994; Schumann, 2000; Manutchehr-Danai, 2005; Hatipoğlu, 2011b; Hatipoğlu, 2020) (Çizelge 4).

Çizelge 4. Süstaşlarının değersel sınıflandırılması.**Table 4.** Valuation classification of gemstones.

SÜSTAŞLARI (MÜCEVHER TAŞLARI)	
↓	↓
PRESTİJLİ (KIYMETLİ) SÜSTAŞLARI / PRESTIGIOUS (PRECIOUS) GEMS	YARI PRESTİJLİ (YARI KIYMETLİ) SÜSTAŞLARI / SEMI PRESTIGIOUS (SEMI-PRECIOUS) GEMS
ELMAS	Diğer Mineral Kökenli SÜSTAŞLARI
YAKUT (Korundum türü)	Kayaç Kökenli SÜSTAŞLARI
SAFİR (Korundum türü)	
ALEKSANDRİT (Krizoberil türü)	Diğer Taşlaşmış Organik malzeme Türü SÜSTAŞLARI
TOPAZLAR	
ZÜMRÜT (Beril Türü)	
AKUVAMARİN (Beril Türü)	
İNCİLER	

Gemolojinin bilimsel açıdan konumlandırılması (Çizelge 5), jeoloji biliminin mineraloji/petrografi alt dalı içerisinde mümkün olabilmektedir. Ancak, uğraşı alanlarında; Maden,

Malzeme ve Metalurji, Kimya, Fizik, Arkeoloji, Sanat Tarihi gibi diğer bilimsel disiplinlerle de ilişkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. Gemolojinin bilimsel açıdan konumlandırılması ve üç temel branş konu alanı.

Table 5. Scientific positioning of gemmology and the three main branch topics.

*JEOLÖJİ (Yer Yuvarı Bilimi)

*Mineraloji-Petrografi

*Gemoloji



GÜNCEL
GEMOLOJİ

ARKEO-
GEMOLOJİ

ADLİ-
GEMOLOJİ

Süstaşları-mücevher taşları, kayaçların içinde birincil olarak bulunabileceği gibi, yoğunlukça yüksek olanlar, plaser ortamlarda ayrımlaşarak ikincil olarak da daha ekonomik boyutlarda **gözlenebilirler** (Keller, 1990; Krauskopf, 1982; Rose vd. 1979).

Gemoloji biliminin süstaşları-mücevher taşlarının jeolojik oluşumundan, tüketiciye ulaşana kadar geçen süreçteki her yöntem ve işlemi konu aldığı için, kendi içinde de 10 alt dala sınıflandırmak mümkündür;

- 1.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının madenciliği; yer kabuğunda oluşumu, bulunuşu, aranması ve eldesi.
- 2.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının işlemeciliği-Lapidary; her türlü işleme teknikleri kullanılarak şekillendirilmesi kesilmesi-parlatılması-cilalanması.
- 3.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının tanımlanması; ham olarak ya da işlenmiş şekillerde bilimsel inceleme yöntemleriyle tanımlanması ve kimliklendirilmesi (sertifikalanması).

*Ham Süstaşı-Mücevher Taşı Raporu

*Elmas Sertifikası

*Renkli Taş Sertifikası

*İnci Sertifikası

- 4.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının renk tedavileri; ısıtma, difüzyon, radyasyon ısıtma, boyama, kaplama, basınç ve sıcaklıklara maruz bırakma, tütsüleme, ağartma, yağlama vb. yöntemleriyle renk doygunluklarını artırma.

*Treatment

*Enhancement

- 5.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının sentetiği; laboratuvarlarda yapay-sentetik-kültür olarak üretilmeleri veya büyütülmeleri.

*HP-HT

*CVD

*Vernel

*Eriyikten büyütme

*Ergiyikten büyütme

*Ergiyikten Çekme

*Hidrotermal

*Japon Akoya

*South Sea

*Tahiti Siyah

*Çin Fresh Water

- 6.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının mıhlaması; soy metaller üzerine montülenmesi (kakma, mıhlama, sıvama vb.).
- 7.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının pazarlanması; Süstaşlarının-mücevher taşlarının lotlar veya taneler halinde satılması-ticareti).
- 8.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının antıkası; antik dönemlerde ham veya işlenmiş olarak kullanılmış ve günümüz kazılarında bulunan ar-gem-malar (Arkeo-Gemoloji).
- 9.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının insan hayatı üzerine şifasal ve terapisel etkileri; geleneksel ve tamamlayıcı tıbbi veya muskasal kullanımları (Fitoterapi).

10.) Süstaşlarının-mücevher taşlarının hukuku; derecelendirme özelliklerine ilişkin anlaşmazlıkların hukuksal işlemleri, tüketiciyi koruma (Adli-Gemoloji).

Günümüzde süstaşları-mücevher taşları aynı zamanda önemli bir ekonomik açıdan hem bir nevi tasarruf aracı hem de bir nevi değiş-tokuş aracı olarak çeşitli ihtiyaçlara hizmet eden bir kullanım şekline sahiptirler (Webster vd. 1994; Newmann, 2003; Wise, 2003; Hatipoğlu, 2023). Alım satımına konu olması kendi özel piyasasını, standartlarını ve normlarını oluşturması ve bir sektör halini alması genel olarak olumlu süreçler olarak kabul edilir.

TÜRKİYE’DE ELMAS ve KIYMETLİ TAŞLAR BORSASININ KURULMASININ ÖNEMİ ve GEREKLİLİĞİ

2000’li yılların başlarından beri mücevher sektörünün kurumsallaşması için önemli bir gündem konusu olmuştur (Hatipoğlu ve Kırkoğlu, 2005). Buna ilave olarak da Türkiye’de mücevheratın standardizasyonu için metalurjik ve gemolojik kontrolün (sertifikasyonun) önemini doğurmuştur (Hatipoğlu, 2015).

Türkiye’de “Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası” kambiyo borsası olarak 2011 yılında kurulmasına rağmen, kuruluşundan başlayarak hukuksal yan düzenlemelerin yapılamaması (ithal edilen kıymetli taşlardan alınan %20 oranındaki Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) nedeniyle), 2014 yılının ikinci çeyreğine kadar ki süreçte sektörel bazda piyasada işlem yapılmasına sebep olmuştur. 6552 sayılı Kanun’da, Katma Değer Vergisinde (KDV) ve Özel Tüketim Vergisinde (ÖTV) yapılan değişiklikler ile kıymetli taşların (elmas, pırlanta, yakut, zümrüt, topaz, safir, zebercet, inci) 6362 sayılı Sermaye Piyasası Kanununa göre Türkiye’de kurulu borsalarda işlem görmek üzere ithali, borsaya teslimi ve borsa üyeleri arasında el değiştirmesi KDV ve ÖTV kapsamından çıkarılmıştır. KDV istisnası, kıymetli taşların

Borsa İstanbul bünyesindeki Elmas ve Kıymetli Taş Piyasasında işlem görmek üzere ithali, borsaya teslimi ve borsa içinde veya ilgili mevzuatına göre borsaya bildirilmek kaydıyla borsa üyeleri arasında borsa dışında el değiştirmesini içermektedir. Türkiye’de “Elmas ve Kıymetli Taşlar Borsası” kurulduktan sonra, süstaşları-mücevher taşları ile ilgili önemli sayılacak dünya çapında otorite niteliğindeki uluslararası kuruluşlarla yaptığı üyelik anlaşmalarıyla önemli mesafeler almaya başlamıştır. Bunlardan ilki, Türkiye’nin 14.08.2007 yılında kabul edildiği “Kimberley Süreci Sertifika Sistemi” dir. Bakanlar Kurulu Kararı ile de Borsa İstanbul, “Kimberley Süreci Sertifika Sisteminde” ülkemizin ithalat ve ihracat otoritesi olarak belirlenmiştir. Bir diğeri ise, Borsa İstanbul olarak, 13.05.2008 yılında Dünya Elmas Borsaları Federasyonuna (WFDB-World Federation of Diamond Bourses) üye olmuş ve daha sonra da 15.06.2014’de WFDB’nin elmas ticaretinin dünyada güvenli bir şekilde yapılmasını sağlayan ve ithal edilen elmas taşların güvenli bölgelerden getirildiğini belirten Dünya Elmas İşareti (World Diamond Mark-WDM) için WFDB ile iyi niyet anlaşması imzalayarak, Türkiye’nin, güvenli elmas tedarik işareti dünyada Hindistan ve Dubai ile birlikte uygulanacağı pilot ülkelerden birisi olmuştur. Bu sayede kurumsal olarak Borsa İstanbul’un; gelecekte Türkiye’de, güvenli elmas taşlarının satışının yapılacağını belirten WDM işareti taşıyan ve Yetkili Elmas Bayi (Authorized Diamond Dealer –ADD) olarak anılan elmas satış yerlerinin WDM işareti alması için referans ve yetkili kurum olması hedeflenmektedir. Elmas ve Kıymetli Taşlar Borsasında süstaşlarının-mücevher taşlarının saklanması hususunda, Piyasa üyesi veya işlemin gerçekleştirilmesine dahil olanlar tarafından talep edilmesi ve Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası Kiralık Kasa Sözleşmesinin imzalanması suretiyle, uygun ölçü ve sayıda kasa, yıllık aylık, haftalık veya günlük süreler için kiralama hizmeti de sunulabilmektedir (Hatipoğlu, 2015).

Ülkemizde yaklaşık 600 yıllık köklü bir geçmişi olan kuyum sektörü, ana paydaşlarından olan tüketici bileşeni itibari ile ve genel hukuk sistemimiz içindeki **6502 Sayılı “Tüketicinin Korunması Hakkında Kanun”** ile sağlanan mevcut düzenlemelerin ve yaklaşımların karşılaşılan ve olası problemlere gereken etkinlikte, süratte ve basitlikte cevap veremediği, bu yüzden köklü bir revizyona ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir (Hatipoğlu vd., 2023).

Malın ayıplı olması halinde tüketici kendisine kanunen tanınan dört haktan istediğini seçebilir. Satıcı tüketicinin tercih ettiği bu talebi yerine getirmekle yükümlü kılınmaktadır. 6502 sayılı Tüketicinin Korunması Hakkında Kanun (“TKHK”), Avrupa Birliği ile yapılan müzakereler çerçevesinde 25 Mayıs 1999 tarihli Tüketici Malları Satım Sözleşmeleri ve İlgili Garantilerin Bazı Yönleri Hakkında 1999/44/AT sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Yönergesinin iç hukuka aktarımını gerçekleştirmek amacıyla 28.05.2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu kanunun 8’inci ve 11’nci Maddeleri satış sözleşmesi ve bu sözleşmeden doğan ayıp konusunu düzenlemektedir.

Ayıplı Malın Tanımı (Madde 8) Maddenin ilk fıkrası ayıplı ifayı, öncelikle sözleşmeye aykırı olarak yapılmış ifa olarak tanımlamaktadır. Fıkraya göre ayıplı mal tüketiciye teslimi anında, taraflarca kararlaştırılmış olan örnek ya da modele uygun olmaması ya da objektif olarak sahip olması gereken özellikleri taşınamaması nedeniyle sözleşmeye aykırı olan mal olarak tanımlanmaktadır. Tarafların açıkça belirledikleri hususların sözleşmenin içeriğini oluşturacağı aşikardır. Ayrıca aynı fıkra hükmü bir malın objektif olarak sahip olması gereken özellikleri taşınamaması halinde de ayıplı olacağını düzenlemektedir. Burada da kanun koyucu bir malın objektif olarak sahip olması gereken asgari özellikleri taşıması gerektiğini taraflar arasında zımnen kararlaştırılmış kabul etmektedir. Maddenin ikinci fıkrasında bir malın ayıplı olup

olmadığının tespiti hususunda kullanılacak birtakım kriterlere yer verilmektedir. Hükme göre ambalajında, etiketinde, tanıtma ve kullanma kılavuzunda, internet portalında ya da reklam ve ilanlarında yer alan özelliklerinden bir veya birden fazlasını taşımayan; satıcı tarafından bildirilen veya teknik düzenlemesinde tespit edilen niteliğe aykırı olan; muadili olan malların kullanım amacını karşılamayan, tüketicinin makul olarak beklediği faydaları azaltan veya ortadan kaldıran maddi, hukuki veya ekonomik eksiklikler içeren mallar da ayıplı olarak kabul edilmektedir. Maddenin üçüncü fıkrasında ise malın gereği gibi monte edilmemesi yüzünden doğan ayıp halleri düzenlenmektedir. Buna göre sözleşmeye konu olan malın, sözleşmede kararlaştırılan süre içinde teslim edilmemesi veya montajının satıcı tarafından veya onun sorumluluğu altında gerçekleştirildiği durumlarda gereği gibi monte edilmemesi sözleşmeye aykırı ifa olarak değerlendirilir. Malın montajının tüketici tarafından yapılmasının öngörüldüğü hâllerde, montaj talimatındaki yanlışlık veya eksiklik nedeniyle montaj hatalı yapılmışsa, sözleşmeye aykırı ifa söz konusu olur. Bu hüküm tarafından maddenin birinci fıkrasında kararlaştırılmış olan ayıbın varlığının malın tüketiciye teslimi tarihi anında ki durumuna göre belirlenmesi ilkesinin yanında, malın teslim edildiği ancak montajının teslim anından sonra yapıldığı durumlarda, ayıptan sorumluluk kapsamına alınmıştır. Ayrıca sözleşmede kararlaştırılan süre içerisinde teslim edilmemesi durumunda da tüketici, ayıplı mala ilişkin hükümlerden yararlanabilecektir.

Tüketicinin seçimlik hakları (Madde 11) Madde 11 malın ayıplı olması halinde tüketicinin başvurabileceği hakları düzenlemektedir. Bu fıkra tüketiciye dört haktan istediğini seçme imkanı vermektedir. Satıcı tüketicinin tercih ettiği bu talebi yerine getirmekle yükümlü kılınmaktadır. Buna göre;

(1) Malın ayıplı olduğunun anlaşılması durumunda tüketici;

- a) Satılanı geri vermeye hazır olduğunu bildirerek sözleşmeden dönme,
- b) Satılanı alıkoymuş ayıp oranında satış bedelinden indirim isteme,
- c) Aşırı bir masraf gerektirmediği takdirde, bütün masrafları satıcıya ait olmak üzere satılanın ücretsiz onarılmasını isteme,
- ç) İmkân varsa, satılanın ayıpsız bir misli ile değiştirilmesini isteme,

seçimlik haklarından birini kullanabilir. Tüketici, satıcıya karşı bu taleplerden istediğini yöneltebilir. Ancak tüketicinin kullanmak istediği talep karşı tarafa ulaştıktan sonra tüketici seçmiş olduğu bu talebi değiştirememektedir. Maddenin ikinci fıkrasında tüketicinin dört seçimlik hakkından dolayı öncelikli sorumluluk satıcıya verilmiş olmakla birlikte, ücretsiz onarım ve malın ayıpsız misli ile değiştirilmesi hakları, üretici veya ithalatçıya karşı da yöneltmesi imkânı tanınmaktadır. Böylelikle tüketici ile aralarında sözleşme ilişkisi bulunmayan üretici veya ithalatçı firmaya da sözleşmeye aykırılıktan ötürü sorumluluk yüklenmektedir. Tüketicinin, üreticiye veya ithalatçıya karşı bir ödeme yapmadığı için sözleşmeden dönme hakkını kullanarak, satıcıya ödemiş olduğu parayı üretici veya ithalatçıdan geri alması veya bedel indirimi hakkını kullanması mümkün değildir. Tüketici bu haklarını ancak satıcıya karşı kullanabilir. Buna karşılık ücretsiz onarım ve ayıpsız misli ile değiştirmenin üreticiden veya ithalatçıdan istenmesi anlamlıdır. Zira elinde yeni mal bulunan veya o malı gereği gibi onaracak olan üretici veya ithalatçıdır. Üçüncü fıkra da ücretsiz onarım veya malın ayıpsız misli ile değiştirilmesi haklarının kullanılamayacağı durumlar belirtilmektedir. Fıkraya göre ücretsiz onarım veya malın ayıpsız misli ile değiştirilmesinin satıcı için orantısız güçlükleri beraberinde getirecek olması hâlinde tüketici, sözleşmeden dönme veya ayıp oranında bedelden indirim haklarından birini kullanabilir. Orantısızlığın tayininde malın ayıpsız değeri,

ayıbın önemi ve diğer seçimlik haklara başvurunun tüketici açısından sorun teşkil edip etmeyeceği gibi hususlar dikkate alınmaktadır. Her ne kadar tüketici seçimlik haklarından birini kullanmakta serbest olsa da özellikle ücretsiz onarım ve ayıpsız misli ile değiştirme haklarının kullanılması bazı durumlarda satıcıyı çok zor durumda bırakabilmektedir. Buna göre onarım ve ayıpsız misli ile değiştirme imkânsız ise veya satıcı için orantısız güçlükleri beraberinde getirecek ise tüketici bu haklarını kullanamamaktadır. Burada orantısızlığın tespitini yapacak olan kişi hakimdir.

DÜNYADA GLOBAL HAM ve İŞLENMİŞ SÜSTAŞLARI TİCARETİNİN MEVCUT DURUMU

Dünya’da süstaşı yatakları incelendiğinde, özel isimlerle anılan (Blackburn, 1924; Back ve Mandarino, 2008; Mitchell, 1979) yaklaşık 300 türdeki ekonomik değere sahip süstaşı yataklanmalarının belirli bölgelerde yoğunlaştığı ortaya çıkmaktadır (Bonewitz, 2005; Keller, 1990; WEBMINERAL; 2025; Webster vd. 1994). Kıtasal boyutta bu bölgeler şunlardır;

- * Kuzey Amerika; Kanada, A.B.D., Meksika
- * Güney Amerika; Brezilya, Kolombiya, Uruguay
- * Afrika’nın güney ve batı kısımları; Güney Afrika, Namibya, Zambiya, Zimbabwe, Madagaskar, Tanzanya, Nijerya, Gana
- * Avustralya
- * Asya’nın güneyi; Burma (Myanmar), Tayland, Hindistan, Sri Lanka, Afganistan, Pakistan, İran
- * Avrupa; Rusya, Türkiye, Kuzey Makedonya, Polonya, Yunanistan

Görüldüğü üzere Dünya üzerinde kurulu yaklaşık 200 ülkeden sadece az sayılabilecek ülkelerde ekonomik boyutlarda süstaşları-mücevher taşları potansiyeli mevcuttur. Bu ülkeler arasında yaklaşık 14 ülke ön plana çıkmaktadır;

* Brezilya, *Sri Lanka, *Güney Afrika, *Kolombiya, *Avustralya, *Burma, *Tayland, *Rusya, *Madagaskar, *Pakistan, *Hindistan, *Çin, *Afganistan ve *Tanzanya global anlamda ham süstaşı ticaretinde, günümüzde en büyük ticari geliri elde etmektedirler. Brezilya ise bu ülkeler arasında, süstaşları-mücevher taşları madenciliği konusunda en zengin ülkedir. Günümüzde madenlerin sahipleri büyük oranda Katar vb körfez ülkelerinden ve Çin vb uzak doğu ülkelerinden şahıs veya şirketlerdir.

TÜRKİYE’DE HAM SÜSTAŞLARININ MADENCİLİĞİNİN MEVCUT DURUMU

Avrupa ve Ortadoğu bölgesi göz önüne alındığında, çok çeşitli cins ve türlerde hem de tenör ve rezervce zengin süstaşı-mücevher taşı yataklarının bulunduğu en önemli ülkeler olan Rusya, Kuzey Makedonya, Yunanistan, Polonya ile birlikte, Türkiye gelmektedir (Esenli vd. 2001; Hatipoğlu ve Gökçen, 1999; Hatipoğlu, 2007; Hatipoğlu ve Babalık, 2008; Hatipoğlu vd., 2010a, 2010b ve 2010c; Hatipoğlu vd. 2011; Hatipoğlu, 2011a; Hatipoğlu vd. 2013b; Hatipoğlu ve Çoban, 2021; Hatipoğlu vd. 2022; Hatipoğlu, 2023; Kaydu Akbudak vd. 2021; Sayılı vd. 1999). Ancak global süstaşları-mücevher taşları ticaretinde yukarıda sayılan ülkeler arasında, maalesef en düşük ticari geliri elde eden ülke de Türkiye’dir.

Birçok ülkede süstaşları gemolojik amaçlı kullanımları düşünülmeyen zaman, ilk bakışta bu malzemeler eski bir madencilik terimi olan gang diye tabir edilen atık malzeme toplulukları olarak kabul edilirler. Bu durumda önemli bir ekonomik değerin yok sayılması ve de değerlendirilmemesi söz konusu olmaktadır. Maalesef süstaşlarının-mücevher taşlarının endüstriyel hammaddeler içerisinde, ekonomik potansiyeli tam idrak edilememiştir. Dünyadaki süstaşı bölgelerinin vurgulanarak süstaşları madenciliğine yatırım yapacak kişilerin dikkatinin çekildiği erken dönem bazı yayınlar olmasına karşın (Hatipoğlu vd.,

2011), aslında, yakın bir geleceğe kadar yeterli tanıtımı yapılamadığından dolayı Türkiye’deki süstaşlarının potansiyeli Dünya literatüründe az sayıdaki makalelerle (Hatipoğlu, 2007; Hatipoğlu vd., 2011) duyurulmaya çalışıldığından, bu durum Dünya gemoloji sektöründe Türk taşları için istenen ilgiyi ve alakayı maalesef yeterince çekememektedir.

