TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Ocak 2026 Cilt 69 Sayı 1
Januray 2026 Volume 69 Issue 1

ISSN 1016-9164

TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

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

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

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

Ocak 2026 Cilt 69 Sayı 1
January 2026 Volume 69 Issue 1

İÇİNDEKİLER
CONTENTS

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

Türkiye Jeoloji Bülteni
Geological Bulletin of Turkey
69 (2026) 1-10

VEFEYÂT / *OBITUARY*

Prof. Dr. Namık AYSAL'ın Ardından: Bilime, Gençliğe ve Dağlara Adanmış Bir Ömür

In Memory of Prof. Dr. Namık AYSAL: A Life Dedicated to Science, Youth and the Mountains

Sabah Yılmaz Şahin[1], Nurullah Hanilçi[1]

[1] *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Büyükçekmece İstanbul, Türkiye*

• Geliş/Received: 26.12.2025 • Kabul/Accepted: 27.12.2025 • Baskı/Printed: 31.01.2026

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

Fotoğraf: Kasım-2024'te MTA Projesi kapsamında Menderes Masifine ait Orta-Üst Triyas mermerlerinde inceleme yaparken keşfettiği **antik mermer ocağı** (Üçkuyu-Bekilli-Denizli).

Photo: Ancient marble quarry *which he discovered in November 2024 while conducting research on Middle-Upper Triassic marbles belonging to the Menderes Massif as part of an MTA Project (Üçkuyu-Bekilli-Denizli).*

Türkiye jeoloji camiası büyük bir değerini, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi, kıymetli dostumuz ve hocamız Prof. Dr. Namık Aysal'ı 6 Ekim 2025 tarihinde kaybetmenin derin

The Turkish geological community has experienced profound sorrow over the loss of one of its greatest values, our dear friend and teacher, Prof. Dr. Namık Aysal, a faculty member of the Department of Geological Engineering at Istanbul University-Cerrahpaşa, on October 6, 2025. At only 52 years of age, during the most productive years of his life, Prof. Dr. Aysal's untimely passing has left an irreplaceable void not only in the academic community but also among his students and friends. Mr. Aysal dedicated his short life to science, his students, the Geochronology and Geochemistry Laboratory—which he established with great effort alongside his colleagues and remains unique in our country—his colleagues throughout Türkiye, and the mountains he loved so much. His multi-faceted personality, inexhaustible energy, and the "guiding driving force" he radiated to his surroundings are felt even more profoundly in his absence and are deeply missed.

His Life and Academic Journey

Prof. Dr. Namık AYSAL was born in Uşak in 1973. After completing his primary and

Yazışma / *Correspondence:* sabahys@iuc.edu.tr

http://tjb.jmo.org.tr
http://dergipark.gov.tr/tjb

üzüntüsünü yaşamıştır. Henüz 52 yaşında, hayatının en verimli çağında aramızdan zamansız ayrılan Prof. Dr. Aysal'ın vefatı, yalnızca akademik camiada değil, öğrencileri ve dostları arasında da yeri doldurulamaz bir boşluk bırakmıştır. Sayın Aysal, kısa ömrünü bilime, öğrencilerine, ülkemizde tek olan ve büyük emek harcayarak arkadaşları ile kurduğu Jeokronoloji ve Jeokimya Laboratuvarına, Türkiye'nin dört bir yanındaki meslektaşlarına ve çok sevdiği dağlara adamıştır. Sahip olduğu çok yönlü kişiliği, tükenmez enerjisi ve çevresine yaydığı "yön gösterici itici güç", yokluğunda çok daha fazla hissedilmekte ve özlemle aranmaktadır.

Yaşamı ve Akademik Yolculuğu

Prof. Dr. Namık Aysal, 1973 yılında Uşak'ta dünyaya gelmiştir. İlk ve orta öğrenimini memleketinde tamamladıktan sonra, 1990 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 1994 yılında mezun olmuştur. Akademik tutkusu onu hiç bırakmamış ve 1996 yılında İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak başladığı kariyerinde; 1998 yılında Yüksek Lisans, 2005 yılında ise Doktora derecesini almıştır. 2002–2017 yılları arasında Yardımcı Doçent, 2017–2022 yılları arasında Doçent olarak görev yapan Aysal, 2022 yılından itibaren Profesör unvanı ile bilime hizmet etmeye devam etmiştir.