Türkiye, zengin sayılabilecek süstaşları kaynaklarına sahip olması, en genel anlamıyla, günümüz Türkiye jeolojisinin nihai şekillenmesinin Oligosen ve Miyosen dönemlerinde olduğu kronolojik veriler ışığında bilinmektedir (Şengör ve Yazıcı, 2020). Bu nedenle Türkiye’deki süstaşları-mücevher taşları yataklarının oluşum başlangıcının, Mezozoik döneminden beri ana tektonik devrimdeki magmatik ve volkanik jeokimyasal faaliyetlerle (Rose vd. 1979) ilişkili olduğu söylenebilir. Bu jeolojik yapı içerisinde günümüz Türkiye topraklarında, makroskopik miktarlarda dünyanın çok önem verdiği malzemelerden olan elmas, zümrüt (beril türü), aleksandrit (krizoberil türü) süstaşı-mücevher taşı yataklarına hâlihazırda henüz rastlanılmamıştır. Buna karşılık, hali hazırda madenciliğine başlanmasa bile dünyada çok tanınan ve bilinen süstaşları-mücevher taşları arasında bulunan safir ve topaz (Muğla bölgesinde) (Hatipoğlu ve Çoban, 2021; Hatipoğlu vd. 2022) ile yakut (Malatya bölgesinde) (Ay vd. 2013; Kaydu Akbudak vd., 2021) zuhurlar bulunmaktadır (Şekil 1). Tüm bunların yanında Anadolu toprakları, şu anda gayri nizami de olsa, ticareti yaygınca yapılan birçok mineral-kayaç ve taşlaşmış organik malzeme türü süstaşlarına-mücevher taşlarına (Çizelge 6) ev sahipliği yapmaktadır. Anadolu toprakları üzerinde bugün itibarıyla bilindiği kadarıyla değersel açıdan, nadir türler ve yaygın türler üreten süstaşı bölgeleri olarak da gruplanabilecek ekonomik rezervlere sahip yaklaşık 45 tür bulunmaktadır. Bunların birçoğu ekonomik boyutlarda olup, özellikle kuvars (SiO₂) ailesinin makro ve mikro kristalin türleri çok yaygındır (Hatipoğlu,

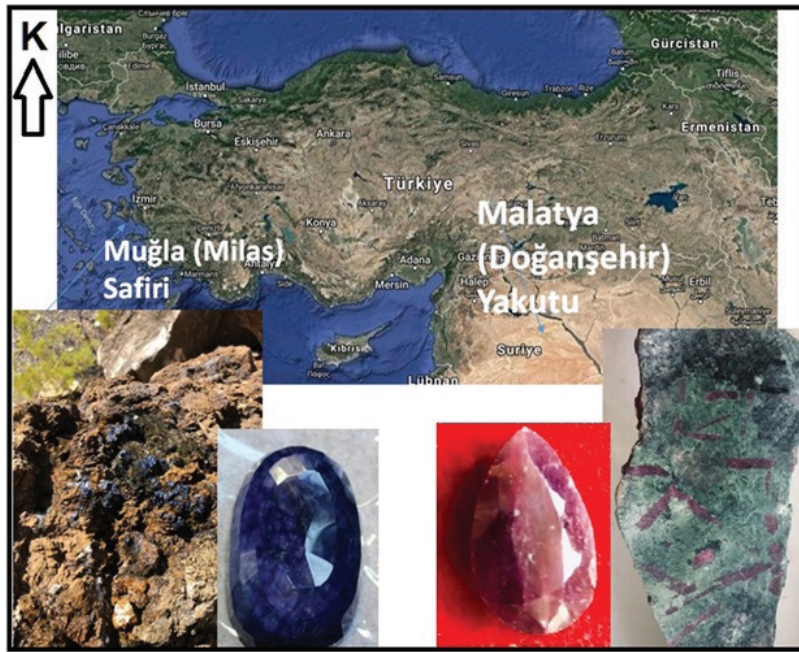
2007; Hatipoğlu ve Gökçen, 1999; Hatipoğlu ve Babalık, 2008; Hatipoğlu vd., 2010a, 2010b ve 2010c; Hatipoğlu vd. 2011; Hatipoğlu vd. 2011b ve 2013b; Hatipoğlu, 2023) (Şekil 2).

Süstaşları, diğer metalik ve endüstriyel madenlerden ve yapı taşlarından farklı olarak, büyük hacimli rezervlere ve üretim miktarlarına ihtiyaç göstermezler. Düşük tenör ve rezervli dahi olsalar, süstaşı-mücevher taşı kalitesi bakımından nitelikli olduklarında, çok yüksek ekonomik değerlere sahip olabileceklerdir.

Çizelge 6. Türkiye’de ekonomik potansiyele sahip özgün (nadir) süstaşı sahaları.

Table 6. *Unique (rare) gemstone fields with economic potential in Türkiye.*

BÖLGE	SÜSTAŞI	MİNERAL CİNSİ	FORMÜLÜ
MUĞLA (Milas,Yatağan,Kavaklıdere)	GEM DİASPOR	DİASPOR	Al(OH)O
	SAFİR	KORUNDUM	Al₂O₃
(Yeşilyurt)	ASİL TOPAZ	TOPAZ	Al₂(SiO₄(OH,F)
MALATYA (Doğanşehir)	YAKUT	KORUNDUM	Al₂O₃
KÜTAHYA (Şaphane-Simav)	ATEŞ OPALİ	KUVARS	SiO₂+nH₂O
BURSA (Orhaneli)	MOR JADE (TÜRKİYENİT)	Jadeit,Kuvars,Flogopit,Klorotoid,Epidot,Ortoklas	KAYAÇ
YOZGAT (Sarıkaya,Çekerek,Sorgun)	TURMALİN	TURMALİN	(Ca,Na,K)(Al,Fe,Li,Mg,Mn)₃(Al,Cr,Fe,V)₆(BO₃)(Si₆O₁₈)(OH,F)₄
	MORGANİT, HELİODOR, GOŞENİT	BERİL	Be₃Al₂Si₆O₁₈
ERZURUM (Aşkale)	KAMMERERİT (Cr-KLİNOKLOR)	KAMMERERİT	(Fe,Mg)₃Cr₃AlSi₃O₁₀(OH)₈
ERZİNCAN (Çayırılı)			
ERZURUM (Oltu)	KARBON KARASI (OLTU TAŞI)	-----	C,H,FeS,H₂O
ESKİŞEHİR (Mihalicık)	SEPIOLİT (LÜLETAŞI)	SEPIOLİT	Mg₄(OH)₂Si₆O₁₅.2H₂O+4H₂O
AYDIN (Çine)	ADULARYA-ALBİT	ADULARYA-ALBİT	NaAl₂Si₃O₈
AYDIN (Çine,Koçarlı,Karacasu)	DUMANLI-RENKSİZ KUVARSLAR,MORİON	KUVARS	SiO₂
MANİSA (Demirci)	AKUVAMARİN	BERİL	Be₃Al₂Si₆O₁₈
İZMİR (Çandarlı Körfezi)	SİYAH MERCAN	-----	(Ca,Mg)CO₃,SiO₂,H₂O
HAKKARİ (Yüksekova)	RENKSİZ_EPİDOTLU KUVARS	KUVARS	SiO₂
BALIKESİR (Dursunbey)	AMETİST	KUVARS	SiO₂



Şekil 2. Türkiye’nin safir (mavi korundum) ve yakut (kırmızı korundum) kristallerinin bulunduğu maden bölgeleri (Hatipoğlu vd., 2024’den düzenlenmiştir).

Figure 2. Mining regions of Türkiye where sapphire (blue corundum) and ruby (red corundum) crystals are found (modified from Hatipoğlu et al., 2024).

Süstaşlarının farklı madenciliği nedeniyle, 3213 sayılı “Maden Kanununda” 2004 yılında yapılan devrim niteliğindeki düzenlemede, diğer maden ve taş gruplarından ayrı olarak V.GRUP’ta toplanmış ve ruhsatlandırılması da “Maden Arama ve İşletme Sertifikası” olarak isimlendirilmiştir. Aslında süstaşları için ayrı bir gruplandırma ülkemiz süstaşı potansiyeline göre gecikmiş, ancak geçte olsa önemi fark edilerek çok yerinde yapılmış bir düzenlemedir. Bununla beraber son maden kanunundaki yeni düzenlemeyle V.Grup Maden sertifikası ile ruhsatlandırılmış bazı önemli süstaşı yatakları da bulunmaktadır. 2005 ve 2006 yılları içerisinde MİGEM yeni adıyla MAPEG (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü) tarafından ilk kez V.Grup olarak ruhsatlandırılan yaklaşık 140 adet süstaşı sahası bulunmaktadır. Ayrıca geçmiş kanun döneminde (1985 yılında çıkartılan) ruhsatlandırılmış ancak yeni kanuna göre yasal süresi dolan çok sayıda

süstaşı-mücevher taşı yatağı da o dönemlerde MİGEM tarafından ihaleler yoluyla yeni kişilere ruhsatlandırılmıştır.

TÜRKİYE’DE HAM VE İŞLENMİŞ SÜSTAŞLARI TİCARETİNİN MEVCUT DURUMU

Türkiye’de süstaşları bilimi (gemoloji) ve süstaşları işleme sanayii çok gelişmemiş ve ülkemiz süstaşları potansiyeli henüz tam anlamıyla ortaya konulmamış olmasına rağmen, süstaşları, maden sektörü Türkiye için yaklaşık 50 milyar dolarlık bir ekonomik potansiyeli temsil eder (Hatipoğlu, 2023). Sınırlı olsa bazı bölgelerde yapılan jeolojik çalışmalarda bol rezervli ve zengin tenörlü süstaşları olduğu tespit edilmiştir. Bunların illegal olarak yurtiçi ve yurtdışındaki alıcılar tarafından çok beğenildiği, basın ve sosyal medya platformları vasıtasıyla alınıp-satıldığı

gözlenmektedir. Şu anda süstaşı potansiyelimizin yaklaşık %90'ı maalesef yeraltında beklemektedir. Bu yüzden denilebilir ki, Türkiye'nin yer altında yatan uyuyan devini uyandıracak yurtiçi ve yurtdışı süstaşları-mücevher taşları üzerine madencilik yatırımı yapacak girişimciler beklenmektedir.

Şu an ülkemizde V.Grup Maden Arama Sertifikası ile ruhsatlanmış ve çıkartılma aşamasında olan çok az sayıda [oltu taşı (Helvacı vd. 2025), kalsedon (Hatipoğlu vd. 2013b), ametist (Hatipoğlu vd. 2010c), gem diaspor (Hatipoğlu vd. 2010b) gibi] süstaşı yatakları mevcuttur. Sadece birkaç ekskavatör, kompresör ve madenciyle çıkartılabilecek ve düşük maliyetli bu yataklar, Türkiye'de karlı yatırım yapmak isteyen girişimciler için önemli sayılabilecek bir iş fırsatıdır. Tıpkı geçmişte geleceği iyi gören bazı yatırımcılar sayesinde bugün Dünyanın doğal yapı taşları sektöründe en önemli ülkesi konumuna gelmiş bulunmamız buna güzel bir emsal teşkil edebilecektir. Üstelik mermer yataklarının sayısı binlerle ifade edilmesine rağmen, süstaşı yatakları çok sınırlıdır. Bu yüzden en sağlam ve kalıcı sektör olan maden sektöründe, süstaşı madenciliği, en düşük yatırımla en fazla gelir getiren bir alandır. Bu alanda ülkemizin dünya devleri arasında hak ettiği yeri alabilmesi için, girişimcilerin bunu göz ardı etmemesinde büyük yarar vardır. Türkiye'nin jeolojik yapısı dünyada şu anda ticareti yapılan çok sayıdaki süstaşlarını-mücevher taşlarını barındırmaktadır. Bu oluşumlardaki minerallerin çoğu silikatlar olup, özellikle büyük kısmı da kristalin ve mikrokristalin kuvars türleridir (Şekil 3).

Süstaşlarının ticaretinde ham maddeden mamule geçişi anlatan ürün yelpazesinde en yaygın kesim (lapidary) modelleri; *Faset, *Kabaşon, *Tambur, *Fonksiyonlu ve *Boncuk kesimlerdir (Şekil 4).



Şekil 3. Türkiye'de çıkartılan marka değeri olan süstaşlarından bazı ham ve işlenmiş örnekler.

Figure 3. Some raw and cut-polished samples of gemstones with brand value mined in Türkiye.

Renkli taşların işlenerek değerlendirilmesi sürecinde;

- * Kesme
- * Tıraşlama-Aşındırma
- * Yüzey Pürüzlülüğünü Düzeltme
- * Cilalama-Parlatma

İşlemleri bu sırada çeşitli aşındırıcılar ve kimyasal oksitler kullanılarak gerçekleştirilir. Sonuçta renkli taşlar, ham halden mamul hale getirilirler.

Bu işlemler sonucunda;

- * Kabaşonlama (altı ve/veya üstü düz veya konik işlemeli eğik yüzeyli)
- * Fasetleme (her tarafı düzgün keskin yüzeyli)
- * Fonksiyonlu işleme (biblo, obje vb)
- * Tamburlama (düzensiz parçaların su ve aşındırıcıda gelişigüzel sert köşe ve kenarlardan arındırılmış şekil alması)
- * Boncuk (yuvarlaksı, küremsi, silindirimsi) (her tarafının yaklaşık yuvarlağımsı şekil alması ve ortasının delinmesi) sağlanır.

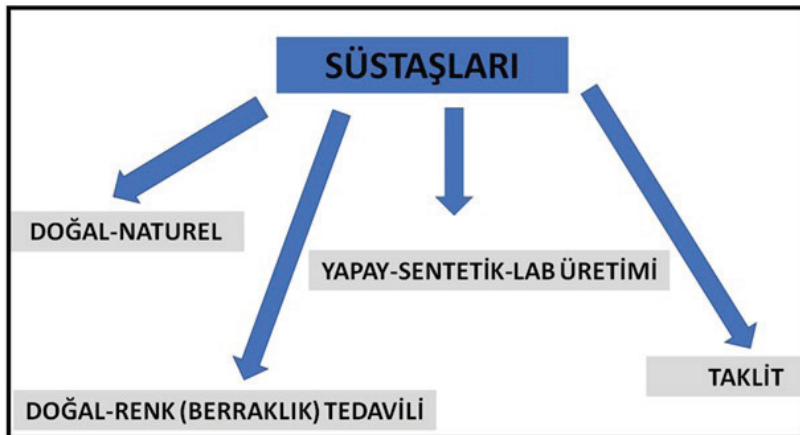
İleri aşamalarda özellikle tamburlanmış ve boncuklaşmış taşlar delinebilir. Küçük kırıntılar da mozaikler halinde döşenebilirler.

Yukarda sayılan metotlarla işlenen süstaşları-mücevher taşları;



Şekil 4. Süstaşlarının ham ve işlenmiş haldeki ticaretinde yer alan temel ürün yelpazesi.

Figure 4. Basic product range involved in the trade of gemstones in raw and cut-polished form.



Şekil 5. Süstaşlarının ham ve işlenmiş hallerdeki ticareti yapılan kategorileri.

Figure 5. Trade categories of gemstones in raw and processed states.

- * Takı Mücevheri (Ziynet) olarak (kolye, küpe, broş, yüzük taşları) veya
- * Dekoratif objeler olarak (biblo, vazo, heykel, anahtarlık, mühür sapı, baston başı vb.) çeşitli alanlarda kullanılarak parasal açıdan bir değer sunarlar.

Bununla beraber mücevher piyasasında doğal taş arzı yeterince olmadığından, talebin bir kısmı maalesef renk tedavili veya yapay hatta taklit ürünlerden karşılanmaktadır. Bu nedenle günümüzde süstaşları-mücevher taşları uluslararası düzeyde (Şekil 5) olduğu gibi

sınıflandırılmakta ve her bir kategori buna göre fiyatlandırılmaktadır.

Ancak, tüm bu kategorisel ayrımın yapılmasına ve ticarete buna uyulmasının önemi vurgulanmakla beraber, maalesef adli-gemolojik vakaların (Şekil 6) sıklığı gün be gün artmaktadır (Hatipoğlu vd. 2023). Başka bir deyişle tüketicilerin talep ettiği madenden çıkmış ve sadece işlenmiş kategorisindeki mücevher taşı arzı düşük olmasından kaynaklanan diğer arzu edilmeyen ancak kötü niyetli insanların sunduğu ürünler de tüketicilerin aldanmasına ve ticari yozlaşmaya sebep olmaktadır.

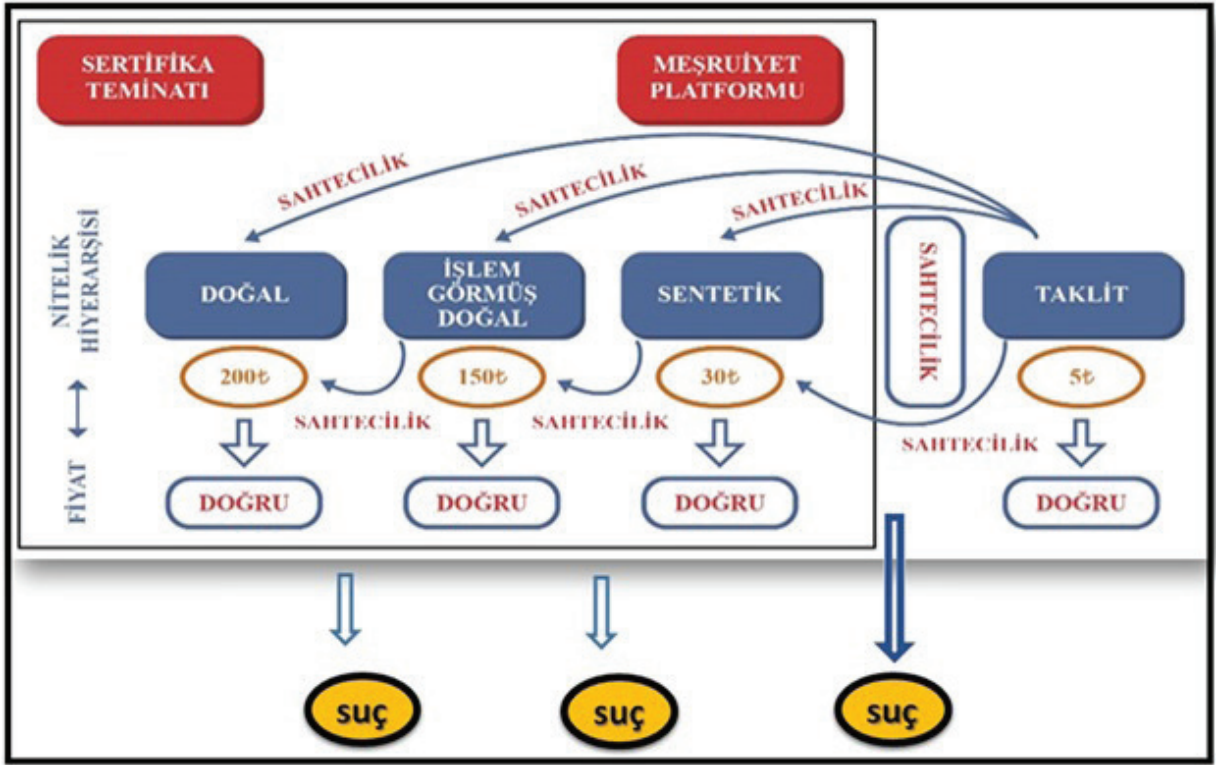
SÜSTAŞLARININ (MÜCEVHER TAŞLARI-NIN) RAPORLANMASI (SERTİFİKALAN-MASI) VE TİCARETİ

Gemoloji Üzerine Her Yönüyle Birleşik Bir Hukusal Düzenleme Yapılması Gerekliği

- a.) Süstaşları (mücevher taşları) ülkemiz için çok önemli ekonomik potansiyele sahip bir milli kaynak olduğu artık dünyaca kabul edilmektedir. Bu yüzden, bunların ham ve işlenmiş hallerindeki madenciligi, analizi ve ticaretinin bir EŞ GÜDÜM ve HUKUKSAL DİSPLİN içinde olması, zaruriyet doğurmaktadır.
- b.) Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Hazine ve Maliye Bakanlığına bağlı kurumların (Şekil 7) süstaşları konusunda farklı ve birbirinden habersiz gibi izlenim bırakan mevzuatı, ulusal menfaatlerimize aykırı ve bir düzensizlik içerisindedir. Bunların tek bir çatı altında yönlendirilmesi aklın ve bilimin gereği bir zorunluluk doğurmuştur.
- c.) Günümüzde Türkiye'deki süstaşlarını ilgilendiren kanunsal düzenlemelere

bakıldığında; 1985 tarihli ve 3213 sayılı “Maden Kanunu”, 1983 tarihli 2863 sayılı “Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu”, ayrıca Türk Standartları Enstitüsü’nün 1988 yılından beri yürürlükte olan, TS-6173 ve TS-6174 numaralı standartlarında, 1989 tarihli “Türk Parasını Koruma Hakkında 32 sayılı kararın 2. Maddesi, “k” bendinde”, 6362 sayılı “Sermaye Piyasası Kurulu Kanundaki Borsa İstanbul Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası mevzuatında” ve de 6502 sayılı “Tüketicinin Korunması Kanununda” birbiriyle çelişen maddeler halinde bulunmakta ve bunların tümünün genel bir kanun altında derlenip toplanması gerekmektedir.

- d.) 3213 sayılı “Maden Kanunu’nda” 4. Grupta bahsedilen Endüstriyel Hammaddelerin ve 5. Grupta olan süstaşı hammaddelerinin bilimsel kriterlere göre yeniden düzenlenmemiş olması (Başka bir deyişle, zaten süstaşları da bir anlamda endüstriyel hammaddeler grubundandır). Bu yüzden kesin ayrımın yapılması aslında bu malzemelerin, mücevher taşı olabilme kriterlerine göre yapılabileceğidir. Maden kanunundaki özellikle 2015 ve sonrası yıllarda çıkartılan torba yasalardaki 5. grup madenler (süstaşları) için yapılan düzenlemelerin süstaşı madenciliğinin zorlaştırıcı yani aleyhte hükümler içermesi. Mesela 4. Grup madenler üzerine 5. Grup ruhsat verilmeyişi hükmü ölümcül bir darbedir. Çünkü mantıken ve bilimsel düşünüldüğünde zaten Türkiye’de hemen her yer 4. Gruptan ruhsatlandırılmış olup zaten boş alan kalmamıştır. Ayrıca süstaşlarının-mücevher taşlarının büyük kısmı endüstriyel hammaddelerle birlikte bulunur ve çoğu yerde bunlar ikincil minerallerdir. Son düzenlemelerle ile bu ikilem önemli oranda düzeltilmiştir.



Şekil 6. Mücevher sektöründe sıkça rastlanan adli-gemolojik vakaları oluşturan taş-satıcı-müşteri-suç ilişkisini gösteren mizanpaj.

Figure 6. Layout showing the stone-seller-customer-crime relationship that creates forensic gemmological cases frequently encountered in the jewellery industry.

e.) 5. Grup süstaşı maden işletmeciliğinde devlet hakkının çok yüksek olması. Bu durum diğer metalik ve ametalik hammaddeler için uygun olsa bile, Türkiye’de süstaşı madenciliğini neredeyse imkansız kılmaktadır. Bu durum madencilerin maalesef hem ihracatta gümrük müdürlüklerine hem de MAPEG’e gerçek olmayan beyanlar vermek zorunda kalarak, kanunda belirtilen devlete vermeleri gereken gerçek rakamı verememelerine sebep olmaktadır. Örneğin, Muğla bölgesinde Dünyada sadece bu bölgede ekonomik anlamda bulunan “gem diaspor” (zultanit, ksarit) denilen bir taş vardır. Bu taş karst tipi boksit cevheri içerisinde ikincil ürün olarak çıkmaktadır (Hatipoğlu vd. 2010b). Bunun kristalleri çok değerlidir. Bugün için değeri yaklaşık 2-10.000 ABD Dolar/Kg’dır.

Oysaki içinde bulunduğu boksit cevherinin değeri yaklaşık 10-40 ABD Dolar/Kg. Maden firmaları maalesef 2005 yılından beri ürettikleri bu birleşik madenin sadece boksit kısmını devlete bildirdikleri için, devletin hak kaybı çok büyük olmaktadır. Muğla bölgesindeki gem diaspor rezervinin yaklaşık 30.000 ton olabileceği (Hatipoğlu, 2007; 2011a), 2005 yılından buyana da en az 10.000 tonunun çıkartılıp satılmış olması gerektiği tahmin edilmektedir (Hatipoğlu, 2023).

f.) Sadece süstaşı madenciliğine, analizine, borsasına ve ticaretine yönelik kapsamlı bir hukuksal düzenlemeye (kanun ve yönetmeliğe) ihtiyaç gün be gün artmaktadır. Bu düzenlemelerin içeriği, Dünyadaki diğer ülkelerin çıkardığı benzerlerine uygun olarak özenle düzenlenmelidir.



Şekil 7. Türkiye’de Süstaşları üzerine yasal otoritesi bulunan resmi kurumlar; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) ve Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG). Hazine ve Maliye Bakanlığına bağlı; Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü ve Borsa İstanbul bünyesindeki Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası.

Figure 7. Official institutions with legal authority over gemstones in Türkiye; General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) and General Directorate of Mining and Petroleum Affairs (MAPEG) affiliated to the Ministry of Energy and Natural Resources; and General Directorate of Mint and Stamp Printing House and Diamond and Precious Stone Market within Borsa İstanbul affiliated to the Ministry of Treasury and Finance.

g.) Bakanlık veya MTA bünyesinde “**Türkiye Süstaşları (Gemoloji) Uygulama ve Araştırma Merkezi**” kurulması artık zorunlu hale gelmiştir. Bu merkez ülkemizde halen büyük oranda atıl halde duran süstaşları madenciliğini, işlemeciliğini, pazarlamasını ve de AR-GE faaliyetlerini bünyesinde barındırabilmelidir. Süstaşı ticaretinin bugün Dünyadaki merkezi Tayland (Bangkok), Çin (Hong Kong) ve Hindistan (Jaipur, Bombay)

gibi yerler olduğu aşikardır. O halde bu şehirlerin birisinde veya her birisinde de mutlaka Türkiye’nin de temsilciliği (şirketsel varlığı) olmalıdır. Bu temsil en mantıklı olarak yakın zamanda yeni bir kurum olarak faaliyete geçen “MTA International” ile sağlanabilecektir. Başka bir deyişle buralarda Türkiye adına resmi bir kurumumuzun irtibat bürosu açması, gem pazarlarına açılabilmemizde ve mevcut gelişmelerden haberdar olabilmemiz için, önem arz etmektedir.

h.) Ancak tüm bunlardan önce, Türkiye Kambyo mevzuatında (32 sayılı Türk Parası Koruma Mevzuatında) 2/K maddesindeki kıymetli taşlar tanımı revize edilerek, eksik düzenlemenin güncellenmesi diğer bir elzem konudur. 11.08.1989 yılında 20249 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Hazine ve Maliye Bakanlığına ait Türk Parası Kıymetini Koruma Hakkında 32 sayılı Karar’ın 2. maddesi (k) bendinde bahsi geçen devletin tanıdığı süstaşları sadece ELMAS, PIRLANTA, YAKUT, SAFİR, ZÜMRÜT, TOPAZ; İNCİ, ZEBERCET yazılmış olup, bunun dışında yaklaşık 300 adet olan süstaşlarının-mücevher taşlarının isimleri burada güncellenmez ise buna bağlı gemoloji ve soy metal ile ilgili resmi kurum olan Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü’nce çıkartılan ayar evleri, laboratuvarlar, ihracat rejimleri vb. hakkındaki tebliğler ihtiyacı karşılamamaktadır (Hatipoğlu, 2015 ve 2023).

1.) Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yürürlükte olan süstaşları ile ilgili standartlar (Savaşçın vd., 1988a ve 1988b); 1988a TS-6173 Kıymetli ve Yarı Kıymetli Süstaşları-Sınıflandırma [Precious and Semi-Precious Gemstones-Classification].

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara. (Yürürlükteki Standart), 1988b TS-6174

Kıymetli ve Yarı Kıymetli Süstaşları-Terimler [Precious and Semi-Precious Gemstones-Terms]. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara. (Yürürlükteki Standart) günümüz koşullarına göre yeniden revize edilmelidir.

i.) Gelişen teknoloji gemoloji ile alakalı yeni analiz ve araştırma yöntemlerini de ortaya çıkartmıştır. Adli bilimler bu yeni teknoloji konsepti içinde hem ön plana çıkmış hem de oldukça hızlı bir ilerleme göstermiştir (Hatipoğlu vd. 2023). Bilindiği üzere aslında yaşamın her alanında, adli bilimler laboratuvarları, yakın zamanlara kadar bilinmez ve meçhul olarak kabul edilen kriminal algı ve olguları, bilimsel metotların izin verdiği sınırlar içerisinde, olabildiğince açık bilinirliklere ve bulunurluklara dönüştürmektedir. Eski dönemlerden bu yana, süstaşlarının- ekonomik ve ışıltılı dünyası, insanoğlunu her yönden etkilemiş ve farklı algı ve ilgi seviyelerinde bu taşlar insanoğlunun hayatına bir şekilde nüfuz etmiştir.

Ülkemizde göreceli olarak yakın geçmişte (son 50 yılda) hızlı bir şekilde sektörel bazda gelişmeye başlayan kuyum piyasası, sektörün ana paydaşlarından olan tüketici bileşeni itibari ile “6502 Sayılı Tüketicinin Korunması Hakkında Kanun” çerçevesinde ele alınması artık yeterli olmayıp, mevcut durumda ilave düzenlemelerinde gelmesini zaruri kılmaktadır.

Türkiye’de Süstaşları (Mücevher Taşları) Üzerine Bugüne Kadar Çıkartılmış Mevcut Bazı Önemli Hukuksal Düzenlemeler

Türkiye’de süstaşlarının (mücevher taşlarının) önemi ve yaygınca kullanımı maalesef ancak 1970’li yılların sonlarında başlamıştır. Bu konuda yürürlükte olan bazı önemli hukuksal düzenlemelerimiz şunlardır;

- * 1981 tarihli 2550 sayılı Yükseköğretim Kanununda (üniversite kurumlarında Gemoloji ile ilgili bölüm ve branşların açılması).

- * 1983 tarihli 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunda (Madde 23).
- * 1984 tarihli ve 18435 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 234 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile kurulan Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü’nün kıymetli maden ve kıymetli taş analizinde yetki verilecek ayar evlerinin standartları, seçimi ve denetim esaslarının belirlenmesine ilişkin tebliğ.
- * 1985 tarihli ve 3213 sayılı Maden Kanunu.
- * 1988 tarihli Türk Standartları Enstitüsü standartlarında (TS6173 ve TS6174 nolu standartlar).
- * 1989 tarihli Türk Parasını Koruma Hakkında 32 sayılı kararın 2.Maddesi, “k” bendi.
- * 2011 tarihli 6362 sayılı Sermaye Piyasası Kurulu kanundaki Borsa İstanbul «Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası» mevzuatı.
- * 2012 tarihli 6502 sayılı Tüketicinin Korunması Kanununu.

Ancak bunların her birinde maalesef bazı yerlerinde birbirleriyle çelişen maddeler halinde bulunmakta ve bunların tümünün süstaşları ile ilgili kısımlarının genel bir kanun altında derlenip toplanması gerekmektedir.

7257 Sayılı Kanun ile Maden Kanunu’nda Yapılan Değişiklikler

Elektrik Piyasası Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair 7257 Sayılı Kanun 2 Aralık 2020 tarih ve 31322 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Bu Kanun ile Maden Kanunu’nda yapılan değişikliklere aşağıda yer verilmiştir.

- 1 - Kanun değişikliği ile 6183 sayılı Kanunun 22/A bendi kapsamında 18 ayrı konuda talep edilen borcu yoktur belgesinin;
- Maden arama ve işletme ruhsatlarının verilmesine,

- Birleştirilmesine,
- Sürelerinin uzatılmasına,
- Devir ve intikallerine,
- Çevreyle uyum bedeli iadelerine,

ilişkin müracaatlar dışında aranmaması yönünde düzenleme yapılmıştır.

Bazı işlemlerde 6183 sayılı Kanunun 22/A bendi kapsamında vadesi geçmiş borcunun bulunmaması şartı kaldırılmış ise de; maden arama ve işletme ruhsatlarının verilmesine, birleştirilmesine, sürelerinin uzatılmasına, devir ve intikallerine, çevreyle uyum bedeli iadelerine ilişkin müracaatlarda 6183 sayılı Kanunun 22/A bendi kapsamında vadesi geçmiş borcunun bulunmaması şartı aranılmasına devam edilecektir.

Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğünde yıl içinde yapılan işlemlerin büyük bir kısmının ruhsatların verilmesi, birleştirilmesi, temdit ve de devrine ilişkin olduğu ve bu işlemlerde vadesi geçmiş borç durumunu gösterir belge şartının aranmaya devam edeceği göz önüne alındığında yapılan değişikliğin maden ruhsat sahiplerini rahatlatacak radikal ve köklü bir değişiklik olarak kabulü mümkün değildir.

2 - Maden Kanununda yapılan diğer bir düzenleme, ruhsat süre uzatımlarında altı ay olan önceden başvuru şartının on iki aya çıkarılması ve idari para cezası getirilmesidir. 7257 sayılı Kanunun 3. maddesi ile Maden Kanununun 24. maddesinin 2. fıkrasının 1. cümlesinde yer alan altı ay ibaresi on iki olarak değiştirilmiş ve madde de; “Ruhsatların süre uzatım taleplerinde; ruhsat süresinin bitiş tarihinden en geç on iki ay öncesine kadar, Genel Müdürlüğün bütçesine gelir kaydedilmek üzere işletme ruhsat taban bedeli yatırılarak, yetkilendirilmiş tüzel kişilerce maden mühendisinin sorumluluğunda hazırlanmış işletme projesi ve aktif edilmiş tebligata esas kayıtlı elektronik posta adresinin (KEP) veya kurumsal elektronik tebligat sistemi (e-Tebligat) adresinin ruhsat sahibi tarafından Genel

Müdürlüğe verilmesi zorunludur. Bu yükümlülüğe uymayan ruhsat sahiplerine 100.000 Türk lirası idari para cezası uygulanır ve ruhsat süresinin bitiş tarihinden en geç altı ay öncesine kadar da belirtilen yükümlülükleri yerine getirmeyen ruhsat sahiplerinin talepleri reddedilerek ruhsatları süresi sonunda iptal edilerek ilgili saha ihalelik saha konumuna getirilerek ihale yolu ile ruhsatlandırılır.” şeklinde bir değişime gidilmiştir.

Değişiklikten önce altı aylık temdit başvuru şartı yerine getirilmez ise ruhsat iptal edilip, ruhsat sahası doğrudan ihale yolu ile ruhsatlandırılmaktaydı. 7257 sayılı Kanunun 3. maddesinde artık ruhsat süresinin bitiş tarihinden itibaren on iki ay öncesinden temdit başvurusunda bulunma şartı getirilmiştir. Ruhsat sahibi söz konusu başvuru yükümlülüğünü yerine getirmemezse 100.000 TL idari para cezası ödemek zorunda kalacaktır. Dolayısıyla on iki aylık periyodun ilk altı ayı için ruhsat iptali yerine para cezası getirilmiş ancak ruhsatın bitiminden önce son altı ay öncesine kadar 24. maddesinin 1. fıkrasına belirtilen yükümlülüklerin yerine getirilmemesi halinde ruhsat uzatım talepleri Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü tarafından reddedilerek ruhsat iptal edilecek ve saha ihale yolu ile ruhsatlandırılacaktır.

Bu düzenlemenin maalesef halihazırdaki maden ruhsat sahipleri lehine yeni bir iyileştirme olduğundan söz edilememektedir. Bu düzenleme ile 12 ay öncesinden temdit başvurusu yerine getirilmez ise 100.000.-TL idari para cezası tahakkuk ettirilip bu şekilde ruhsat sahiplerinin uyarılması ve temdit süresini kaçırmalarının önlenmesi amaçlanmış ise de aynı amaca Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü tarafından, temdit süresi ile ilgili olarak, bir uyarı yazısı yazılması yönünde kanuni düzenleme yapılarak da aslında ulaşılabilirdi.

3 - Ruhsat Bedelinin Ödenmemesi Halinde 6183 Sayılı Kanun’un 51. maddesine göre

gecikme faizi uygulanması getirilmiştir. Ruhsat bedellerinin vadesinde ödenmemesi durumunda uygulanacak yaptırımları öngören Maden Kanununun 13. maddesinde yer alan “Ruhsat bedelinin her yıl ocak ayının sonuna kadar tamamının yatırılmaması hâlinde yatırılmayan kısmının iki katı ruhsat bedeli olarak her yıl haziran ayının son gününe kadar yatırılması zorunludur, aksi halde ruhsat iptal edilir.” hükmü 7257 sayılı Kanun’un 2. maddesinin son cümlesi ile “*Ruhsat bedelinin tamamının ocak ayının sonuna kadar yatırılmaması halinde yatırılmayan kısmın o yıl haziran ayının son gününe kadar hesaplanacak aylık 6183 sayılı Kanun’un 51. maddesine göre hesaplanacak gecikme zammı oranında artırılarak ruhsat bedeli olarak yatırılması zorunludur, aksi halde ruhsat iptal edilir*” şekline değiştirilmiştir. 30 Aralık 2019 tarihli ve 30994 sayılı Resmi Gazete’de “6183 Sayılı Amme Alacaklarının Tahsil Usulü Hakkında Kanunun 51 inci Maddesinin Birinci Fıkrasında Yer Alan Gecikme Zammı Oranının, Her Ay İçin Ayrı Ayrı Uygulanmak Üzere %1,6 Olarak Belirlenmesi Hakkında Karar (Karar Sayısı: 1950)” yayımlanmıştır.

Böylece 6183 sayılı Kanun’un 51.maddesinde öngörülen gecikme faizi 2020 yılı için aylık %1,6 olarak uygulanmaktadır. 6183 sayılı Kanun’a göre uygulanacak faiz oranı ekonomik şartlara bağlı olarak artırılmaktadır. Bir kamu alacağı olan ruhsat bedelinin diğer kamu alacaklarıyla aynı gecikme faizi rejimine tabi kılınması isabetli olmuştur. Zira önceki halinde ocak ayı sonuna kadar ödenmeyen ruhsat bedelinin iki katına çıkması, çok ağır bir yaptırım idi.

4 – Kanun değişikliği ile 3213 sayılı Kanunun ek 1 inci maddesinin üçüncü fıkrasına sekizinci cümlesinden sonra gelmek üzere; “*Bu ruhsat sahalarında, devralanın kurulu işletme kapasitesi veya şerh edilen sözleşmedeki kapasiteyi aşmayacağı yönünde vereceği taahhüde istinaden, ilgili alan için tanınan muafiyetler ve bu Kanunun 7 inci maddesine istinaden alınmış*

bütün izinler devredilen ruhsatlarda da aynen korunur.” cümlesi eklenmiştir.

Halen kamu kurum ve kuruluşları ile yapılan rödovans sözleşmesi çerçevesinde çalışan tüm sahalar ya kendisine tanınan muafiyetlerle ya da Maden Kanunu’nun 7’nci maddesi kapsamında tüm izinlerini alarak faaliyetlerini sürdürmektedir.

Kanun maddesinde yapılan değişiklik ile; devralanın kurulu işletme kapasitesi veya şerh edilen sözleşmedeki kapasiteyi aşmayacağı yönünde vereceği taahhüde istinaden, bu sahalarda ruhsatların devrinin gerçekleşmesi nedeniyle daha önce tanınmış muafiyetler ve alınmış izinler ile işyeri açma ve çalışma ruhsatlarının, çalışmaların sekteye uğratılmadan devam ettirilebilmesi için devredilen ruhsatlarda da aynen korunması sağlanmıştır.

5 - Vergi Kanunları ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması Hakkında 7103 Sayılı Kanun 27.03.2018 tarih ve 30373 sayılı Resmî Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu Kanununun 33. maddesi ile Maden Kanunu’na Ek-15. madde 27.03.2018 tarihinde eklenmiştir. 3213 sayılı Maden Kanununun Ek-15. maddesinde; “*Bu Kanun kapsamında işletme izni veya Genel Müdürlükçe izin verilmiş rödovans sözleşmesi olmaksızın mücavirdeki sahalara taşmalar hariç olmak üzere, maden ocağı açılması, maden üretilmesi veya faaliyetleri durdurulmuş maden sahalarında üretim faaliyetlerinin durdurulmasına sebep olan durumların düzeltilmesi ve/veya işletme güvenliğine yönelik faaliyetlerin dışında üretim faaliyetinde bulunulması filleri işleyenlere üç yıldan beş yıla kadar hapis ve yirmi bin güne kadar adli para cezası verilir. Bu suçlardan hüküm giyenler, infazın tamamlanmasından itibaren on yıl boyunca madencilik faaliyeti yapamazlar.*” hükmü yer almaktadır. 7257 sayılı Kanun’un 5. maddesi ile 3213 sayılı Kanunun ek 15 inci maddesinin birinci fıkrasında yer alan “mücavirindeki sahalara” ibaresi “işletme izin

alanı dışındaki mücavir sahalara yirmi metreye kadar” şeklinde değiştirilmiştir.

Böylece bu Kanun cümlesi; “*Bu Kanun kapsamında işletme izni veya Genel Müdürlükçe izin verilmiş rüdevans sözleşmesi olmaksızın işletme izni alanı dışındaki mücavir sahalara yirmi metreye kadar taşmalar hariç olmak üzere, maden ocağı açılması, maden üretilmesi veya faaliyetleri durdurulmuş maden sahalarında üretim faaliyetlerinin durdurulmasına sebep olan durumların düzeltilmesi ve/veya işletme güvenliğine yönelik faaliyetlerin dışında üretim faaliyetinde bulunulması fiillerini işleyenlere üç yıldan beş yıla kadar hapis ve yirmi bin güne kadar adli para cezası verilir. Bu suçlardan hüküm giyenler, infazın tamamlanmasından itibaren on yıl boyunca madencilik faaliyeti yapamazlar*” şekline dönüşmüştür. Bu durumda işletme ruhsat sahasına bitişik işletme izin sahası sınırından itibaren yirmi metreye kadar komşu veya mücavir diğer maden sahalarına taşma halinde ceza verilmeyecektir, denmesi maalesef yasa dışı davranmaya müsaade edildiği anlamına gelebilmektedir. İşletme izin alanı dışındaki mücavir sahalara 20 metreye kadar taşmaya izin verilmiş ise de 20 metrenin neye göre belirlendiği de açık değildir.

DÜNYADA ve TÜRKİYE’DE SÜSTAŞLARI-NIN (MÜCEVHER TAŞLARININ) KİMLİK-LENDİRİLMESİNİN ÖNEMİ

Günümüz gelişen teknolojiye paralel olarak, gemoloji branşlarındaki çalışmalarının laboratuvar kabiliyetleri ve uygulamaları göstermiştir ki; Türkiye’nin bu sahadaki bilimsel çalışmalarının, imkân ve oluşan uzmanlıklarının, mücevher sektörünün ve tüketici hakları bakımından adalet mekanizmasının ihtiyaçlarına cevap verebilir bir bilimsel düzeylerde olduğu görülmektedir.

En büyük tespit edilen ihtiyaçlardan birisi, üniversiteler, ticaret ve sanayi odaları, özel ayar evleri, resmi ve özel bilim teknoloji uygulama ve araştırma kurumları ve özel sektörün diğer

kısımları bünyesinde Adli-Gemoloji alanları oluşturulmalıdır (Hatipoğlu, 2023). Ulaşılması gereken nihayi hedef, norm ve bu normları oluşturacak sistemdir. Bu hedefe;

* Bilimsel olarak; ileri teknolojiye sahip aletlerin kullanıldığı laboratuvarlar ve bu laboratuvarlarda çalışacak uzmanlığa sahip teknik elemanlar (gemolog, kimyager...),

* Yöntem olarak; Sektörün ve piyasanın bütün paydaşlarının konulmuş olan normlara ulaşmada bütüncül bir sistem fikri içerisinde yöntem, hukuk ve kurumsallık tanımlarının yapılması ulaşılması gereken en önemli hedefler olmalıdır.

Gemolojik sertifika, yöntem tanımlamasında taşın kimlik belgesi olarak yer alacakken mevzuat tanımlamasında ise sertifika formatı; dosya teslim tutanağında delil tanımlama evrakı olarak bilirkişinin ihtiyacı olan diğer bilgilere de havi olarak hizmet edebilecektir.

Süstaşları-mücevher taşları ve mücevherlerde ayıplı ürünlerin ayırt edilmesinin hukuksal yönden tanımlanması ve fiziko-kimyasal incelemesi genel sıradan bir gemolojik laboratuvar incelemesi yerine, ayrı bir dal olarak Adli Bilimler içerisine dahil edilmesi gerekir. Adli Bilimler kurumsallığının içinde ileri teknolojiye sahip cihazların yer aldığı gemoloji laboratuvarları oluşturulmalı ve bu laboratuvarlarda görev yapacak yetkin uzman kadrolar akademik kurumlara açılarak entegrasyon sağlanmalıdır.

Süstaşlarının analizinde Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğünce yetki verilecek gemoloji laboratuvarlarının standartları, seçimi ve denetimi esaslarının belirlenmesi elzemdir.

Bir teknik laboratuvarın isabetli karar vermesi hem adaletin tecellisi hem de tüketici haklarının korunması için çok önemlidir. Doğru yani isabetli karar verme bir kıymetli taşın özelliklerini tespit etmede en modern cihazların kullanılması ile mümkün olmaktadır. Bu cihazların avantajı insan hatasını yok ederek bir mineralin gerçek kimliğini ortaya çıkartmak ve varsa ayıplı kısımlarını ifşa

etmek için gereklidir. Çünkü kıymetli taş demek sadece pırlanta kesilmiş elmas demek değildir. Laboratuvara getirilen her türlü ham ve işlenmiş taşın en doğru bir şekilde tanımlamak ve bunun topraktan mı yoksa laboratuvarından mı çıkmış olduğunu belirlemek ve de üzerinde renk ve saflık tedavilerinin yapıp yapılmadığını tespit etmek, hizmetin en temel zorunluluğudur. Yoksa bu laboratuvarın işlevselliği anlamsız hale gelir.