Başarılı akademik hayatı boyunca TÜBİTAK "Başarı Öyküleri Ödülü" (2013), TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası "Altın Çekiç Ödülü" (2016) ve TÜBİTAK "Proje Performans Ödülü" (2017) gibi pek çok saygın ödüle layık görülmüştür.

Türkiye İçin Bir Vizyon ve Miras: Jeokronoloji ve Jeokimya Laboratuvarı

Prof. Dr. Namık Aysal'ın ülkemizdeki yerbilimleri camiasına kattığı en önemli vizyon ve bıraktığı en büyük miras, hiç şüphesiz kuruluşuna

secondary education in his hometown, he entered the Department of Geological Engineering at Istanbul University in 1990 and graduated in 1994. His academic passion never left him, and in 1996 he began his career as a Research Assistant at the Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Istanbul University; he received his Master's degree in 1998 and his PhD in 2005. Between 2002–2017, Aysal served as Assistant Professor, between 2017–2022 as Associate Professor, and since 2022 he continued to serve science with the title of Professor.

Throughout his successful academic life, he was deemed worthy of many prestigious awards, such as TÜBİTAK's "Success Stories Award" (2013), the Chamber of Geological Engineers of TMMOB's "Golden Hammer Award" (2016), and TÜBİTAK's "Project Performance Award" (2017).

A Vision and Legacy for Türkiye: The Geochronology and Geochemistry Laboratory

The most significant vision that Prof. Dr. Namık Aysal contributed to the geosciences community in our country, and the greatest legacy he left behind, is undoubtedly the establishment of ***Geochronology and Geochemistry Laboratory,*** *as he pioneered. Feeling the lack of a modern center in Türkiye that would allow radiometric dating of rocks, Prof. Dr. Aysal shaped its technical infrastructure and capacity with his own foresight and effort, and together with his colleagues turned this dream into reality in 2018.*

This center opened the way for research not only in geosciences but also in different disciplines such as archaeogeology and astrogeology. The laboratory, which also met analysis demands from Asian, Middle Eastern, and African countries, became an international scientific hub

öncülük ettiği **Jeokronoloji ve Jeokimya Laboratuvarı**'dır. Ülkemizde kayaçların radyometrik yaşlandırılmasına olanak sağlayan modern bir merkezin eksikliğini hisseden Prof. Dr. Aysal, teknik altyapısı ve kapasitesini bizzat kendi öngörü ve emeğiyle şekillendirerek bu hayalini arkadaşlarıyla birlikte 2018 yılında gerçeğe dönüştürmüştür.

Bu merkez, yalnızca yerbilimlerinde değil; arkeojeoloji ve astrojeoloji gibi farklı disiplinlerde de araştırmaların önünü açmıştır. Asya, Ortadoğu ve Afrika ülkelerinden gelen analiz taleplerini de karşılayan laboratuvar; İngiltere (Leeds), İsviçre (ETH-Zürich) ve Almanya (Tübingen) gibi dünyanın önde gelen üniversitelerle ortak projeler üretilen uluslararası bir bilim üssü haline gelmiş; yetiştirdiği öğrenciler ve yürüttüğü projelerle ardında kıymetli bir miras bırakmıştır. Kurulumuna öncülük ettiği laboratuvarda üretilen verilerle uluslararası pek çok yayın yapılmıştır (Tükel vd., 2025a ve 2025b; Göçmengil vd., 2025; Aysal vd., 2025a, 2025b; Özbaş ve Hanilçi, 2025; Sönmez ve Aysal, 2025; Kaygısız vd., 2024; Uzun vd., 2024; Özbey vd., 2024; Aysal vd., 2024; Bozkaya, vd., 2024; Şahin, vd., 2024; Aysal, vd., 2023; Yılmaz, vd., 2022; Göçmengil, vd., 2022).

Prof. Aysal'ın öncülüğünde, bu laboratuvarda üretilen ve dünya jeokronoloji camiasına bırakılan en önemli miras ise **"İkincil Doğal Granat Referans Materyali**'dir. Türkiye'de ilk kez U–Pb yaşlandırma yöntemiyle granat minerallerinin tarihlendirilmesi bu laboratuvarda yapılmış; granat yaşlandırmasında kullanılmak üzere uluslararası kabul gören **IUC-1** ve **IUC-2** isimli referans materyaller oluşturularak "*Geostandards and Geoanalytical Research" dergisinde "A New Natural Secondary Reference Material for Garnet U-Pb Dating by TIMS and LA-ICP-MS*" (Aysal vd., 2023) başlığıyla yayınlanmıştır. Bu materyal, bugün dünya genelinde yirmiden fazla jeokronoloji laboratuvarında ikincil referans olarak kullanılmaktadır.

producing joint projects with leading universities of the world such as Leeds (UK), ETH-Zürich (Switzerland), and Tübingen (Germany). It has left behind a precious legacy through the students it trained and the projects it conducted. Numerous international publications were produced with the data produced in the laboratory he pioneered (Tükel et al., 2025a, 2025b; Göçmengil et al., 2025; Aysal et al., 2025a, 2025b; Özbaş and Hanilçi, 2025; Sönmez and Aysal, 2025; Kaygısız et al., 2024; Uzun et al., 2024; Özbey et al., 2024; Aysal et al., 2024; Bozkaya et al., 2024; Şahin et al., 2024; Aysal et al., 2023; Yılmaz et al., 2022; Göçmengil et al., 2022).

*The most significant legacy left to the global geochronology community under Prof. Aysal's leadership is the "**Secondary Natural Garnet Reference Material**". For the first time in Türkiye, garnet minerals were dated using the U–Pb method in this laboratory; internationally accepted reference materials named **IUC-1** and **IUC-2** were created for use in garnet dating, and published in the journal Geostandards and Geoanalytical Research under the title "A New Natural Secondary Reference Material for Garnet U-Pb Dating by TIMS and LA-ICP-MS" (Aysal et al., 2023). Today, this material is used as a secondary reference in more than twenty geochronology laboratories worldwide.*

In the laboratory he established, Prof. Dr. Aysal, in addition to routine U-Pb zircon dating, continuously tested the dating of new minerals, and for the first time in Türkiye successfully carried out U-Pb dating of calcite in marbles (Aysal et al., 2025a; Tükel et al., 2025a), rutile in metamorphics (Uzun et al., 2024; Kaygısız et al., 2024), apatite in apatite-bearing iron deposits, and scheelite in orogenic gold deposits, thereby enhancing the laboratory's capabilities.

Prof. Dr. Aysal, öncülüğünde kurduğu laboratuvarda rutin U-Pb zirkon yaşlandırmasının yanı sıra, sürekli yeni minerallerin yaşlandırılması üzerinde testler yapmış ve Türkiye'de ilk kez mermerlerde kalsit U-Pb yaşlandırması (Aysal vd., 2025a; Tükel vd., 2025a), metamorfiklerde rutil (Uzun vd., 2024; Kaygısız vd., 2024), apatitli demir yataklarında apatit, orojenik altın yataklarında şeelit gibi farklı minerallerde U-Pb yaşlandırmasını doğru ve başarılı bir şekilde gerçekleştirerek laboratuvarın kabiliyetini artırmıştır.

Bilimsel Mirası ve İlkleri

Uzmanlık alanı olan Mineraloji-Petrografi'nin sınırlarını aşan Prof. Dr. Namık Aysal, multidisipliner çalışmalara öncülük ederek alanındaki yetkin/otoriter ve saygın kişiliği sayesinde, jeoloji, jeofizik ve inşaat mühendisliği, astronomi, arkeoloji, şehir planlaması ve birçok meslek grubu ile yaptığı iş birlikleri sonucunda önemli yayınlara imza atmıştır.