Çok yüksek meblağlara sahip mücevherleri (kıymetli taşlar ve soy metalden oluşan) sigorta ettirmek, sahibi olduğunuz ya da miras kalan değerli taşların değerini öğrenmek istendiğinde, laboratuvarlarda ekspertiz raporu hazırlanmaktadır. Nadide mücevherlerin ve/veya takıların değerinin belirlenebileceği fotoğraflı veya fotoğrafsız ekspertiz raporları, kişilerin evine hırsız girdiğinde ya da otellerde bu mücevherler çalındığında polise ya da sigorta şirketlerine ibraz edilmek üzere özel sertifikalar olarak hizmet etmelidirler. Çünkü hem değerli taşların hem de takı ve ziynet eşyalarının kıymetleri zamanla değişebilmektedir. Bu yüzden, her 10 yılda bir değer tespitinin yaptırılması doğru olacaktır: Bazı mücevher ve benzeri eşyalar klasiktir, değerini hiç kaybetmez, bazıları ise zamanla değerini yitirir. Eğer bu ürünlerin güncel piyasa değerini öğrenmek, ya da kaybedildiğinde bir ekspertiz raporunun yerine yenisini almak istendiğinde, bir gemoloji laboratuvarından mutlaka yardım alınması gerekmektedir. Bu yüzden aslında gemoloji laboratuvarlarındaki hizmetler aşağıdaki gibi olmalıdır; 1) Tereke Hakimliğine ibraz edilmek üzere ziynet değer tespit raporu hazırlayabilmeli. 2) Miras kalan mücevher ve ziynetlerin değer tespiti ve bu tespit listelerini ve ekspertiz raporlarını hazırlayabilmeli. 3) Miras bırakılan mücevherlerin satımı için teklif hazırlayabilmeli. 4) Müzelerde ve/veya ören yerlerinde bulunan ar-gem-ma’ların (arkeo gemolojisel materyallerin), materyal tespitlerinin yapılarak envanterlenmesini sağlayabilmeli. 5) Kaçak olarak yakalanan ar-gem-ma’ların materyal ve işleniş tespitlerinin

yapılarak, bunların gerçekten antik dönemden mi kalma yoksa güncel taklit ürünler mi olup olmadıklarının tespit edilerek, adaletin tecellisi için mahkeme davalarında bilirkişi raporu hazırlayabilmeli. 6) Çıplak renkli taşlarla birlikte pırlanta ve fantazi kesim elmasların değer tespitini yapabilmeli. 7) Parti malları halinde yakalanan kaçakçılık davalarında montürsüz renkli taşlarla birlikte pırlanta ve diğer kesim elmasların tek CIF değerlerinin tespitini yaparak, bilirkişi raporu hazırlayabilmeli. 8) Tüketici Mahkemelerinde satıcı ve alıcı arasındaki mücevher ticaretinde satılan ürünün AYIPLI MAL olup olmadığı konusunda, bilirkişi raporu hazırlayabilmeli.

Görüldüğü üzere aslında gemoloji laboratuvarlarının bilimsel ve yetkin incelemeleri adaletin birçok aşamasında büyük ihtiyaç göstermektedir. Bu durumda tarafsız ve hiçbir ticari gaye gütmeyen bilimsel kuruluşların olması ve çoğalması ülkemiz için elzem ve gereklidir.

Aslında ziynet takı (sadece soy metalden oluşan) ve mücevher (süstaşları ve soy metalden oluşan) insan yaşamının temel ihtiyaçlardan sonra en çok kullanım tercihinde bulundukları ürünlerdir. Çünkü insanın doğumunda takılmaya başlayan takı daha sonra sünnet, nişan, evlenme törenlerinde zirveye çıkıp daha sonra da her güzel ve özel günlerde süslenme, sosyal statüyü gösterme ve en nihayetinde tasarruf ile birikimleri koruma şeklinde kullanım bulan bir emtiadır. Arkeo-gemolojik buluntular insanların kullandığı ilk boncuk takıların yaklaşık 30.000 yıl evveline kadar uzandığını göstermiştir (Rapp, 2009; Hatipoğlu, 2020). O halde bu sektör, insanın dünyadan yok olana kadar süreceği bir sektör olup, tüm Türkiye’de hatta tüm Dünyada ayakta kalması ve rekabet gücünü koruyarak istihdam yaratması sürdürülebilir her kalkınma modelinde bulunması zorunlu haldedir. Bu sektörün iş hacmi yıllık 250 milyar Dolar civarındadır. Türkiye mücevher imalatında Osmanlı’dan gelen önemli bir imalat ve ticaret geçmişi ile zengin bir potansiyeli de bulunmaktadır.

Şu an Türkiye'deki mücevher sektöründe toptan ve perakende satış yapan işletmelerde en önemli sorun, sahteciliğin yaygınlaşmasıdır. Bu durum özellikle imalat yapan esnafın nerdeyse yok olmaya başlamasıdır. Bu durumun belki birçok sebebi olmakla beraber, en göze batanı, sahte taşların piyasaya yığınca girmesi sonucu bunların takıldığı mücevherlerin tüketici tarafından artık satın alınmaz olması sonucu, esnafın kendi kendilerini tüketmeleridir. Şu Türkiye çapında tüm il ve ilçelerdeki çarşı esnafları iş zayıflığı yüzünden kan ağlamaktadır. Birçok işletme siftahsız gün geçirmektedir. Bazı aylarda özellikle düğün sezonlarında mücevher ticaretinde biraz hareketlenme olmasa, esnaf tümünden bu sektörü bırakıp gidecektir. Hatta şimdiden şirket olan kuyumcu/sarraf esnafının resmi ticari unvanına baksanız kuyumculuk yanında, inşaat, komisyonculuk, galericilik vb başka sektörlerin işgalini de yaptıkları görülecektir. Sonuçta esnafın büyük kısmı birleşerek meslek odası yöneticilerinden şunu talepte bulunmaktadır; biz kendi içimizde bir denetim mekanizması geliştiremezsek, gerçek ürünler ile sahte ürünler satan işletmeler arasındaki haksız rekabeti önleyemeyiz. Bu durum piyasada bir sahipsizliğin varlığını göstermektedir, eğer merkezi bir test merkezi kurulur da, satılan sahte ürünler ifşa edebilirse, mücevher piyasasına bir güven gelir. Gerçek anlamda dürüst esnaf işyerine sermaye artışı sağlar, bu da hem istihdamı artırır hem de karlılığımız çoğalacağından başka işler yapma zorunluluğumuz ortadan kalkar.

Kurulacak gemoloji test merkezlerinin laboratuvarlarında ki süstaşları-mücevher taşı sertifikasyon hizmetinin karşılığı olarak, Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü'ne sürekli ve önemli miktarda parasal kaynak akışı sağlanacaktır. Böylece Darphane hem denetleme görevini tam ve bilimsel anlamda yapmış olacak hem de üyelerine yönelik hizmetlerde önemli bir bütçesi oluşacaktır.

Hedef kitle olan ticari faaliyeti giderek azalmasından dolayı rekabet gücü daralmış olan tüm Türkiye'deki Kuyumcu/sarraf esnaflarının hem elinde bulunan hem de satmak üzere ithalatçılardan yeni ürün olarak ve/veya vatandaşlardan kullanılmış ürün olarak alacağı süstaşlarının ayıplı olup olmadığı konusunda öncülük yapacaktır.

Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü kurduğu MOZAIK denilen dijital olarak tüm Türkiye çapındaki ayar evlerini izleme veri tabanı içerisinde sertifikasyon hizmeti verebilecektir. Bundan en iyi yararlanıcı kesim, tüm Türkiye'deki kuyumcu/sarraf esnaflarından mücevher alan vatandaşlar olacaktır. Bu kişiler aldıkları takılardaki süstaşlarının ayıplı olup olmadıkları konusunda eğer şüphe duyarlarsa, Tüketici Mahkemelerine gitmeden önce, danışmanlık ve sertifika hizmetini kurulacak bu merkezden alabileceklerdir.

Diğer yandan, Kuyumculuk Meslek Lisesi ile Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Meslek Yüksekokulu ve Fakülteleri öğrencileri de okulları dışında bu laboratuvarıda staj görerek en modern cihazlarla uygulama bilgilerini artıracaklardır.

Uzun vade de ise sertifikasyon yaptıkları süstaşlarının sayılarının artması ile bu merkez edineceği tecrübe sayesinde büyük ölçekte bölgesel bir araştırma ve uygulama merkezi haline gelerek, ileri bir teknoloji laboratuvarı olarak bilim insanlarına hizmet verebilecektir.

Mineraloji/Gemoloji Test Laboratuvarı Tanımlaması; Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü tarafından ham ve/veya işlenmiş süstaşlarını kimliklendirmeye, nitelikleri ile cins-tür ve mineralojik-gemolojik ve jeokimyasal özelliklerini belirlemeye ve bunun sonunca ham taş raporu ile elmas veya renkli taş veya inci tanımlama ve derecelendirme sertifikası/raporu düzenlemeye yetkilendirilmiş gerçek ya da tüzel kişiliğe sahip bir laboratuvarıdır.

Mineralojik/gemolojik açıdan test edilebilecek materyaller; **Ham Süstaşları:** Doğada bulunmuş göz alıcı, nadir, makroskopik boyutlarda olan ve işlemeye (şekillendirmeye ve cilalamaya) uygun mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzeme türü malzemelerdir. **İşlenmiş Süstaşları (mücevher-takı taşları):** Doğada bulunmuş veya laboratuvarında birebir imal edilmiş albenisi olan, ender bulunan, makroskopik boyutlarda olan ve işlemeye (şekillendirmeye ve cilalamaya) uygun, faset, kabaşon, tambur vb lapidari yöntemleri ile işlenmiş ve cilalanmış mineral (örn. Elmas, korundum, krizoberil, topaz, beril, kuvars, turmalin, spodümen, olivin, vb mineral grupları ve alt türleri), kayaç (örn. Lapis lazulli, obsidyen, lisfenit, mor jade vb kaya türleri) ve taşlaşmış organik malzeme (örn. İnci, mercan, amber, taşlaşmış ağaç, fildişi, sedef, oltutaşı, fosiller vb türler) türü malzemelerdir.

Mineraloji/gemolojitestlaboratuvarlarının branş sınıflamaları şöyle olmalıdır; Kıymetli taşlar (Süstaşları-mücevher taşları) yukarıda açıklandığı üzere tek bir materyal kökeninden oluşmadıkları için, bunların incelenmesi ve ekspertiz (uzman incelemesi) raporlanması da 3 farklı kategoride yapılmak zorundadır. Bu yüzden Kıymetli Taş Özel Laboratuvar (*Ayarevi kelimesi burada anlamsız bir kelime olduğundan laboratuvar olarak değiştirilmesi gerekir*) Yetki Belgesi almak isteyenlerin, yeterlilik diplomaları (eğitim yetileri) esas alınmak üzere 3 farklı süstaşı-mücevher taşı cinsini incelemek için ya bunlardan sadece birisini veya birden fazlasını almak üzere müracaat etmeleri ve hak edişleri doğrultusunda yetkilendirilmeleri gerekmektedir. Başka bir deyişle sadece ELMAS derecelendirmesi ve fiyatlandırması konusunda eğitim almış bir laboratuvar sorumlusunun RENKLİ TAŞLAR ve/veya ORGANİK TAŞLAR konusunda ekspertiz raporu hazırlaması bilimsel ve etik bakımdan geçersizdir. Çünkü bu 3 grup süstaşı-mücevher taşının da inceleme kriterleri ve inceleme cihazları ortak olanlar yanında büyük

farklılıklar gösterenlerin bulunmasıdır. Yani bir örnek verecek olursak, standart refraktometre cihazı sadece faset işlenmiş renkli süstaşlarının kırılma indisleri ve optik karakterlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu cihazla ne elması ne de taşlaşmış opak organik malzemeleri test etmeniz mümkün değildir. Bu durum, bir doktorun stetoskop (kalp ve ciğer dinleme cihazı) ile kulak içini muayene etmesi gibi absürt bir inceleme şekline benzer. Ayrıca bu üç farklı taş incelemesinde yetki belgesi alacak kişilerin bilimsel yeterlilikleri ve aletsel donanımları, Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü bünyesinde oluşturulacak bir BİLİMSEL DANIŞMA KURULU’nca değerlendirilmeli ve bu bilimsel danışma kurulunun vereceği rapor doğrultusunda olmalıdır.

Mineraloji/gemolojitestlaboratuvarlarının branş teknik kapasiteleri olarak; Yukarıda bahsedilen 3 farklı branş analiz laboratuvarları için önerilen asgari ve ileri teknik kapasite aşağıda tablo halinde verilmiştir. Burada söz konusu incelemenin esasları temelde şu sorulara cevap verebilecek nitelik ve nicelikte olmalıdır;

- İncelenen kıymetli taşın MATERYAL TESPİTİ ve BİLİMSEL ADLANDIRMASI
- İncelenen kıymetli taşın DOĞAL mı olduğu yoksa LABORATUVARDAMI üretildiği
- İncelenen kıymetli taşın sonradan RENK ve BERRAKLIK kadrini değiştirmek için herhangi bir tedaviye maruz bırakılıp bırakılmadığı.

Bir diğer husus, gemolojik incelemelerde kullanılması gereken bazı tahripsiz yöntem ve cihazların gruplamasıdır. Bu gruplama;

- SPEKTROSKOPİK yöntemler ve bunlara dayalı cihazları kullanma
- MİKROSKOPİK yöntemler ve bunlara dayalı cihazları kullanma
- MEKANİK ve IŞIK ile ilgili yöntemler ve bunlara dayalı cihazları kullanma

d) SERTİFİKA YAZIMINA ilişkin KART BASIM makineleri kullanma

Mineraloji/gemoloji test laboratuvarlarının verebileceği raporlar şu şekildedir; Ham Süstaşı-Mücevher Taşı Raporu: Yetkilendirilmiş özel ayar evi statüsündeki gemoloji laboratuvarı tarafından ham haldeki bir süstaşı-mücevher taşına materyal cinsini-türünü, jeokimyasal, mineralojik-gemolojik özelliklerini ve gemolojik değerinin olup olmadığının belirlendiği analiz sonucuna göre düzenlenen rapordur. **Elmas Sertifika Raporu:** Yetkilendirilmiş özel ayar evi statüsündeki gemoloji laboratuvarı tarafından işlenmiş haldeki bir elmas taşına malzeme cinsini-türünü (doğal-yapay-taklit), mineralojik-gemolojik temel özelliklerini, renk ve saflık tedavisi görüp görmediği ve temel fiyat kriterlerini belirleyen (4C) özelliklerinin derecelendirildiği gemolojik değerini belirleyen özelliklerinin analiz sonucuna göre düzenlenen sertifika rapordur. **Renkli Taş Sertifika Raporu:** Yetkilendirilmiş özel ayar evi statüsündeki gemoloji laboratuvarı tarafından işlenmiş haldeki tüm renkli taşların malzeme cinsini-türünü (doğal-yapay-taklit), jeokimyasal, mineralojik-gemolojik temel özelliklerini, renk ve saflık tedavisi görüp görmediği ve temel fiyat kriterlerini belirleyen (4C) özelliklerinin derecelendirildiği gemolojik değerini belirleyen özelliklerinin analiz sonucuna göre düzenlenen sertifika rapordur. **İnci Sertifika Raporu:** Yetkilendirilmiş özel ayar evi statüsündeki gemoloji laboratuvarı tarafından incilerin malzeme cinsini-türünü (doğal-besi-taklit), jeokimyasal, mineralojik-gemolojik temel özelliklerini ve diğer gemolojik değerini belirleyen özelliklerinin analiz sonucuna göre düzenlenen sertifika rapordur.

Mineraloji/gemoloji test laboratuvarlarının yetkilendirilmeleri hâlihazırda aşağıdaki prosedüre göre yapılmaktadır; (1) Bir gemoloji test laboratuvarının Türkiye’de faaliyette bulunulabilmesi için, Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü’nden bu konuda yetki belgesi alması. (2) Gemoloji test laboratuvarı

yetki belgesi başvurusu, talep yazı ile birlikte ilgili ticaret sicili müdürlüğü tarafından düzenlenen ticaret sicili tasdiknamesi (üniversiteler ve resmi kurumlar hariç), meslek odası kaydı (üniversiteler ve resmi kurumlar hariç), vergi kaydı, teknik personele ait SGK kaydı ve mezuniyet (diploma) bilgileri ile temsil ve ilzama yetkili kişi ya da kişilerin adli sicil kaydına (üniversiteler ve resmi kurumlar hariç) ilişkin yazılı beyanlarının sunulması suretiyle Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğüne yapılması gerekir. (3) Başvuru belgeleri üzerinden ön inceleme yapılır. Laboratuvarın yeterli kriterlerini taşıyıp taşımadığı hususları görevlendirilen heyet tarafından yerinde incelenir. Ham ve/veya işlenmiş süstaşlarının mineralojik-gemolojik ve jeokimyasal analizini gerçekleştirmek üzere yetki belgesi alma talebinde bulunan laboratuvarın, Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü tarafından cinsi-türü bilinen ham ve/veya işlenmiş bazı önemli ve çok bilinen süstaşı-mücevher taşı numuneleri kullandırılarak yaptırılan analizde başarılı olup olmadığı değerlendirilmek zorundadır. (4) Heyet, değerlendirmesini tamamladıktan sonra raporunu Genel Müdürlük Makamına sunar. Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlük Makamının onayını takiben gemoloji laboratuvarı yetki belgesi düzenlenmelidir. (5) Yapılan incelemede yeterli kıstaslarını karşılayamayan veya yaptığı örnek analizde başarısız olanların talepleri reddedilir. Gemoloji test laboratuvarı yetki belgesi talebi ret edilenler 3 ay geçmedikçe yeniden müracaatta bulunamazlar. (6) Gemoloji test laboratuvarı, gemolojik işleme (lapidary) atölyesi olarak çalışamaz, sadece ham haldeki süstaşı-mücevher taşı olabilecek mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzeme türü maden/malzeme numuneleri ile belirli işleme (lapidari) yöntemleriyle kesilmiş ve cilalanmış (mamul hale getirilmiş) süstaşı-mücevher taşı olabilecek mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzeme türü mücevher-takı numuneleri için yetkilendirilebilir. Bununla beraber ham haldeki süstaşı-mücevher taşı olabilecek mineral, kayaç ve taşlaşmış organik

malzeme türü maden/malzeme numunelerinin bilimsel tanımlama raporlarını vermeye, bu konuda laboratuvar alt yapısına sahip sadece üniversite veya resmi madencilik kuruluşları yetkilendirilmelidir. (7) Yetki verilen gemoloji laboratuvarları, Gümrükler Genel Müdürlüğüne bildirilir. Ayrıca, Genel Müdürlüğün internet sitesinde; yetki verilen gemoloji laboratuvarları listesi yayımlanmalıdır.

Laboratuvarların yetki belgesinin geçerlilik süresi ve vize işlemleri; (1) Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü tarafından verilen laboratuvar yetki belgeleri iki yıl süre ile geçerlidir. Bu süre sonunda talep edilmesi ve yeterlik kıstaslarını taşıdığı tespit edilmesi kaydıyla ilgili yetki belgeleri tekrar vizelendirilmektedir. (2) Laboratuvar yetki belgesi bulunmayanlar, vize edilmeyen veya iptal edilenler laboratuvarlar, resmi faaliyette bulunmamaları gerekir. (3) Şube açma, laboratuvar devri ve unvan değişikliği talepleri izne tabidir. Şube açma, laboratuvar devri ve unvan değişikliğine ilişkin talepler, laboratuvar yetki belgesi başvurusu gibi değerlendirilerek Genel Müdürlük tarafından sonuçlandırılmalıdır. (4) Laboratuvarlardaki teknik personel değişikliği ve tesis yeri değişikliği gibi hususlar 15 iş günü içerisinde Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğüne bildirilmelidir.

Mineraloji/gemoloji test laboratuvarlarının yeterlilik kıstasları şunlardır;

İDARİ AÇIDAN

(1) Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğüne yetki verilecek laboratuvarlar; tesis yeri ve alanı, tesis bölümleri, laboratuvar ve teknik personel ile güvenlik gibi fiziki ve teknik yeterlik kıstaslarını sağlaması gerekir. (2) Fiziki yeterlilik bakımından da; Tesis yeri ve alanı, aynı zemin üzerinde bölümlendirilebilecek ve tesis bölümlerine yetecek büyüklükte kapalı alana sahip olmalıdır. (3) Tesis bölümleri, bu maddede belirtilen asgari donanımı barındıracak yeterli

alana sahip bir laboratuvar, müşteri ilişkilerinin yürütüleceği, telefon, faks ve bilgisayar gibi iletişim araçlarının yer aldığı, mal giriş ve çıkışının bilgisayar ortamında yapıldığı ve izlendiği irtibat ofisi ile kıymetli soy metallerin ve süstaşlarının muhafaza edildiği, yanmaz kasanın bulunduğu bölümden oluşması gerekir. (4) Bir laboratuvar gerekli her türlü fiziki ve kaydı güvenlik önlemlerini almak zorundadır. Bu güvenlik önlemleri; personel, kamera kayıt sistemi, müşterek muhafaza gibi zorunlu güvenlik unsurları ile desteklenmelidir.

TEKNİK AÇIDAN (Ham Süstaşları için)

(1) **Spektroskopik cihazlar;** a) Mikro-Raman (μR) mineral tanımlama analiz cihazı (sabit ve/veya taşınabilir) (zorunlu). b) X-Işınları flüoresans (XRF) katılar için major ve minor elementler analiz cihazı (sabit ve/veya taşınabilir) (ihtiyari). c) X-Işınları saçınım (XRD) mineral analiz cihazı (sabit ve/veya taşınabilir) (ihtiyari).

(2) **Mikroskopik-optik dijital cihazlar;** a) Gemoloji mikroskobu. b) İmmersiyonoskop. c) Polariskop. ç) Ultraviyole (L-UV ve S-UV dalga boylarında) lamba (sadece ham elmas ve renkli taşlar tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). d) Hassas-dijital terazi (2 haneli 1/100). e) Lup (x10) büyütmeli. f) Işıklı kamera (x1.000 büyütmeli, bilgisayar bağlantılı).

(3) **Mekanik cihazlar-aletler;** a) Özgül ağırlık ölçme seti (hidrostatik terazi). b) Kuvvetli mıknatıs.

(4) **Kimyasal sıvılar;** Asitler ve bazlar.

TEKNİK AÇIDAN (İşlenmiş Süstaşları için)

(1) **Spektroskopik cihazlar;** a) Mikro-Raman (μR) mineral tanımlama cihazı (sabit veya taşınabilir) (elmas, renkli taşlar ve inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için) (zorunlu). b) Fourier Transform Infrared (FT-IR) mineral tanımlama

cihazı (drift ve yüzey yansıtmalı) (sadece elmas ve renkli taşlar tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için) (zorunlu). c) X-Işınları flüoresans (XRF) katılar için majör ve minör elementler analiz cihazı (sabit ve/veya taşınabilir) (ihtiyari)

(2) Mikroskopik-Optik Dijital Cihazlar;

a) Gemoloji mikroskobu (elmas, renkli taşlar ve inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). b) İmmersiyonoskop (sadece elmas ve renkli taşlar tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). c) Refraktometre (standart 1,3-1,8 aralıklı) (sadece elmas ve renkli taşlar tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). ç) Ultraviyole (L-UV ve S-UV dalga boylarında) lamba (sadece elmas ve renkli taşlar tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). d) Polariscope (sadece elmas, renkli taşlar ve inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). e) Hassas-dijital terazi (3 haneli 1/1.000) (elmas, renkli taşlar ve inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). f) Masa aydınlatması (6500 K gün ışığı) (elmas, renkli taşlar ve inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). g) Lup (x10) büyütme (elmas, renkli taşlar ve inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). h) Işıklı kamera (x1.000 büyütme, bilgisayar bağlantılı) (elmas, renkli taşlar ve inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). ı) Elmas orantı merceği (proporsiyonoskop merceği veya Hennaman gözü) (sadece elmas derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için).

(3) Mekanik cihazlar-aletler; a) Özgül ağırlık ölçme seti (hidrostatik terazi) (elmas, renkli taşlar ve inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). b) Hassas (dijital) taş kumpası (elmas, renkli taşlar ve

inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). c) Taş tutucu metal çiftler (klasik, kilitli ve pençe) (elmas, renkli taşlar ve inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). ç) Kuvvetli mıknatıs (sadece elmas derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). d) Elmas renk derecelendirme kâğıdı (renksiz elmaslar için 45 derece beyaz karton) (sadece elmas derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). e) Elmas renk kıyaslama referans seti (renksiz pırlanta kesilmiş CZ taşlardan) (sadece elmas tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). f) Renkli taşlar renk kıyaslama referans kataloğu (Munsell renk kataloğu) (sadece renkli taşlar tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için). g) İnci renk kıyaslama referans kataloğu (Munsell renk kataloğu) (sadece inci taşlar tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu verecek laboratuvarlar için)

(4) Kimyasal sıvılar; Asitler ve bazlar (sadece elmas ve renkli taşlar tanımlama sertifika raporu verecek laboratuvarlar için).

KDV istisnası, kıymetli taşların Borsa İstanbul Elmas ve Kıymetli Taş Piyasasında işlem görmek üzere ithali, borsaya teslimi ve borsa içinde veya ilgili mevzuatına göre borsaya bildirilmek kaydıyla borsa üyeleri arasında borsa dışında el değiştirmesini kapsamaktadır.

Borsa İstanbul bünyesinde, Elmas ve Kıymetli Taşlar Piyasası 2011 yılında kurulduktan sonra, süstaşları-mücevher taşları ile ilgili önemli sayılacak otorite niteliğindeki uluslararası kuruluşlara üyelik anlaşmaları yapmıştır. Bunlardan belki de en önemlisi, Türkiye'nin 14.08.2007 yılında kabul edildiği ancak resmi elmas piyasası kurulmadığından 2011 yılına kadar işlevsiz kalan "Kimberley Süreci Sertifika Sistemi" dir. Bu sistemin özelliği Afrika kıtasındaki çatışma bölgelerindeki kanlı elmas

üreticileri yerine legal, bölgelerin elmaslarının ticaretinin esas alınması başka bir deyişle dünya ham elmas ticaretinin kontrol altına alınmasıydı. Bu yüzden, Kimberley Süreci sisteminde legal bölgelerden geldiği belgelendirilmeyen ham elmasların ticaretine müsaade edilmemekte ve sisteme taraf olmayan ülkelere ithalat ve bu ülkelere ihracat yasaklanmaktadır. Bakanlar Kurulu Kararı ile de Borsa İstanbul, “Kimberley Süreci Sertifika Sisteminde” Türkiye’nin ithalat ve ihracat otoritesi olarak belirlenmiştir.

Bir diğeri ise, genel elmas piyasası resmi olarak kurulmamakla beraber Borsa İstanbul olarak, 13.05.2008 yılında Dünya Elmas Borsaları Federasyonuna (WFDB-World Federation of Diamond Bourses) üye olunmasıdır. Ancak piyasa oluşturulduktan sonra, 15.06.2014’de WFDB’nin elmas ticaretinin dünyada güvenli bir şekilde yapılmasını sağlayan ve elmasın güvenli olduğunu belirten Dünya Elmas İşareti (World Diamond Mark-WDM) için WFDB ile bir iyi niyet anlaşması imzalanarak, Türkiye’nin güvenli elmas işaretinin dünyada Hindistan ve Dubai ile birlikte uygulanacağı pilot ülkelere birisi olması sağlanmıştır. Bu sayede kurumsal olarak Borsa İstanbul’un; gelecekte Türkiye’de, güvenli elmas taşlarının satışının yapılacağını belirten WDM işareti taşıyan ve Yetkili Elmas Bayi (Authorized Diamond Dealer –ADD) olarak anılan elmas satış yerlerinin WDM işareti alması için referans ve yetkili kurum olması sağlanmıştır.

Elmas ve Kıymetli Taşlar Piyasasında; 1) Kimberley Süreci Sertifika Sistemine dâhil ham elmaslar ile her tür ve şekilde parlatılmış elmaslar (polished diamonds) ve 32 Sayılı Karar’da tanımlı kıymetli taşlardan (elmas, pırlanta, safir, yakut, zümrüt, akuvamarin, zebercet ve inci) ziynet ve süs eşyasına dönüştürülmemiş ham veya parlatılmış taşlar hali hazırda işlem görmektedir. 2) Beyan edilmesi halinde ziynet ve süs eşyasına dönüştürülmemiş ve fiziksel veya kimyasal işlem görmüş doğal taşlar ile ham ya da parlatılmış

sentetik kıymetli taşlar da Piyasada işlem görebilmektedir.

Elmas ve Kıymetli Taşlar Piyasasına; 1. Kıymetli Madenler Piyasası üyeleri, 2. Borsa üyesi olmadan sadece Piyasada faaliyet göstermek şartıyla yurt içinde yerleşik tüzel kişiler, 3. Borsa üyesi olmadan sadece Piyasada faaliyet göstermek şartıyla ve yalnızca kendi nam ve hesabına işlem yapmak şartıyla yurt içinde yerleşik gerçek kişiler, üye olabilirler. İlaveten, üyeler için ücret ve aidatlar da şu şekilde ayarlanmıştır; Öncelikle Kıymetli Madenler Piyasası üyeleri herhangi bir ücret ve aidat ödememektedirler. Buna karşılık, bu borsa için her yıl yeniden belirlenen yıllık bir faaliyet aidatı bulunmaktadır. Aslında bu aidat yerine 2015 yılına kadar yalnızca Elmas ve Kıymetli Taş Piyasasında faaliyet göstermek şartıyla piyasa üyeliği için başvuran yurt içinde yerleşik kuruluşlar ve yurt içinde yerleşik gerçek kişiler için sadece 2.000 TL olarak belirlenmişti. Son olarak ilk giriş üyelik ücreti dışında bu borsa için yıllık 100 ABD Dolarlık bir üyelik aidatı da bulunmaktadır.

Elmas ve Kıymetli Taşlar Piyasasında, süstaşlarının-mücevher taşlarının ticari işlemlerini yapmak için şu yöntemler belirlenmiştir; 1) Kıymetli taşların Borsada işlem görmek üzere ithal edilmesi halinde, Borsada alım satımı yönetimce zorunlu kılınmıştır. Bu işlemin taraflarının, farklı maden-süstaşı-mücevher taşı piyasalarının üyeleri olabileceği gibi bu işlemleri alıcı ve satıcı tarafın aynı olduğu kendinden kendine işlem şeklinde de yapabilmelerine olanak sağlanmıştır. 2) İthalat yoluyla gelen kıymetli taşların (süstaşların-mücevher taşların), Borsada işlem görebilmesi için Gemoloji Test Laboratuvarlarından alınacak değerlendirme raporunun (hali hazırda bu kurul gerçek anlamda işletilememekte ve bunun yerine bilimsel bir değerlendirme sistemi faaliyete geçene kadar satıcı firmalardan alınan fatura tutarı esas alınmaktadır) yanı sıra gümrük beyannamesi, fatura ve ilgili gümrük idaresine verilen ayar evi raporunun

Borsaya ibraz edilmesi şart koşulmuştur. 3) Stokta bulunan ancak Borsada işlem görmemiş kıymetli taşların (süstaşlarının), Piyasa üyeleri arasında el değiştirmesi halinde de Borsada işlem görmesi zorunlu tutulmuştur. 4) Piyasa üyeleri kendi aralarındaki işlemleri Borsada yapmak veya Borsa dışında işlem gerçekleştiriyorlarsa da bu işlemleri Borsanın belirlediği esaslara uygun olarak Borsaya bildirmeleri gene zorunlu tutulmuştur. 5) Borsadaki kıymetli taş işlemleri, Borsa personeli ve üye temsilcilerinin de bulunduğu, Piyasa işlemlerine yönelik olarak hazırlanan Borsa seans salonunda gerçekleştirilmesi istenmiştir. Borsa yönetimi bu amaçla, alıcı ve satıcı üyeler seans salonunda kıymetli taşların incelenmesine, tartılmasına ve görüşülmesine uygun olarak hazırlanan ortamda bir araya gelmelerini sağlamaktadır. 7) En önemli kural olarak da Borsa yönetimi Piyasada işlem görece elmas ve kıymetli taşların, sanal ortam yerine fiziki olarak işlem görmesini zorunlu kılmıştır (Borsa dışı işlem hariç). Son olarak da taş ticaretinde alıcı ve satıcı tarafların aralarında anlaşmaya varmaları halinde, işlem formları doldurularak borsa görevlisine teslim etmeleri istenmiştir.

Elmas ve Kıymetli Taşlar Borsasında yapılan alışverişlerde, Borsa işlem komisyonu olarak, gerçekleşen her bir işlemde alıcı ve satıcıdan ayrı ayrı olmak üzere BSMV hariç toplam işlem tutarının binde 1,25'i oranında, yönetime komisyon ödenmesi kurala bağlanmıştır.

Elmas ve Kıymetli Taşlar Borsasında süstaşlarının saklanması hususunda, Piyasa üyesi veya işlemin gerçekleştirilmesine dahil olanlar tarafından talep edilmesi ve Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası Kiralık Kasa Sözleşmesinin imzalanması suretiyle, uygun ölçü ve sayıda kasa, yıllık veya günlük süreler için kiralama hizmeti vermektedir.

SÜSTAŞLARININ (MÜCEVHER TAŞLARININ) MADENCİLİĞİNİN, KİMLİKLENDİRİLMESİNİN, İŞLEMECİLİĞİNİN, AR-GE ve TİCARETİNİN ESASLARININ BELİRLENMESİNE İLİŞKİN ÖRNEK OLABİLECEK BİR KANUN TASLAĞI ÖNERİSİ

BİRİNCİ BÖLÜM

Tanım, Amaç, Kapsam, Dayanak ve Tanımlar

MADDE 1 – Süstaşları (mücevher taşları), endüstriyel hammaddelerden farklı olarak, yeryüzünde oldukça ender ve göreceli olarak daha az miktarlarda bulunurlar. Bunların bazı örnekleri çok nadide ve özgündür. Bu yüzden, **süstaşlarının aranması da madenciligi de depolanması da sevkiyatı da** diğer madenlerden farklı olarak çok küçük ölçeklerde olup, hassas titizlikte yapılmak zorundadır. Birçok süstaşı örneği, tip özellikte olup, müzelik değer taşırlar. Dünyada hayranlık uyandıran özellikleri olması dolayısıyla, bunlar Türkiye'nin Dünyaya tanıtılmasındaki birer doğal elçiler olarak görev yapabilirler. Potansiyel süstaşı cins ve tür tespitleri ile Türkiye'nin süstaşı envanterinin çıkartılabilmesi özel bilgi ve uzmanlık gerektiren bir alan olduğundan, Dünyadaki gelişmiş ülkelerde olduğu gibi bizde de uzmanlardan oluşan bir **"Süstaşları (Mücevher Taşları) Bilim Kurulu"** oluşturulması gerekir. Ayrıca mevcut ve bulunacak her bir tip süstaşı örneklerinin cins ve türleri bu bilimsel kurul tarafından tescillendikten sonra, "Türkiye Ulusal Süstaşları (Mücevher Taşları) Müzeleri" kurularak, bu müzeler içerisinde saklanması, bu doğal mirasımızın gelecek nesillere aktarılması, milli menfaatlerimiz ve vatanseverliğimizin bir gereğidir. Çünkü süstaşları aslında bir ülkenin özgün doğa tarihi mirasıdır. Bunların çok ve sıradan olanlarının bir kısmı tahrip edilerek (kesilip cilalanarak) ticari olarak işlenip satılabilir, ancak öyle tip süstaşları örnekleri çıkmaktadır ki, bunların asla tahrip edilmemesi ve 2863 sayılı "Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu"

çerçevesinde, özgün tabiat varlıkları olarak doğa (Tabiat) Tarihi Müzelerinde saklanması zorunluluktur. Bu yüzden özellikle Dünyada sadece gem kalitesinde ülkemizde bulunan 3 cins süstaşı-mücevher taşının (Muğla yöresi Gem Diasporlar, Bursa yöresi Mor Jadeler (Türkiyenitler) ve Erzurum/Erzincan yöresi Kammereritler (Anatolitler)) madenciliği ve ticaretinin çok daha hassasiyetle yapılması, milli menfaatlerimiz gereğidir. Türkiye topraklarında madenciliği yapılmadığı halde Turkuvaz (Firuze) adlı süstaşı-mücevher taşının, Türkiye isminin tüm Dünyaya duyurulmasında ne kadar etkin olduğu unutulmamalıdır. Diğer yandan, MAPEG veya MTA bünyesinde “**Türkiye Süstaşları (Mücevher Taşları) (Gemoloji) Araştırma ve Uygulama Merkezi**” kurulması elzemdir. Bu merkez ülkemizde halen âtıl halde duran yaklaşık 50 milyar Dolarlık süstaşı-mücevher taşı madenciliğini, işlemeciliğini, pazarlamasını ve AR-GE faaliyetlerini organize etmelidir.

MADDE 2 – Süstaşlarının-mücevher taşlarının cins ve türlerinin tespitinde mineraloji/gemoloji uzmanlarının çalıştığı “**Gemoloji Test Laboratuvarları**” yetkilendirilmelidir: Bunlar, Özel Ayar Evleri adı altında, Hazine ve Maliye Bakanlığına Bağlı, Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü tarafından ham ve/veya işlenmiş süstaşları-mücevher taşları analiz etmeye, nitelikleri ile cins-tür ve mineralojik-gemolojik ve jeokimyasal özelliklerini belirlemeye ve bunun sonunca ham taş raporu ile elmas veya renkli taş veya inci tanımlama ve derecelendirmesine yönelik gemoloji sertifika (rapor) düzenlemeye yetkilendirilmiş laboratuvarlardır. Gemoloji laboratuvarına getirilen her türlü ham ve işlenmiş taşın en doğru bir şekilde tanımlamak ve bunun topraktan mı yoksa laboratuvarından mı çıkmış olduğunu belirlemek ve de üzerinde renk ve saflık tedavilerinin yapıp yapılmadığını tespit etmek, hizmetin en temel zorunluluğudur. Yoksa bu laboratuvarın işlevselliği anlamsız hale gelir. Aslında gemoloji laboratuvarlarının bilimsel ve

yetkin incelemeleri adaletin birçok aşamasında büyük ihtiyaç göstermektedir. Bu durumda tarafsız ve bilimsel kuruluşların olması ve çoğalması ülkemiz için elzem ve gereklidir. Faaliyetleri arasında; *Tereke Hakimliğine ibraz edilmek üzere ziynet değer tespit raporu hazırlamak. *Miras kalan mücevherlerin değer tespitini (istek üzerine fotoğrafı), değer tespit listelerini ve ekspertiz raporlarını hazırlamak. *Miras bırakılan mücevherlerin alım-satımı için teklifler hazırlamak. *Müzelerde ve/veya ören yerlerinde bulunan AR-Gem-Ma’ların (Arkeo Gemolojik Materyallerin) materyal tespitlerinin yapılarak envanterlemek. *Kaçak olarak yakalanan Ar-Gem-Ma’ların materyal tespiti ve işleniş özelliklerinin belirlenerek, bunların gerçekten antik dönemden mi kalma yoksa güncel taklit ürünler mi olup olmadıklarının tespit edilerek mahkeme davalarında bilirkişi raporu hazırlamak. *Montürsüz renkli taşlarla birlikte pırlanta ve her türlü kesilmiş elmasların değer tespitini yapmak. *Parti malları halinde yakalanan kaçakçılık davalarında montürsüz renkli taşlarla birlikte pırlanta ve her türlü kesim elmasların tek tek CIF değerlerinin tespitini yaparak, bilirkişi raporu hazırlamak. *Tüketici Mahkemelerinde satıcı ve alıcı arasındaki mücevher ticaretinde satılan ürünün ayıplı mal olup olmadığı konusunda, bilirkişi raporu hazırlamak.

MADDE 3 – Bu Kanunun 3 temel amacı bulunmaktadır; Birincisi, bilimsel ve uluslararası tanımlamalar çerçevesinde **ham ve/veya işlenmiş haldeki süstaşları** olarak nitelendirilebilecek malzemelerin milli menfaatler doğrultusunda koruyucu önlemler alınması, amatör ve profesyonel olarak aranması, üzerinde hak sahibi olunması, toplanması, madenciliği, madenin terk edilmesi, ham halde ulusal ve uluslararası ticaretinin esaslarını ve denetimini belirlemek. İkincisi: Bilimsel ve uluslararası tanımlamalar çerçevesinde süstaşları olarak nitelendirilebilecek malzemelerin mineraloji/gemoloji test laboratuvarlarında tanımlanmasını,

raporlanmasını ve/veya sertifikalanmasının esaslarını belirlemek ile birlikte uzun vadeli çalışmalar için merkezi bir gemoloji araştırma ve uygulama merkezini kurmak. Üçüncüsü, süstaşları olarak nitelendirilebilecek malzemelerin işlenmiş haldeki ulusal ve uluslararası düzeyde amatör ve/veya profesyonel anlamda ticaretinin esaslarını ve denetimi belirlemeyi, amaçlamaktadır. Bu Kanun; bilimsel ve uluslararası tanımlamalar çerçevesinde Türkiye Ulusal Süstaşları Bilimsel Kurulu tarafından tescil edilen ham ve/veya işlenmiş haldeki süstaşları olarak nitelendirilebilecek materyallerin (mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzeme kökenli materyallerin) madenciliğinin, analizinin ve ticaretinin gerçek ve tüzel kişiler tarafından yapılacak faaliyet, yükümlülük ve her türlü işlemlere dair temel usul ve esaslarını kapsayacak şekilde hazırlanmıştır.

MADDE 4 – Bu kanunun madencilik kısmının yazım dayanağı; Türkiye Cumhuriyeti Devletinin hüküm ve tasarrufu altında olan ve içerisinde bulundukları arzın mülkiyetine tabi olmayıp Devletin mülkiyetinde olan maden kaynaklarının, milli menfaatlere uygun olarak aranması, işletilmesi, geliştirilmesi ve üretilmesi amacıyla gerçek ve tüzel kişilere amatör süstaşları-mücevher taşları toplayıcısı sertifikası veya profesyonel süstaşları-mücevher taşları madencilik ruhsatı Devlet tarafından belli bir süreyle hak verilmesi için 4/6/1985 tarihli ve 3213 sayılı Maden Kanununu ve 21/07/1983 tarihli 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu esas almaktadır. İlâveten Türk Standartları Enstitüsü'nün 1988 yılından beri yürürlükte olan, TS-6173 ve TS-6174 numaralı standartları göz önüne alınmaktadır.

MADDE 5 – Bu kanunun analiz ve ticari kısmının yazım dayanağı; Türkiye Cumhuriyeti Devletinin hüküm ve tasarrufu altında olan işlenmiş süstaşları-mücevher taşları ticareti 11.08.1989 tarihli Türk Parasını Koruma Hakkında 32 sayılı kararın 2.Maddesi, "k" bendinde bahsedilen 8 adet süstaşı esas almaktadır. Ayrıca 6362 sayılı Sermaye

Piyasası Kurulu kanundaki Borsa İstanbul Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası mevzuatını ve 6502 sayılı Tüketicinin Korunması Kanunu göz önünde bulundurulmuştur.

MADDE 6 –Bu Kanunda geçen özgün ve önemli tanımlamalar;

(1) Süstaşları (Mücevher Taşları); Özgün fiziko-kimyasal sahip, doğada nadir bulunan, iri boyutlarda kristal olabilme ve lapidari bakımından uygun olabilen mineral (cevher), kayaç ve taşlaşmış organik malzemeler için geçerli genel bir tanımlamadır. Buna göre;

(a) Mineral Kökenli Süstaşları: Elmas (Karbonado, Lonsdalit), Gem Diaspor, Kuvars Grubu Süstaşları, Korundum Grubu süstaşları, Beril Grubu Süstaşları, Krizoberil Grubu Süstaşları, Topaz Grubu Süstaşları, Spodümen Grubu Süstaşları, Zoisit Grubu Süstaşları, Turmalin Grubu Süstaşları, Spinel Grubu Süstaşları, Garnet Grubu Süstaşı-mücevher taşı Mineraller, Feldspat Grubu Süstaşı-mücevher taşı Mineraller, Piroksen Grubu Süstaşı-mücevher taşı Mineraller, Amfibol Grubu Süstaşı-mücevher taşı Mineraller, Epidot Grubu Süstaşı-mücevher taşı Mineraller, Peridot (Olivin), Turkuvaz (Firuze), Malakit, Azurit, Rodonit, Rodokrozit, Jadeit, Nefrit, Florit, Sodalit, Diopsit, Dioptas, Lazurit, Benitoit, Disten, Painit, Eskolaît, Barklyit, Zirkon (Starlit), Kordiyerit (İolit).

(b) Kayaç Kökenli Süstaşları: Obsidyen (siyah, bandlı kahve, mavimsi, yeşilimsi renkli türlerde), Lapis Lazulli (lazurit veya sodalit ana bileşenli türlerde), Serpantinit (lisfenit), Moldavit, Mor jade (jadeit ana bileşenli).

(c) Taşlaşmış Organik Malzeme Kökenli Süstaşları: İnci, Mercan, Kehribar (Amber, Kopal ve Fosilleşmiş Reçineler), Mercan, Fildişi, Oltu Taşı (Karbon Karası), Sedef, Taşlaşmış Ağaçlar (Jet), Silisleşmiş Fosil Kavkılar.

(2) Gemoloji; Süstaşı özelliği taşıyan her türlü malzemenin, yeryuvarında oluşumundan, tüketicinin beğeni ve kullanımına kadar geçen süreçteki her yöntem ve işlemi konu alan bir bilimsel ve ticari uğraşıdır. Gemoloji şu konuları kapsar; 1. Süstaşlarının Madenciligi (süstaşlarının yer kabuğunda oluşumu, bulunuşu, aranması ve eldesi). 2. Süstaşlarının İşlemeciliği-Lapidary (süstaşlarının her türlü işleme teknikleri kullanılarak şekillendirilmesi kesilmesi-parlatılması-cıllanması). 3. Süstaşlarının Tanımlanması [Süstaşlarının ham olarak ya da işlenmiş şekillerde bilimsel inceleme yöntemleriyle tanımlanması ve kimliklendirilmesi (sertifikalaması)]*Ham Süstaşı-mücevher taşı Raporu *Elmas Sertifikası *Renkli Taş Sertifikası *İnci Sertifikası

4. Süstaşlarının Renk ve Sıflık Tedavileri (süstaşlarını ısıtma, ışırma, boyama, delme vb yöntemleriyle renk ve sıflık değerklerini arttırma). 5. Süstaşlarının Sentetiğı (süstaşlarının laboratuvarda yapay-sentetik olarak üretilmeleri). 6. Süstaşlarının Mıhlaması (süstaşlarının soy metaller üzerine montürlenmesi (kakma ve sade işlemeciliğı)). 7. Süstaşlarının Pazarlaması (süstaşlarının lotlar veya taneler halinde satılması-mücevhertaşr ticareti). 8. Süstaşlarının Antikası (Arkeo-Gemoloji). 9. Süstaşlarının İnsan Hayatı Üzerine Şifasal ve Terapisel Etkileri (Fitoterapi). 10. Süstaşlarının Hukuku (Adli-Gemoloji).

(3) Gemoloji test laboratuvarı: Hazine ve Maliye Bakanlığına Bağlı, Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü tarafından ham ve/veya işlenmiş süstaşlarını-mücevher taşlarını analiz etmeye, nitelikleri ile cins-tür ve mineralojik-gemolojik ve jeokimyasal özelliklerini belirlemeye ve bunun sonunca ham taş raporu ile elmas veya renkli taş veya inci tanımlama ve derecelendirme sertifika raporu düzenlemeye yetkilendirilmiş laboratuvarlardır. Bunlar, kıymetli taş tanımlaması ve analizi sadece mineral kökenli ELMAS (PIRLANTA KESİMLİ) taşı için geçerli bir kavram değildir. Gerek

RENKLİ TAŞLAR adı altında toplanan yaklaşık **285** adet mineral kökenli süstaşlarını ve İNCİ başta olmak üzere yaklaşık **8** adet taşlaşmış organik malzeme türü süstaşları da (ham ve/veya işlenmiş halde) analiz eden test laboratuvarları da demektir. Gemoloji laboratuvarına getirilen her türlü ham ve işlenmiş taşın en doğru bir şekilde tanımlamak ve bunun topraktan mı yoksa laboratuvarından mı çıkmış olduğunu belirlemek ve de üzerinde renk ve sıflık tedavilerinin yapıp yapılmadığını tespit etmek, hizmetin en temel zorunluluğudur. Yoksa bu laboratuvarın işlevselliğı anlamsız hale gelir.

a) Ham süstaşı raporu: Yetkilendirilmiş gemoloji laboratuvarı tarafından ham haldeki bir süstaşı-mücevher taşına materyal cinsini-türünü, jeokimyasal, mineralojik-gemolojik özelliklerini ve gemolojik değerkinin olup olmadığının belirlendiğı analiz sonucuna göre düzenlenen rapor.

b) Elmas sertifika raporu: Yetkilendirilmiş gemoloji laboratuvarı tarafından işlenmiş haldeki bir elmas taşına malzeme cinsini-türünü (doğal-yapay-taklit), mineralojik-gemolojik temel özelliklerini, renk ve sıflık tedavisi görüp görmediğı ve temel fiyat kriterlerini belirleyen özelliklerinin derecelendirildiğı gemolojik değerkini belirleyen özelliklerinin analiz sonucuna göre düzenlenen sertifika raporu.

c) Renkli taş sertifika raporu: Yetkilendirilmiş gemoloji laboratuvarı tarafından işlenmiş haldeki tüm renkli taşların malzeme cinsini-türünü (doğal-yapay-taklit), jeokimyasal, mineralojik-gemolojik temel özelliklerini, renk ve sıflık tedavisi görüp görmediğı ve temel fiyat kriterlerini belirleyen özelliklerinin derecelendirildiğı gemolojik değerkini belirleyen özelliklerinin analiz sonucuna göre düzenlenen sertifika raporu.

ç) İnci sertifika raporu: Yetkilendirilmiş gemoloji laboratuvarı tarafından incilerin malzeme cinsini-türünü (doğal-besi-taklit), jeokimyasal, mineralojik-gemolojik temel özelliklerini ve diğerk

gemolojik değerini belirleyen özelliklerinin analiz sonucuna göre düzenlenen sertifika raporu.

(4) Ham süstaşları: Doğada bulunmuş albenisi olan, ender bulunan, makroskopik boyutlarda olan ve işlemeye (şekillendirmeye ve cilalamaya) uygun mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzeme türü malzemeler.

(5) İşlenmiş süstaşları (Mücevher taşları, Takı Taşları): Doğada bulunmuş veya laboratuvarlarda mineralojik olarak birebir imal edilmiş, albenisi olan, ender bulunan, makroskopik boyutlarda olan ve işlemeye (şekillendirmeye ve cilalamaya) uygun, faset, kabaşon, boncuk, tambur vb lapidari yöntemleri ile işlenmiş ve cilalanmış mineral (örn. Elmas, korundum, krizoberil, topaz, beril, kuvars, turmalin, spodümen, olivin, granat, feldspat, piroksen, amfibol vb mineral grupları ve alt türleri), kayaç (örn. Lapis lazulli, obsidyen, lisvenit, jade vb kaya türleri) ve taşlaşmış organik malzeme (örn. İnci, mercan, amber, taşlaşmış ağaç, fildişi, sedef, oltu taşı, fosiller vb türler) türü malzemeler.

(6) Süstaşı ekperi: Üniversitelerin mineraloji-gemoloji, jeokimya ve malzeme müfredatının bulunduğu enstitüleri ve/veya fakültelerinin (jeoloji mühendisliği, jeofizik mühendisliği, maden mühendisliği, mücevherat mühendisliği ile malzeme ve metalürji mühendisliği, doğal yapı taşları ve süstaşları) bölümlerinden, mineraloji-gemoloji ve jeokimya müfredatının bulunduğu yüksekokulların gemoloji bölümünden ve meslek yüksekokullarının Kuyumculuk ve Takı Tasarımı programlarından diploma almış olanlar ile, gemoloji ve mücevher konusunda kısa süreli eğitim sonucunda bir devlet kurumundan resmi onaylı sertifika belgesi almış gerçek kişi.

(7) “Elmas” ve “Pırlanta” kelimelerinin halk dilindeki farklı algısı ve kullanımı aslında meslek terminolojine aykırı anlamlar taşımaktadır. Ancak, *Mücevher sektöründe kullanılan saydam elmaslarla, *Endüstride kullanılan opak elmasların

anlam farklılığının ortaya konulmasında etkili olabileceği düşünülerek, bu bağlamda önemli bir ayrıntı olmadığı bilinmelidir. Her ne kadar bu çalışma içerisinde “elmas” kelimesi baskın olarak kullanılmışsa da, halkın yaygınca duydukları “pırlanta” kelimesiyle aynı vurguda olduğu unutulmamalıdır.

(8) Dünyada ticareti yapılan süstaşlarının oluşumsal sınıflandırılması; *Doğal (natürel), *Doğal-Renk Tedavili (işlem görmüş), *Yapay (sentetik, laboratuvar büyütmeli) ve *Taklit (imitasyon).

İKİNCİ BÖLÜM

Süstaşları (Mücevher Taşları) ile ilgili Milli Kurullar, Müzeler ve AR-GE Çalışmaları

MADDE 7 – Süstaşları (mücevher taşları), endüstriyel hammaddelerden farklı olarak, yeryüzünde oldukça ender ve göreceli olarak daha az miktarlarda bulunurlar. Bunların tespiti, tip örneklerinin toplanması ve Türkiye’nin süstaşı envanterinin çıkartılabilmesi için uzmanlardan oluşan “**Türkiye Süstaşları (Mücevher Taşları) Üst Kurulu**” ve “**Süstaşları (Mücevher Taşları) Bilim Kurulu**” oluşturulması gerekir. Ayrıca mevcut ve bulunacak her birinin tip örneklerinin “**Türkiye Ulusal Süstaşları (Mücevher Taşları) Müzeleri**” kurularak, bunların içerisinde saklanması ve sergilenmesi, gelecek nesillere aktarılması, milli menfaatlerimiz gereğidir. Buna göre;

(1) Türkiye’nin ham süstaşları, ruhsatlandırılması, madenciligi, analizi ve AR-GE çalışmaları ile buralardan çıkartılan ve/veya yurt dışı kaynaklardan ithal edilen ham ve/veya işlenmiş (kesilip-cilalanmış) süstaşlarının-mücevher taşlarının ticareti konularındaki politikaları, milli menfaatlerimiz ülke gerçeklerimiz doğrultusunda oluşturmak ve eşgüdümü sağlamak üzere, “**Türkiye Süstaşları-Mücevher Taşları Üst Kurulu**” oluşturmuştur. Bu üst kurulun üyeleri olarak; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı Maden ve

Petrol İşleri (MAPEG) Genel Müdürü ile Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürü, Hazine ve Maliye Bakanlığına Bağlı Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürü ile Borsa İstanbul Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası Müdürü daimi üyeler olup, ilaveten Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK) tarafından belirlenecek en az 20 yıllık gemoloji konusunda akademiksel çalışma yeterliliğine sahip profesör ünvanlı 3 akademisyenden oluşacak geçici üyeler de bulunmak zorundadır. Türkiye Süstaşları (Mücevher Taşları) Üst Kurulu, yılda en az 3 kez toplantı yaparak, ulusal süstaşları-mücevher taşları politikamızı belirler, Süstaşları (Mücevher Taşları) Bilim kurulu üyelerini seçer, yeni gelişmeler ışığında varsa düzenlemeler ve iyileştirmeler yapar. Oy birliği ile aldığı kararlar, Cumhurbaşkanlığı makamı tarafından onaylandıktan sonra Resmî Gazete’de yayımlanarak duyurulur.

(2) Türkiye ham süstaşları potansiyelinin modern mineraloji/gemoloji bilimin ışığında kesin olarak belirlenmesi, mevcut ve muhtemel süstaşları yataklarının rezerv ve tenör envanterinin bilimsel anlamda tespiti ve Dünyaya duyurulması, bu konularda AR-GE çalışmalarını sevk ve idare etmesi için “Süstaşları (Mücevher Taşları) Bilim Kurulu” oluşturulmuştur. Bu Kurulun üyelerinin belirlenmesini, Türkiye Süstaşları (Mücevher Taşları) Üst Kurulu yapar. Bilim Kurulu en az on en fazla yirmi kişiden oluşur. “Üst Kurul” üyeleri aynı zamanda “Süstaşları (Mücevher Taşları) Bilim Kurulu” nun tabii üyeleri olup, bunlara ilaveten belirlenecek diğer üyelerinin tamamının gemoloji konusunda bilimsel yetiye sahip olması ve bunları belgelerle kanıtlaması gerekir. İlave üyelerden iki tanesi MAPEG içerisinde, iki tanesi MTA içerisinde, bir tanesi Darphane içerisinde, bir tanesi, Borsa İstanbul içerisinde geri kalanların ise üniversitelerde halen görev yapmakta olan gemoloji konusunda akademiksel çalışmalara sahip öğretim üyelerinden oluşturulur. Bu Kurul, Türkiye’de bulunan ve bulunacak her türlü süstaşı materyalini resmen tescil etmeye,

envantere eklemeye ve bunların amatör ve profesyonel madenciliği ile ham haldeki ve işlendikten sonraki yurt içi ve yurt dışı ticareti konusunda yetkili kararları oy çokluğu ile alır. Bu kurulun merkezi ve sekreteryası, MTA Genel Müdürlüğü içerisinde olacaktır ve Kurul Üyeleri ihtiyaç duydukça (huzur hakkı alarak resmi) toplantı yaparlar ve süstaşları-mücevher taşları ile ilgili her türlü kararlar alabilirler.

(3) Türkiye’de bulunan ve bulunacak her cins ham süstaşları tip örneklerinin envanterlenmesi ve saklanması için Türkiye Ulusal Süstaşları (Mücevher Taşları) Müzesi/Müzeleri, Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı ile Kültür ve Turizm Bakanlığı onayları ve destekleri ile kurulur. Bu özgün müzelerin en büyüğü, MTA Genel Müdürlüğü bünyesindeki Doğa Tarihi Müzesi içerisinde kurulur. Ayrıca, MTA Bölge Müdürlükleri içerisinde de süstaşları-mücevher taşları müzeleri kurulmak ve sorumlu oldukları bölgelerindeki süstaşları-mücevher taşları sahalarından çıkartılan tip süstaşları-mücevher taşları örneklerini temin ederek, buralarda saklamak ve sergilemek zorundadırlar.

(4) Süstaşlarını konu alan gemolojinin 10 alt dalına ilişkin gelişmeleri takip etmek ve AR-GE yaparak yenilikçi yaklaşımlar bulmak üzere “**Türkiye Gemoloji Araştırma ve Uygulama Merkezleri**” kurulmuştur. Bu merkezler dört adet olup, bir tanesi MAPEG bünyesinde, bir tanesi MTA bünyesinde, Bir tanesi DARPANE bünyesinde ve bir diğeri de BORSA İSTANBUL bünyesinde bulunur. Bu merkezlerdeki gemoloji konusunda yeterli akademisyen ve uzman çalışarak, süstaşları-mücevher taşları madenciliğini, işlemeciliğini ve pazarlaması ile AR-GE faaliyetlerini düzenler.

(5) Global süstaşları ticaretinin bugün Dünyadaki merkezleri Tayland (Bangkok), Çin (Hong Kong), Hindistan (Jaipur, Bombay) gibi yerler olması sebebiyle, ülkemizdeki süstaşlarının ham halde ve işlendikten sonraki tanıtım ve

pazarlama konularında, MTA International buralarda irtibat büroları açar.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Süstaşlarının (Mücevher Taşlarının) Aranması, Bulunması, Toplanması, İzinler, Madencilik

MADDE 8 – Süstaşları tanımına giren (6. Maddede belirtilen) mineral, kayaç ve taşlaşmış organik kökenli materyaller, Türkiye Cumhuriyeti devletine ait bir milli servettir. Devlet bu tekeli, belirli koşulları sağlayan kişi ve kuruluşlara belirli süreliğine ve tespit edilen harç miktarlarında devreder. Bu doğrultuda ülkemizin yer altı zenginliklerimizi ortaya çıkartabilmek ve süstaşları-mücevher taşları potansiyelini ekonomiye kazandırmak, ancak bunların aranması ile mümkün kılınabilmektedir. Bu yüzden, süstaşları-mücevher taşları amatör (hobi amaçlı) ve profesyonel (ticari amaçlı) herkes tarafından aşağıda belirlenen kurallar ve izinler çerçevesinde serbestçe aranabilir. Buna göre;

(1) Amatör (hobi amaçlı) olarak arama ve toplama yapacak gerçek kişiler; Türkiye toprakları üzerinde süstaşları-mücevher taşları arayabilmek ve bulduklarını toplayabilmek için, MAPEG tarafından gerçek kişilere verilecek **“Amatör Süstaşı (Mücevher Taşı) Toplama Sertifikası”** nı almak zorundadırlar. Bu sertifikayı herkes talep edebilir. Ancak bunun için yıllık makul bir ücreti (net asgari ücreti geçmeyecek oranında) MAPEG’e harç olarak yatırmak gerekir. Bu sertifikaya sahip kişilerin 3213 sayılı kanunun ilgili maddelerinde belirtilen yasak alanlar dışında serbestçe dolaşarak süstaşı-mücevher taşı aramaları ve buldukları ham taşları, iş makineleri harici basit aletlerle maksimum 2 m derinliğe kadar kazarak çıkarmaları serbesttir. Bu kişilerin yıllık çıkarabilecekleri taş miktarı, farklı cins ve türlerde toplamda 10 tonu geçemez.

(2) Ekonomik tenör ve rezervde özgün süstaşı yatağı bulan gerçek kişilere (talep etmeleri halinde ve madenin profesyonel kişi veya kuruluşlarca işletilmeye başlanması yani ekonomiye kazandırılması halinde), buluculuk hakkı tanınır. Buluculuk hakkı maden sahası ruhsatlandırıldıktan ve madencilik üretimine geçtikten sonra maden sahibi tarafından çıkartılan ham süstaşı-mücevher taşı madenin güncel ocak teslimi piyasa değerinden oransal olarak ödenir. Mineral kökenli taşlar için bu oran 100 kg/yıl kayaç kökenli taşlar için 1.000 kg/yıl taşlaşmış organik malzeme kökenli taşlar için de 10 kg/yıl dır.

(3) Profesyonel (ticari amaçlı) olarak arama ve madencilik yapacak gerçek ve tüzel kişiler; Türkiye’de faaliyet gösteren veya gösterecek süstaşları-mücevher taşları madencilik firmalarına ruhsat verme yetkisi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına Bağlı Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü’ne (MAPEG) aittir.

(4) MAPEG, bir süstaşı sahasına ruhsat verme işlemini, her daim şaibeden uzak olacak şekil ve yöntemle açık artırmalı ihale yoluyla gerçekleştirir.

(5) Türkiye’de bulunan her süstaşı madeni ve sahası kendine özgündür. Hangi süstaşları ihaleye çıkartılacağı ve ihale koşullarının nasıl olacağını “Süstaşları (Mücevher Taşları) Bilim Kurulu” belirler. Bu yüzden MAPEG bir süstaşı sahası için ihaleye çıkmadan ve ruhsat vermeden önce bu kuruldan uygunluk ve ihale şartları raporu almak ve bu doğrultuda ruhsat vermek zorundadır.

(6) Dünyada ekonomik rezervi sadece Türkiye’de bulunan ve bu yüzden Türkiye’ye özgün bir süstaşı olan Gem Diaspor (Muğla) un maden faaliyet ruhsatlandırılması, diğer süstaşları-mücevher taşları sahalarından farklı olarak yapılır. Bu süstaşı için madencilik ruhsatı sadece “Türkiye Varlık Fonuna” verilir ve bu fonun özel izinle gerçek ve tüzel kişilerin kiralama yoluyla bu taş için madencilik faaliyeti yapılabilir.

(7) Ruhsatlandırılan süstaşları madenlerinden her yıl devlet güvence bedeli olarak, çıkartılan ham süstaşları madenin güncel ocak teslimi piyasa değerinden oransal olarak alınır. Mineral kökenli taşlar için bu oran 100 kg/yıl kayaç kökenli taşlar için 1.000 kg/yıl taşlaşmış organik malzeme kökenli taşlar için 10 kg/yıl dır.

(8) 4/6/1985 tarihli ve 3213 sayılı Maden Kanunu’nda belirtilen 5.Grup maden kavramı bu kanunda belirtilen süstaşları-mücevher taşları kapsar. Bunlar 4.Grup madenlerle birlikte ve çoğu sahalarda iç içe geçtikleri için ruhsatlandırılmaları sırasında ekonomik değeri hangi maden için yüksek ise onun ruhsat sahibine öncelik verilir.

(9) Amatör ve profesyonel anlamda süstaşları-mücevher taşları arama ve çıkartma yetkisi almış herkes, buldukları özgün ve tip yapıdaki süstaşları örneklerini, MTA’nın Merkez ve Bölge Müdürlükleri bünyesinde kurulacak “**Süstaşları (Mücevher Taşları) Müzelerine**”, resimleriyle birlikte bildirmek zorundadırlar. Bunların gemoloji test laboratuvarlarından alınacak resmi cins ve tür bilgileri doğrultusunda, müzelik değer taşıyanlar “Süstaşları (Mücevher Taşları) Bilim Kurulunca” belirlenecek bir fiyat karşılığında, müzeye alınır veya bulucusu tarafından isminin yazılması kaydıyla bedelsiz bağışlanabilir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Süstaşlarının (Mücevher Taşlarının) Ruhsat Denetlemeleri

MADDE 9 – Süstaşları sahalarının madencilik faaliyetleri, materyalin ender ve çok az bulunması ve bunun sonucu bu örneklerin en verimli bir şekilde çıkartılıp, depolanması ve sevkiyatı işlemlerinin aşamaları, mutlak denetime tabidir. Buna göre;

(1) Süstaşlarının ruhsatlı alanlardan madenciliği sürecinde bilimsel denetim, MAPEG adına her altı ayda bir bilimsel kurul üyeleri tarafından yapılır.

(2) Bilimsel Kurul Heyetinin hazırlayacağı rapora göre madencilik faaliyetine yönelik olumsuzluk durumlarında, 3213 sayılı maden kanundaki cezai müeyyideler MAPEG tarafından maden sahibine uygulanır. Bilimsel Kurul gereğinde ruhsat iptaline de karar verebilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Süstaşlarının (Mücevher Taşlarının) Analizi, Laboratuvar Hizmetleri

MADDE 10 – Yukarıda bahsedilen 3 farklı kökene sahip süstaşlarını tespit edebilecek Gemoloji Test Laboratuvarları temelde şu sorulara cevap verebilecek nitelik ve nicelikte olmalıdır; *İncelenen süstaşlarının MATERYAL TESPİTİ ve BİLİMSEL ADLANDIRMASI. *İncelenen süstaşlarının DOĞAL mı olduğu yoksa LABORATUVAR damı üretildiği. *İncelenen süstaşlarının madenden çıkartıldıktan sonradan RENK ve BERRAKLIK derecesi değiştirmek için herhangi bir tedaviye maruz bırakılıp bırakılmadığı. Bir diğer husus, gemolojik incelemelerde kullanılması gereken bazı tahripsiz yöntem ve cihazların gruplamasıdır. Bu gruplama; *SPEKTROSKOPİK yöntemler ve bunlara dayalı cihazları kullanma. *MİKROSKOPİK yöntemler ve bunlara dayalı cihazları kullanma. *MEKANİK ve IŞIK ile ilgili yöntemler ve bunlara dayalı cihazları kullanma. *SERTİFİKA YAZIMINA ilişkin YAZILIM ve KART BASIM makineleri kullanma.

Buna göre;

(1) Mineraloji/gemoloji test laboratuvarlarının verebileceği raporlar şunlardır;

*Ham Süstaşı-(Mücevher Taşı)-Kıymetli Taş Raporu: Yetki verilmiş gemoloji laboratuvarı tarafından ham haldeki bir süstaşı-mücevher taşına materyal cinsini-türünü, jeokimyasal, mineralojik-gemolojik özelliklerini ve gemolojik değerinin olup olmadığının belirlendiği analiz sonucuna göre düzenlenen rapordur.

*Elmas Sertifika Raporu: Yetki verilmiş gemoloji laboratuvarı tarafından işlenmiş haldeki bir elmas taşına malzeme cinsini-türünü (doğal-yapay-taklit), mineralojik-gemolojik temel özelliklerini, renk ve saflık tedavisi görüp görmediği ve temel fiyat kriterlerini belirleyen (4C) özelliklerinin derecelendirildiği gemolojik değerini belirleyen özelliklerinin analiz sonucuna göre düzenlenen sertifika rapordur.

*Renkli Taş Sertifika Raporu: Yetki verilmiş gemoloji laboratuvarı tarafından işlenmiş haldeki tüm renkli taşların malzeme cinsini-türünü (doğal-yapay-taklit), jeokimyasal, mineralojik-gemolojik temel özelliklerini, renk ve saflık tedavisi görüp görmediği ve temel fiyat kriterlerini belirleyen (4C) özelliklerinin derecelendirildiği gemolojik değerini belirleyen özelliklerinin analiz sonucuna göre düzenlenen sertifika rapordur.

*İnci Sertifika Raporu: Yetki verilmiş gemoloji laboratuvarı tarafından incilerin malzeme cinsini-türünü (doğal-besi-taklit), jeokimyasal, mineralojik-gemolojik temel özelliklerini ve diğer gemolojik değerini belirleyen özelliklerinin analiz sonucuna göre düzenlenen sertifika rapordur.

(2) Mineraloji/gemoloji test laboratuvarlarının resmi yetkilendirilmesi; Türkiye Süstaşları-Mücevher Taşları Bilimsel Üst Kurulunun onay verdiği kıstaslara uyan gerçek ve tüzel kişilere, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına Bağlı Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü ile Hazine ve Maliye Bakanlığına Bağlı Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğüne aittir. *Bir gemoloji test laboratuvarının faaliyetinde bulunulabilmesi için, bu iki Genel Müdürlükten bu konuda belli bir ücret karşılığında yetki belgesi alması gerekir. *Gemoloji test laboratuvarı yetki belgesi başvurusu, talep yazı ile birlikte ilgili ticaret sicili müdürlüğü tarafından düzenlenen ticaret sicili tasdiknamesi (üniversiteler ve resmi kurumlar hariç), meslek odası kaydı (üniversiteler ve resmi kurumlar hariç), vergi kaydı, teknik personele ait SGK kaydı ve mezuniyet (diploma) bilgileri ile

temsil ve ilzama yetkili kişi ya da kişilerin adli sicil kaydına (üniversiteler ve resmi kurumlar hariç) ilişkin yazılı beyanların sunulması suretiyle yapılması gerekir. *Başvuru belgeleri üzerinden ön inceleme yapılır. Bu amaçla Türkiye Süstaşları-Mücevher Taşları Üst Kurulundan olumlu görüş alındıktan sonra, açılmak istenen laboratuvarın yeterlik kriterlerini taşıyıp taşımadığı hususları görevlendirilen heyetler tarafından yerinde incelenir. Ham ve/veya işlenmiş süstaşları-mücevher taşları mineralojik-gemolojik ve jeokimyasal analizini gerçekleştirmek üzere yetki belgesi alma talebinde bulunan laboratuvarın, tarafından cinsi-türü bilinen ham ve/veya işlenmiş bazı önemli ve çok bilinen süstaşı-mücevher taşı numuneleri kullandırılarak yaptırılan analizde başarılı olup olmadığı değerlendirilmek zorundadır. *Ortak İnceleme Heyeti, değerlendirmesini tamamladıktan sonra raporunu sunar ve onaylanmayı takiben gemoloji test laboratuvarı yetki belgesi verilir. *Yapılan incelemede yeterlik kıstaslarını karşılayamayan veya yaptığı örnek analizde başarısız olanların talepleri reddedilir. Gemoloji test laboratuvarı yetki belgesi talebi reddedilenler 3 ay geçmedikçe yeniden müracaatta bulunamazlar. *Gemoloji test laboratuvarı, gemolojik işleme (lapidary) atölyesi olarak çalışamaz, sadece ham haldeki süstaşı-mücevher taşı olabilecek mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzeme türü maden/malzeme numuneleri ile belirli işleme (lapidari) yöntemleriyle kesilmiş ve cilalanmış (mamul hale getirilmiş) süstaşı-mücevher taşı olabilecek mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzeme türü mücevher-takı numuneleri için yetkilendirilebilir. Bununla beraber ham haldeki süstaşı olabilecek mineral, kayaç ve taşlaşmış organik malzeme türü maden/malzeme numunelerinin bilimsel tanımlama raporlarını vermeye, bu konuda laboratuvar alt yapısına sahip sadece üniversite veya resmi madencilik kuruluşları yetkilidirler. *Yetki verilen gemoloji laboratuvarları, Gümrükler Genel Müdürlüğüne bildirilir. Ayrıca, Darphane

ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğün internet sitesinde; yetki verilen gemoloji laboratuvarları listesinde yer alır. *Gemoloji test laboratuvar yetki belgeleri iki yıl süre ile geçerlidir. Bu süre sonunda talep edilmesi ve yeterlik kıstaslarını taşıdığı tespit edilmesi kaydıyla ilgili yetki belgeleri tekrar vizelendirilir. *Laboratuvar yetki belgesi bulunmayanlar, vize edilmeyen veya iptal edilenler laboratuvarlar, resmi faaliyette bulunamazlar ve bulunanlara cezai müeyyide uygulanır. *Şube açma, laboratuvar devri ve unvan değişikliği talepleri izne tabidir. Şube açma, laboratuvar devri ve unvan değişikliğine ilişkin talepler, laboratuvar yetki belgesi başvurusu gibi değerlendirilerek Üst Kurul tarafından sonuçlandırılır. *Gemoloji Test laboratuvarlarının İdari ve Teknik kapasiteleri yönetmelikle ile tespit edilir.

(3) Türkiye süstaşları-mücevher taşları potansiyelinin ortaya çıkartılmasında en büyük arayıcı ve bulucu grubunu oluşturan amatör süstaşları-mücevher taşları toplayıcılarının, buldukları materyallerin süstaşı-mücevher taşı olup olmadığını ve ekonomik değer taşıyıp taşımadıklarını en kısa sürede tespit edebilmek için MTA Genel Müdürlük ve tüm Bölge Müdürlükleri bünyesinde Gemoloji Test Laboratuvarlarının son teknolojik cihazlarla kurulması, yeterli sayıda gemoloji uzmanını istihdam ettirmesi ve ücret karşılığı talep eden herkese faaliyet göstermesi zorunludur.

(4) Üniversiteler bünyesinde kurulu bulunan veya kurulacak Gemoloji Test Laboratuvarlarının verdiği bilimsel süstaşı-mücevher taşı tanımlama raporları, her daim resmi belge olarak kabul edilirler.

(5) 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu gereği, Türkiye’deki tüm arkeoloji müzelerinde ve kazı evlerinde depolanan ve sergilenen Ar-Gem-Ma (Arkeo-Gemolojikel Materyaller) ların Gemoloji Test Laboratuvarlarınca materyal tespiti ve arkeo-gemolojikel envanterlenmesinin yapılması

zorunludur. Müzeler ya kendi bünyelerinde kuracakları gemoloji test laboratuvarları ya da resmi kurulu gemoloji test laboratuvarlarından yardım alarak bu envanterlemeyi tamamlarlar.

ALTINCI BÖLÜM

Süstaşlarının (Mücevher Taşlarının) Ticareti

MADDE 11 - Ticari olarak “Amatör Süstaşları (Mücevher Taşları) Toplama Sertifikası” almış toplayıcılara, 193 sayılı Gelir vergisi kanununun 9. Maddesi 10. Bendindeki kurallar aynen uygulanır. Amatör süstaşları-mücevher taşları toplayıcısı belgesi ile esnaf muafiyet belgesi almaya hak kazanırlar. Bu kişiler buldukları süstaşlarını-mücevher taşlarını ayrı bir iş yeri açmaksızın ve sanayi tipi veya seri üretim yapabilen makine ve alet kullanmaksızın oturdukları evlerde imal ettikleri malları internet ve benzeri elektronik ortamlar üzerinden satanlar bu madde kapsamında değerlendirilerek diğer hükümler aynen uygulanır. 10. (Ek:11/11/2020-7256/15 md.) Ayrı bir iş yeri açmaksızın ve sanayi tipi veya seri üretim yapabilen makine ve alet kullanmaksızın oturdukları evlerde imal ettikleri malları internet ve benzeri elektronik ortamlar üzerinden satanlar. Bu bent kapsamında esnaf muafılığından faydalanılabilmesi için Esnaf Vergi Muafiyeti Belgesi alınması, Türkiye’de kurulu bankalarda bir ticari hesap açılması ve tüm hasılatın münhasıran bu hesap aracılığıyla tahsil edilmesi şarttır. Bankalar, bu bent kapsamında açılan ticari hesaplara aktarılan tutarlar üzerinden, aktarım tarihi itibarıyla %4 (bir ve üzeri işçi çalıştırıldığı durumda %2) oranında gelir vergisi tevkifatı yapmak ve 98 ve 119 uncu maddelerdeki esaslar çerçevesinde beyan edip ödemekle yükümlüdür. İstihdama bağlı indirimli oranın uygulanması için ilgili ayda bir işçinin en az on gün süreyle çalıştırılması gerekir. Bu hasılat tutarı üzerinden ayrıca 94 üncü madde kapsamında tevkifat yapılmaz. Bu bent kapsamında elde edilen hasılatın 220.000 (320.000) Türk lirasını aşması hâlinde, mükellef izleyen takvim yılı başından

itibaren gerçek usulde vergilendirilir ve tekrar bu muafiyetten faydalanamaz. Bentte yer alan hasılat koşulu dışındaki diğer şartların ihlal edildiğinin tespit edilmesi hâlinde muafiyetten faydalanılamaz ve zamanında tahakkuk ettirilmeyen vergiler; vergi ziyan cezası kesilmek suretiyle gecikme faiziyle birlikte tahsil olunur. Bentte yer alan oranları ve tutarı, yarısına kadar indirmeye ve iki katına kadar artırmaya Cumhurbaşkanı yetkilidir.)

MADDE 12 – Aslında ziynet takı (sadece soy metalden oluşan) ve mücevher (süstaşları ve soy metalden oluşan) insan yaşamının temel ihtiyaçlardan sonra en çok kullanım tercihinde bulundukları ürünlerdir. Çünkü insanın doğumunda takılmaya başlayan takı daha sonra sünnet, nişan, evlenme törenlerinde zirveye çıkıp daha sonra da her güzel ve özel günlerde süslenme, sosyal statüyü gösterme ve en nihayetinde tasarruf ile birikimleri koruma şeklinde kullanım bulan bir emtiadır. Arkeo-gemolojik buluntular insanların kullandığı ilk boncuk takıların 35.000 yıl evveline kadar uzandığını göstermiştir. O halde bu sektör insanın dünyadan yok olana kadar süreceği bir sektör olup, tüm Türkiye’de hatta tüm Dünyada ayakta kalması ve rekabet gücünü koruyarak istihdam yaratması sürdürülebilir her kalkınma modelinde bulunması zorunlu haldedir. Bu sektörün iş hacmi yıllık 250 milyar Dolar civarındadır. Türkiye mücevher imalatında Osmanlı’dan gelen önemli bir imalat ve ticaret geçmişi ve de potansiyeli bulunmaktadır. İstanbul Kıymetli Madenler ve Kıymetli Taşlar Piyasası bünyesinde bulunan “Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası”, kuyumculuk sektörüne uluslararası bir kimlik kazandırmak, kredi imkânlarının artmasını sağlamak, elmas ve kıymetli taş işlemleri yapan dünyadaki kişi ve kuruluşlarla organize bir yapıda ticaret imkânı sağlamak üzere 2011 yılında faaliyete geçirilmiştir. Elmas ve Kıymetli Taş Piyasası 2011 yılında kurulmasına rağmen, ithal edilen kıymetli taşlardan alınan %20 oranındaki Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) nedeniyle 30/09/2014 tarihine kadar Piyasada işlem yapılmamıştır.

6552 sayılı Kanun’da, Katma Değer Vergisinde (KDV) ve Özel Tüketim Vergisinde (ÖTV) yapılan değişiklikler ile kıymetli taşların (elmas, pırlanta, yakut, zümrüt, topaz, safir, zebercet, inci) 6362 sayılı Sermaye Piyasası Kanununa göre Türkiye’de kurulu borsalarda işlem görmek üzere ithali, borsaya teslimi ve borsa üyeleri arasında el değiştirmesi KDV’den istisna tutulmuştur, ayrıca kıymetli taşlar ÖTV kapsamından çıkarılmıştır. KDV istisnası, kıymetli taşların Borsa İstanbul Elmas ve Kıymetli Taş Piyasasında işlem görmek üzere ithali, borsaya teslimi ve borsa içinde veya ilgili mevzuatına göre borsaya bildirilmek kaydıyla borsa üyeleri arasında borsa dışında el değiştirmesini kapsamaktadır. Piyasada, Kimberley Süreci Sertifika Sistemine dâhil ham elmaslar ile her tür ve şekilde parlatılmış elmaslar (polished diamonds) ve 32 Sayılı Karar’da tanımlı kıymetli taşlardan ziynet ve süs eşyasına dönüştürülmemiş ham veya parlatılmış taşlar işlem görmektedir. Ayrıca, beyan edilmesi halinde ziynet ve süs eşyasına dönüştürülmemiş ve fiziksel veya kimyasal işlem görmüş doğal taşlar ile ham ya da parlatılmış sentetik kıymetli taşlar da halen bu Piyasada işlem görebilmektedir.

Buna göre;

(1) Süstaşı madencilik faaliyet ruhsatı alarak çıkartılan süstaşlarının cins/tür ve miktarları, Borsa İstanbul bünyesindeki Elmas ve Kıymetli Taş Piyasasına bildirilmek zorundadır.

(2) Bu piyasa içerisinde Türkiye’de çıkartılan ham süstaşlarının-mücevher taşlarının ve de bunların işlenmesinden sonraki ürünlerin ticari faaliyetleri piyasa kurallarına uygun olarak, serbestçe yapılabilir.

(3) Türkiye Süstaşları (Mücevher Taşları) Üst Kurulu, yurt dışından ithal edilecek ve yurt dışına satılacak her türlü ham ve işlenmiş süstaşlarının ticari usul ve esasları ile vergilendirilmeleri ve envanterleri konularında da düzenleme yapmaya yetkili tek kuruldur.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Aslında ziynet takı (sadece soy metalden oluşan) ve mücevher (süstaşları ve soy metalden oluşan) insan yaşamının temel ihtiyaçlardan sonra en çok kullanım tercihinde bulundukları ürünlerdir. Çünkü insanın doğumunda takılmaya başlayan takı daha sonra sünnet, nişan, evlenme törenlerinde zirveye çıkıp daha sonra da her güzel ve özel günlerde süslenme, sosyal statüyü gösterme ve en nihayetinde tasarruf ile birikimleri koruma şeklinde kullanım bulan bir emtiadır. Arkeo-gemolojik buluntular insanların kullandığı ilk boncuk takıların yaklaşık 30.000 yıl evveline kadar uzandığını göstermiştir. O halde bu sektör insanın dünyadan yok olana kadar süreceği bir sektör olup, tüm Türkiye’de hatta tüm Dünyada ayakta kalması ve rekabet gücünü koruyarak istihdam yaratması sürdürülebilir her kalkınma modelinde bulunması zorunlu haldedir. Bu sektörün iş hacmi yıllık yaklaşık 250 milyar Dolar civarındadır. Türkiye mücevher imalatında Osmanlı’dan gelen önemli bir imalat ve ticaret geçmişi ve de potansiyeli bulunmaktadır. Süstaşları-mücevher taşları ticaretinin tam anlamıyla ülkemizde yürütülebilmesi için Kambiyo mevzuatında eksik düzenlemenin güncellenmesi gerekiyor. 11.08.1989 yılında 20249 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Hazine ve Maliye Bakanlığına ait Türk Parası Kıymetini Koruma Hakkında 32 sayılı Karar’ın 2. maddesi (k) bendinde bahsi geçen devletin tanıdığı süstaşları-mücevher taşları sadece ELMAS, PIRLANTA, YAKUT, SAFİR, ZÜMRÜT, İNCİ, ZEBERCET yazılmış olup, bunları kapsayan yaklaşık 300 adet olan süstaşlarının-mücevher taşlarının isimleri burada güncellenmez ise buna bağlı tüm gemoloji ve soy metal kuruluşlarının (örn. Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü) çıkartacağı ayar evleri, laboratuvarlar, ihracat rejimleri vb. tebliğler eksik olarak hazırlanmış olacaktır.

Bakanlık veya MTA bünyesinde TÜRKİYE SÜSTAŞLARI (MÜCEVHER TAŞLARI) (GEMOLOJİ) UYGULAMA VE ARAŞTIRMA

MERKEZİ kurulması elzemdir. Bu merkez ülkemizde halen atıl halde duran yaklaşık 50 milyar Dolarlık süstaşları madenciliğini, işlemeciliğini ve pazarlaması ile AR-GE faaliyetlerini organize edecektir. Süstaşları ticaretinin bugün Dünyadaki merkezi Tayland (Bangkok), Çin (Hong Kong), Hindistan (Jaipur, Bombay) gibi yerler olup mutlaka buralarda “MTA International” irtibat bürosu açmalıdır.

Süstaşlarının madenciliğinin, kimliklendirilmesinin, işlemeciliğinin, ar-ge ve ticaretinin esaslarının belirlenmesine ilişkin örnek olabilecek bir kanun taslağının hazırlanması ve yasalaştırılması, yeni süstaşı kaynaklarının bulunması için amatör madencilere bir umut kapısı oluşturacaktır.

Süstaşları ve mücevherlerde sahte ve ayıplı ürünlerin ayırt edilmesinin hukuksal yönden tanımlanması ve fiziko-kimyasal incelemesi genel olarak Adli Bilimler parantezine dahil edilmesi gerekir. Adli Bilimler kurumsallığının içinde ileri teknolojiye sahip aletlerin kullanıldığı Gemoloji laboratuvarları oluşturulmalı ve bu laboratuvarlarda görev yapacak yetkin uzman kadrolar akademik kurumlara açılarak entegrasyon sağlanmalıdır. Üniversiteler, ayar evleri, bilim teknoloji uygulama ve araştırma kurumları ve özel sektör bünyesinde Adli-Gemoloji alanları oluşturulmalıdır. Ulaşılması gereken hedef, standart ve standardı oluşturacak sistemdir. Bu hedefe, *Bilimsel olarak; İleri teknolojiye sahip aletlerin kullanıldığı laboratuvarlar ve bu laboratuvarlarda çalışacak spesifik uzmanlığa sahip teknik elemanlar (gemolog, kimyager...) *Yöntem (metodoloji) olarak; Sektörün ve piyasanın bütün paydaşlarının konulmuş olan standartlara ulaşmada bütüncül bir sistem fikri içerisinde yöntem, hukuk ve kurumsallık tanımlarının yapılması ulaşılması gereken en önemli hedeflerdir. *Sertifika, yöntem tanımlamasında taşın kimlik belgesi olarak yer alacakken mevzuat tanımlamasında ise sertifika formatı; dosya teslim tutanağında delil tanımlama evrakı olarak bilirkişinin ihtiyacı

olan diğer bilgilere de havi olarak yer almalıdır. Sonuçta, süstaşlarının-mücevher taşlarının-analizinde Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğünce yetki verilecek gemoloji laboratuvarlarının standartları, seçimi ve denetimi esaslarının daha detaylı belirlenmesi Türkiye için elzemdir.

2011 yılında kurulan ve halihazırda Borsa İstanbul bünyesinde bulunan dört kambiyo borsasından biri olan Elmas ve Kıymetli taş Piyasasının ismi en kısa sürede, gemolojik anlama uygun olarak Elmas-Renkli Taşlar-İnci Piyasası (Diamond-Colored Stones-Pearl Market) olarak değiştirilmelidir.

EXTENDED SUMMARY

Many gem (jewellery stone) specimens are typical and have museum value, and they are natural ambassadors to introduce Türkiye to the world. In order to identify gems, collect type samples and create an inventory of Türkiye's gemstones, the establishment of the "Turkish Gemstone (Jewellery Stones) Supreme Council" and the "Gemstone (Jewellery Stones) Scientific Board", consisting of experts, emerges as a requirement of reason and science. In addition, it is in our national interest to establish "Turkish National Gems (Jewellery Stone) Museum" and to preserve and exhibit gems and to pass them on to future generations. Accordingly;

(1) Türkiye's policies regarding the exploration, licensing, mining, analysis and R&D studies of raw gemstones and the trade of raw and/or processed gemstones mined from here and/or imported from foreign sources should be in line with the realities in Türkiye. Members of the Turkish Gemstone Supreme Council, which will be established to ensure coordination, should include officers from;

**General Directorate of Mining and Petroleum Affairs (MAPEG) and General*

Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) under the Ministry of Energy and Natural Resources,

**General Manager of the Mint and Stamp Printing House affiliated with the Ministry of Treasury and Finance*

**Borsa Istanbul Diamond and Precious Stone Market Manager as a permanent member,*

Additionally,

**Temporary members, determined by the Council of Higher Education (YÖK), will consist of 3 academics with the title of professor who have at least 20 years of academic qualifications or study in mineralogy/gemmology.*

The Turkish Gemstone Supreme Council should meet at least 3 times a year to determine policies about national gemstones, to elect members of the Gemstone Scientific Board, and to make arrangements and improvements, if any, in the light of new developments. In this context, decisions taken unanimously must first be approved by the Presidency and then published in the Official Gazette and announced to the public.

(2) To precisely determine the potential of Türkiye for raw gemstones in the light of modern mineralogy/gemmology, to scientifically determine the reserve and grade inventory of existing and potential gemstone deposits and to publicise them, and to direct and manage R&D studies on these issues, the "Gemstone (Jewelry Stones) Scientific Board" should be established and members elected. The Scientific Board should consist of at least ten and at most twenty people. Members of the "Supreme Board" should also be members of the "Science Board". In addition, all other members to be determined must have scientific competence in mineralogy/gemmology who can provide proven documentation of competence. Two of the additional members should be from MAPEG, two from MTA, one from the Mint, one from the Borsa Istanbul, and the remaining members should be

faculty members who are currently working at universities and have performed academic studies about mineralogy/gemmology. This Board should be able to make authorized decisions by majority vote regarding the official registration of all kinds of gemstones found and to be found in Türkiye, adding them to the inventory, and amateur and professional mining of gemstones and domestic and international trade in raw gemstones and gemstones after processing. The headquarters and secretary of this board should be within MTA General Directorate, and it should be ensured that the Board Members can hold meetings whenever they need (officially, with the right to attend) and make all kinds of decisions regarding gemstones.

(3) Turkish National Gemstone Museum(s) should be established with the approval and support of the Ministry of Energy and Natural Resources and the Ministry of Culture and Tourism in order to inventory and store type specimens of all types of raw gemstone found and to be found in Türkiye. The largest of these unique museums should be in the Natural History Museum within MTA General Directorate. In addition, gemstones-jewellery stones museums should be established within MTA Regional Directorates and they should be obliged to obtain samples of gemstones-jewellery stones quarried from areas in the regions they are responsible for, and to store and exhibit them there.

(4) “Turkish Gemmology Research and Application Centres” should be established to follow the developments in the 10 sub-branches of gemmology, which deals with gemstones-jewellery stones, and to find innovative approaches by conducting R&D. These centres should be four in number, one within MAPEG, one within MTA, one within mint (DARPHANE) and one within BORSA ISTANBUL. Qualified academics and experts in gemmology should work in these centres and be able to organize the mining, processing, marketing and R&D activities about gemstones-jewellery stones, worth approximately 50 billion dollars.

(5) Since the centres of the global trade in gemstones in the world today are places such as Thailand (Bangkok), China (Hong Kong), and India (Jaipur, Bombay), MTA International should be the authority on the promotion and marketing of the gemstones in our country in raw form and after processing. Liaison offices should be opened.

An independent mining law on gemstones should be enacted. Regulations for amateur gemstone collectors, who currently number nearly 200,000 in Türkiye, should be included in this law. The rules in Article 9, Paragraph 10 of the Income Tax Law No. 193 should be applied exactly to collectors who have received an “Amateur Gems (Jewellery Stones) Collection Certificate” on a commercial basis, and they should be entitled to receive an amateur gemstone collector certificate (gem hunting certificate) and a tradesman exemption certificate. Those who sell gemstones found by these people, which they produce in their homes without opening a separate business or using industrial or mass production machines and tools, via the internet or similar electronic media, should be evaluated within the scope of this article and the other provisions should be applied exactly. Those who sell the goods they produce in their homes via the internet or similar electronic media, without opening a separate business and using industrial or mass production machines and tools, must obtain a Tradesman Tax Exemption Certificate and open a commercial account in banks established in Türkiye in order to benefit from the tradesman exemption within the scope of this paragraph. and all revenues should be exclusively collected through this account.

The “Diamond and Precious Stone Market”, located within the Istanbul Precious Metals and Precious Stones Market, began operations in 2011 to bring an international identity to the jewellery industry, to increase credit opportunities, and to provide trade opportunities in an organised structure with individuals and organisations around the world engaged in diamond and precious

stone transactions. This market should be renamed “Diamond-Coloured Stones-Pearl Market”. It should be mandatory to report the type/species and quantities of gemstones and gemstones mined by obtaining a mining activity license on the Diamond and Precious Stone Market within Borsa Istanbul. Within this market, commercial activities for raw gemstones-jewellery stones mined in Türkiye and products after processing should be carried out freely in accordance with the market rules. It should be declared that the “Turkish Gemstone (Jewellery Stones) Supreme Council” is the only organisation authorised to regulate the commercial procedures and principles, taxation and inventories of all kinds of raw and processed gemstones-jewellery stones to be imported from abroad and sold abroad.

ORCID

Murat Hatipoğlu  <https://orcid.org/0000-0002-4345-9052>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Altıngöz, M., Smith, N. M., Şebnem, D., Syvrud, P.F. & Ali, S. H. (2019). Color and local heritage in gemstone branding: A comparative study of blue zoisite (tanzanite) and color-change diaspore (zultanite/csarite). *The Extractive Industries and Society*, 6(4), 1030-1039.
- Arem, J. E. (1987). *Color Encyclopaedia of Gemstones*. 2nd Ed., Van Nostrand Reinhold Co., New York, A.B.D., 248s.
- Ay, A. M., Hatipoğlu, M., Günel, H., Kılınçarslan, S. ve Velioğlu, T. (2013). Doğanşehir (Malatya) yakut oluşumlarının yayılımının tespiti ve oluşum kökenine ait yaklaşımlar [Determination of ruby formation and approaches to the origin in Doğanşehir (Malatya)]. Özmen, B. (Ed.), 66. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı* (s.: 222-223), 1-5 Nisan 2013, Ankara. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/08dd28f402b112b_ek.pdf
- Back, M. & Mandarino, J. (2008). *Fleischer's Glossary of Mineral Species*. 10th Ed., *The Mineral Record Inc.*, Tucson, A.B.D., 187 s.
- Blackburn, W. H. (1924). *Encyclopedia of Mineral Names*. Mineralogical Association of Canada, Ottawa, Kanada, 378 s.
- Bonewitz, R. L. (2005). *Rock and Gem*. DK Adult. Smithsonian Institute, Washington, A.B.D., 287 s.
- Esenli, F., Kumbasar, I., Eren, R. H. & Uz, B. (2001). Characteristics of opals from Simav, Turkey. *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie Mh.*, 3, 97-113.
- Gübelin, E. (1969). *Pierres Précieuses*. Editions Silva, Zurich, İsviçre, 614 s.
- Hatipoğlu, M. (2007). Türkiye’de süstaşı-mücevher taşı potansiyeli, rezervleri, madenciligi ve ekonomisi [Gemstone potential, reserves, mining, and economics in Turkey]. 6. *Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* (s.: 201-212). 1-3 Şubat, İzmir.
- Hatipoğlu, M. (2011a). Unique gemstones of Turkey. International Gemological Symposium-2011 Advancing the Science and Business of Gems (p.: 45). 29-31 May 2011, Carlsbad, California, USA.
- Hatipoğlu, M. (2011b). Renkli Kıymetli Taşlar [Colored Precious Stones]. *Zeus Kitabevi Yayınları*, İzmir, 334s.
- Hatipoğlu, M. (2015). Türkiye’de mücevheratın standardizasyonu için metalurjik ve gemolojik kontrolün (sertifikasyonun) önemi [Importance of metallurgical and gemological control (certification) for jewelry standardization in Türkiye] (Çağrılı konuşmacı-özel sunum). *Değerli ve Yarı Değerli Taşlar Çalıştayı* (s.: 6-17). 09-10 Aralık 2015, İstanbul.
- Hatipoğlu, M. (2017). Arkeo-gemolojinin başlangıcı ve süreçsel gelişimi [Initial and processing development of archaeo-gemmology]. *Geçmişten Günümüze Gemoloji Sempozyumu GÖNKUYSAN-2017* (3-8). 10-13 Mayıs, Gönen Meslek Yüksekokulu Konferans Salonu, Gönen-Isparta.
- Hatipoğlu, M. (2020). *Süstaşları Mineralojisi [Mineralogy of The Gemstones]*. Talebe Yayın Dağıtım, Kırtasiye, Ar-Ge San. ve Tic.Ltd.Şti. Niğde, 3. Baskı, 195s.
- Hatipoğlu, M. (2023). Türkiye’de süstaşlarının (mücevher taşlarının) borsası ve ticaretinin durumu [The status of the exchange and trade of gemstones (jewelry stones) in Türkiye]. Bozkurt,

- E., Dumanlılar, Ö., Akyıldız, M., Yılmaz, K. K., Coşkun Tunaboylu, B., Cihan, Z. Ö., Yağbasan, Ö ve Açikel, Ş. (Ed.ler), *Uluslararası Katılımlı 75. Türkiye Jeoloji Kurultayı (10-14/ Nisan/2023) Bildiri özleri Kitabı [Abstract Book of 75th Geological Congress of Türkiye with International Participation (April 10-14, 2023)]*, (s.: 61). MTA, Ankara, Türkiye. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/24f25904af8a59f_ek.pdf
- Hatipoğlu, M. ve Gökçen, N. (1999). Batı Anadolu’nun yarı kıymetli süstaşlarının başlıca mineralojik, jeolojik ve ekonomik nitelikleri [Main mineralogical, geological, and economics of semi-precious stones in western Anatolia]. *1. Batı Anadolu Hammaddeler Kaynakları Sempozyumu* (s.: 438-450). 8-14 Mart, İzmir.
- Hatipoğlu, M. ve Kırkoğlu, S. (2005). Türkiye’de elmas ve kıymetli taşlar borsasının kurulmasının önemi ve gerekliliği [Importance and necessity the construction of the diamond and precious stone bourse in Turkey]. *International Gems and Novel Metals Symposium* (s.: 56-88). 29-30 Nisan 2005, İstanbul, 56-88.
- Hatipoğlu, M. & Babalık, H. (2008). Gem minerals and materials in the Anatolian land (Turkey). *35th Rochester Mineralogical Symposium* (p.: 25). 10-13 April, Rochester-New York, U.S.A.
- Hatipoğlu, M. & Çoban, E. (2021). Gem-quality blue sapphires (Al_2O_3 -corundum variety) from the Milas-Yatağan region, Muğla, Türkiye. *Academia Letters*, Article 4085, 1-5. <https://doi.org/10.20935/AL4085>
- Hatipoğlu, M., Babalık, H. & Chamberlain, S. C. (2010a). Gemstone deposits in Turkey. *Rocks & Minerals*, 85(2), 124-132. <https://doi.org/10.1080/10511970903455868>
- Hatipoğlu, M., Türk, N., Chamberlain, S. C. & Akgün, A. M., (2010b). Gem-quality transparent diaspore (zultanite) in bauxite deposits of the İlbir Mountains, Menderes Massif, SW Türkiye. *Mineralium Deposita*, 45(2), 201-205. <https://doi.org/10.1007/s00126-009-0262-2>
- Hatipoğlu, M., Helvacı, C., Kibar, R., Çetin, A., Karabulut, Y. & Can, N., (2010c). Amethyst and morion quartz gemstone raw materials from Türkiye: Colour saturation and enhancement by gamma, neutron and beta irradiation. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 165(11), 876–888. <https://doi.org/10.1080/10420150.2010.489611>
- Hatipoğlu, M., Kırkoğlu, M.S., Buzlu, H.B., Kibici, Y. ve Helvacı, C. (2011). Türkiye’deki süstaşlarının endüstriyel hammaddeler içerisindeki önemi [Importance of gemstones within the industrial minerals in Türkiye]. *64. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı* (s.: 203-204). 25-29 Nisan 2011, Ankara. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/385b1ca1d272c38_ek.pdf
- Hatipoğlu, M., Chamberlain, S., Kibici, Y. (2013b). Characterization of the Sündikendağı deposit of moganite-rich, blue chalcedony nodules, Mayıslar-Sarıcakaya (Eskişehir), Türkiye. *Ore Geology Reviews*, 54, 127-137.
- Hatipoğlu, M., Çoban, E., Çil, V., Babalık, H. ve Güney, H. (2022). Türkiye’nin süstaşı-mücevher taşı kalitesindeki korundum (Al_2O_3) mineral (mavi safir) yatağı; Oluşumları ve gemolojik özellikleri [Gem quality corundum (Al_2O_3) mineral (blue sapphire) deposit from Türkiye; Their formation and gemological characteristics]. *International Black Sea Modern Scientific Research Congress Full Text Book* (s.:46-56). September 29,-October 02, 2022. Rize-Türkiye.
- Hatipoğlu, M., Gürbüz, M., Gürsoy, B. & Çil, V. (2023). Adli gemoloji açısından tüketicinin korunması hakkında bir örnek; Mücevher sektöründe yaygınca kullanılan beril ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$) mineralinin yeşil renkli iki türünün (yeşil beril ve zümrüt) arasındaki farklar ve tüketicilerin bilinçlendirilmesi [An example of consumer protection in forensic-gemology; The differences between two green types of beryl ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$) mineral widely used in the jewelry industry (green beryl and emerald) and raising consumer awareness]. *International Eurosia Congress on Scientific Researches and Recent Trends 10 abstract Book* (p.: 26-28). February 16-17, Baku-Azerbaijan, 26-28.
- Hatipoğlu, M., Yanık, G. ve Çoban, E. (2024). Dünya’nın en değerli süstaşlarından biri olan painit mineralinin, jeolojik ve mineralojik olarak bulunabilirliğinin irdelenmesi; Türkiye’de painit var mıdır? [Examining the geological and mineralogical availability of the mineral painite, one of the most valuable gemstones in the world; is there painite in Türkiye?]. *Türkiye Jeoloji*

- Bülteni*, 67(2), 253-266. <https://doi.org/10.25288/tjb.1399633>
- Helvacı, C., Hatipoğlu, M., Passeri, D., Konak, N. & Kınacı, E.H., (2025). The Origin of Oltu Stone (Turbostratic Carbon) from the Olur-Tortum Area: A Natural Composite Carbonaceous Material (Erzurum, Türkiye). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 68(4), 85-108. <https://doi.org/10.25288/tjb.1491493>
- Kaydu Akbudak, İ., Gürbüz, M., Başbüyük, Z., Hatipoğlu, M., Öztüfekçi Önal, A. & İşler, F. (2021). Mineralogical and gemological characteristics of metaophiolite hosted corundum (Malatya-Türkiye). *Sakarya University Journal of Science*, 25(2), 1-9.
- Keller, P. C. (1990). *Gemstones and Their Origins*. Van Nostrand-Reinhold. New York, A.B.D., 674s.
- Krauskopf, K. B. (1982). *Introduction to Geochemistry*, 2nd Ed. McGraw-Hill Book Co., Sydney, Avustralya, 617s.
- Manutchehr-Danai, M. (2005). *Dictionary of Gems and Gemology*, 2nd extended and revised. Ed.. Springer, New York, A.B.D., 203s.
- Mitchell, R.S. (1979). *Mineral Names What do They Mean*. N.A.G. Press Ltd., New York, A.B.D., 267 s.
- Newman, R. (2003). *Gemstone Buying Guide: How to Evaluate, Identify, Select & Care for Colored Gems*, 2nd Ed.. International Jewelry Publications. New York, A.B.D., 567s.
- Rapp, G. (2009). *Archaeomineralogy*. 2nd Ed., (Herrmann, B., Wagner, G. A. (Eds.)), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany, 465 s.
- Read, P. G. (2005). *Gemmology*, 3rd Ed.. Elsevier, London, GB, 253s.
- Roberts, W. L., Campbell, T. J. & Rapp, G. R. (1989). *Encyclopedia of Minerals*, 2nd Ed.. Van Nostrand Reinhold Co. New York, A.B.D., 892s.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E. & Webb, J. S. (1979). *Geochemistry in Mineral Exploration*, 2nd Ed.. Academic Press, Sydney, Avustralya, 657s.
- Savaşçın, M. Y., Hatipoğlu, M. ve Akdağ, İ. (1988a). TS-6173 Kıymetli ve Yarı Kıymetli Süstaşları-Sınıflandırma [*Precious and Semi Precious Gemstones-Classification*]. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, TS6173.
- Savaşçın, M. Y., Hatipoğlu, M. ve Akdağ, İ. (1988b). TS-6174 Kıymetli ve Yarı Kıymetli Süstaşları-Terimler [*Precious and Semi Precious Gemstones-Terms*]. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, TS6174.
- Sayılı, S. Türeli, K., Lüle, Ç., Kadiroğlu, T. ve Atakay, E. (1999). Yozgat-Sarıkaya Kargılık Koyu pembe turmalin oluşumlarının jeolojisi, mineralojisi ve gemolojik özellikleri hakkında ön bulgular. *1. Batı Anadolu Rough Hammadde Kaynakları Sempozyumu*, (s.: 448-453), İzmir.
- Schumann, W. (2000). *Gemstone of the World, Revised & Expanded Ed.*. Sterling Publishing Co., N.A.G. Press Ltd., New York, A.B.D., 254 s.
- Sinkankas, J. (1986). *Mineralogy*. Van Nostrand Reinhold Co. New York, A.B.D., 457 s.
- Şengör, A. M. C. & Yazıcı, M. (2020). The aetiology of neotectonic evolution of Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(3), 327-339. <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00039-0>
- Webmineral (2025). Minerals <http://webmineral.com/MySQL/xray.php>.
- Webster, R. (1979). *Gemmologist' Compendium*, 6th Ed.. Van Nostrand Reinhold Co. London. İngiltere, 167 s.
- Webster, R., Read, P.G. & Webster, R. (1994). *Gems: Their Sources, Descriptions and Identification*. 5th Ed., Butterworth-Heinemann, London, İngiltere, 546 s.
- Wise, R.W. (2003). *Secrets of the Gem Trade: The Connoisseur's Guide to Precious Gemstones*. Brunswick House Press, London, İngiltere, 178s.
- Wright, W. (1996). Check-list for rare gemstones—Kammererite. *Canadian Gemmologist*, 17, 14–17.



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. Yayınlarda 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 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 puntuyla (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 örneklerle uygun olarak verilmelidir.

Ahmet Ahmetoğlu

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği
Bölümü, Tandoğan 06100 Ankara
e-posta: a_ahmetoglu@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 konusun 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. Yayında 2 yazar varsa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa:

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

Metin içinde yazılması gerekiyorsa:

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

C. Yayında 2’den fazla yazar varsa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa:

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

Metin içinde yazılması gerekiyorsa:

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

D. Arka arkaya birden fazla atıfta bulunulacaksa

Parantez içinde yazılması gerekiyorsa:

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

Metin içinde yazılması gerekiyorsa:

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

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

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 kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

F. Kişisel Görüşme:

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

G. İnternette İndirilen Bilgiler:

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

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

H. Kaynak olarak kullanılan haritalar:

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

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.

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 dikey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için Dergi’nin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalara bastırılarak metnin sonunda (Kaynaklar dizininden 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) adresi üzerinden elektronik olarak sisteme yüklenmelidir.

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ EDITÖRÜ

Prof. Dr. Erdiç YİĞİTBAŞ

Tel: 286 2180018-20088

e-posta: 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 olmadığının 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 TUBITAK - 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.*, yayınlanacak makalelerin telif haklarının alınması için yazarlardan yazılı onay alır. İlgili yazar, dergiye sunulan makalenin yazarı/sahibi olduğunu ve kendisi ve diğer yazar(lar) adına telif hakkını JMO ve/veya *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 kullanımı 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 gerekliyse 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 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 işlemini 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 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 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
ORCID Number: 0000-0001-1458-0820

A. Hüsnü Hüsnüoğlu

MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdler Dairesi, 06520 Ankara
e-posta: 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

Paranthetical 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

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

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

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

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

In References:

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

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

Citations in the text:

Parenthetical citations: (Ahmetoğlu & Hüsnuoğlu, 2022a)

Narrative citations: Ahmetoğlu & Hüsnuoğlu (2022a)

References

All references cited in the text, and in captions of figures and tables should be presented in a list of references under 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.), *72nd Geological Congress of Turkey The Proceedings and Abstracts Book*, (s.63-64). Chamber of Geological Engineers of Turkey Publications No: 140. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/174e0f6fa731893_ek.pdf

C. Books:

C.1. Citing of books:

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

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

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

C.2. Citing of translated books:

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

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

D. Chapter in 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 kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi* [Unpublished Msc Thesis]. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

F. Personal Communications:

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

G. Information Downloaded from the Internet

Name of the Organization, (Date). 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_3^{2-} instead of Ca^{++} and CO_3^{--} . 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)

EDITOR IN-CHIEF

Prof. Dr. Erdinç YİĞİTBAŞ

Tel: 286 2180018-20088

e-mail: 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. 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 JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ağustos 2025 Cilt 68 Sayı 3
August 2025 Volume 68 Issue 3

Fatih Şen, Serdal Karaağaç

Evolution of Neogene Sedimentary Rocks on the Southern Margin of the Alaşehir Graben: Evidence for Termination of Tectonic Activity on the Alaşehir Detachment Fault During the Late Miocene

Alaşehir Grabeni'nin Güney Kenarındaki Neojen Tortul Kayaçlarının Evrimi: Alaşehir Sıyırılma Fayının Tektonik Aktivitesinin Geç Miyosen'de Sona Erdiğine Dair Kanıt.....287

İsmet Elma, Mirza Agha Safarov, Volkan Karabacak, Çağlar Özkaymak, Ökmen Sümer

Paleosismolojik Veriler Işığında Eskişehir Fayı'nın Batı Segmentinin Deprem Davranışı
Earthquake Behaviour of the Western Segment of the Eskişehir Fault in Light of Paleoseismological Data.....333

Muhammed Zeynel Öztürk, Mesut Şimşek, Mustafa Utlu

Geyik Dağı Üzerinde Yer Alan Glasiyal Sirkler ile Glasiyo-Karstik Dolinlerin Morfometrik Özellikleri ve Bunların Kuvaterner Kalıcı Kar Sınırı ile İlişkileri

Morphometric Characteristics of Glacial Cirques and Glacio-Karstic Dolines in Mount Geyik and Their Relation to Quaternary Equilibrium Line Altitudes.....357

Nurgül Balcı

Salda Gölü Mikrobyalitlerine Dair Yeni Bulgular ve Astrojeolojik Önemleri (Burdur, GB-Türkiye)

New findings about the Lake Salda Microbialites and Their Astrogeological Significance (Burdur, SW-Türkiye).....375

Lütfiye Akın, Erkan Aydar

Perlitleşmemiş Obsidiyen Genleşmesi: Hidrasyon ve Oluşum Özellikleri

Unperlitized Obsidian Expansion: Hydration and Formation Characteristics.....399

İsmail Erdem Kızılgöz, Çiğdem Şahin Demir, Ali Uçurum, Nazmi Otlu, Ahmet Efe, Ryan Mathur

Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Manto-Tipi Cu ($\pm$ Ag) Cevherleşmesinin Jeolojisi, Jeokimyası ve İzotop ($\delta^{65}\text{Cu}$ - $\delta^{34}\text{S}$ ‰) Oranları

Geology, Geochemistry, and Isotope Ratio ($\delta^{65}\text{Cu}$ - $\delta^{34}\text{S}$ ‰) of Manto-Type Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu ($\pm$ Ag) Mineralisation.....415

Murat Hatipoğlu

Türkiye'de Süstaşlarının (Mücevher Taşlarının) Yasal Durumu ve Yeni Düzenleme Yapılmasının Önemi

Legal Status of Gems (Jewellery Stones) in Türkiye and the Importance of New Regulations.....443

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 Yenışehir, 06410 Ankara
Tel: (0312) 434 36 01
Faks: (0312) 434 23 88
E-Posta: tjb@jmo.org.tr
URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb>

Corresponding Address

UCTEA Chamber of Geological Engineers of Turkey
PO Box 464 Yenışehir, TR-06410 Ankara
Phone: +90 312 434 36 01
Fax: +90 312 434 23 88
E-Mail: tjb@jmo.org.tr
URL: <https://dergipark.org.tr/en/pub/tjb>