Prof. Dr. Namık Aysal'ın bilimsel mirasları birkaç alt başlıkta aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

Magmatik, Metamorfik Petrojenez Çalışmaları ve Jeolojik Evrime Katkıları

Prof. Dr. Namık Aysal, özellikle Türkiye'deki magmatik petrojenez çalışmalarında, modern jeokimyasal ve jeokronolojik yöntemler kullanarak, güncel veriler üretmiş, bazı bölgeler için ise o güne kadar bilinmeyen, ilk olma özelliği taşıyan verilere ulaşmıştır. Aysal ve arkadaşları, İstanbul Bölgesi ve çevresindeki granitoyidler konusunda yaptıkları araştırılmasında, o güne kadar farklı yaşlarda olduğu literatüre geçmiş granitoyid Plütonlarının yaşlarını Pre-Kambriyen (Cadomian) olarak saptamışlardır (Yılmaz Şahin vd., 2014). Benzer şekilde, Batı Anadolu'da yaptığı çalışmalarla granitoyidlerde Alt-Orta Devoniyen yaşını saptamıştır (Aysal vd., 2012).

His Scientific Legacy and Firsts

Prof. Dr. Namık Aysal, transcending the boundaries of his field of expertise in Mineralogy-Petrography, pioneered multidisciplinary studies and, thanks to his competent, authoritative, and respected personality, signed important publications through collaborations with geology, geophysics and civil engineering, astronomy, archaeology, urban planning, and many other professional groups.

Prof. Dr. Namık Aysal's scientific legacies can be summarized under several subheadings as follows:

Magmatic and Metamorphic Petrogenesis Studies and Contributions to Geological Evolution

Prof. Dr. Namık Aysal, particularly in studies of magmatic petrogenesis in Türkiye, produced up-to-date data using modern geochemical and geochronological methods, and for some regions reached data that had until then been unknown, carrying the distinction of being the first. In their research on granitoids in the Istanbul Region and its surroundings, Aysal and his colleagues determined the ages of granitoid plutons, which had previously been recorded in the literature as of different ages, as Precambrian (Cadomian) (Şahin et al., 2014). Similarly, through his studies in Western Anatolia, he identified Early–Middle Devonian ages in granitoids (Aysal et al., 2012). He took part in numerous national and international projects concerning the evolution of magmatic rocks across time intervals extending from the Precambrian to the present.

Prof. Aysal continued his academic studies regarding the magmatic and metamorphic rocks of the ***Istranca (Strandja) Massif*** *in the Thrace region and some massifs in Western Anatolia (****Menderes Massif*** *and Metamorphic belts) with his graduate students. In doctoral dissertations*

Prekambriyen'den günümüze uzanan zaman aralıklarında magmatik kayaçların evrimini konu alan çok sayıda ulusal ve uluslararası projede görev almıştır.

Prof. Namık Aysal, Trakya bölgesi Istranca Masifi magmatik ve metamorfikleri ile Batı Anadolu'daki bazı masifler (Menderes Masifi ve Metamorfik kuşaklar) ile ilgili akademik çalışmalarına Lisansüstü öğrencileri ile devam etmiştir. Hazırlanan doktora tez çalışmalarında masifler içerisindeki magmatik ve metamorfik kayaçlarla ilgili, mineralojik-petrografik-jeokimyasal ve jeokronolojik çalışmalarla pek çok analitik veri üretilmiştir (Uzun, vd., 2024; Kaygısız, vd., 2024).

Astrojeoloji Alanındaki Katkıları

Prof. Dr. Namık Aysal öncülüğünde kurulan Jeokronoloji ve Jeokimya Laboratuvarında, Mars'tan gelen **NWA 6963** meteoritinin apatit mineralleri, U–Pb yöntemiyle **4,2 milyar yıl** olarak tarihlendirmiş; NASA araştırmacılarının da yer aldığı ekiplerle meteoritlerin kökenine ilişkin önemli mineral kimyası analizleri yürütmüş ve yayına hazırlamıştır. Ayrıca, Türkiye'de son on yılda tanımlanan birçok meteoritin **(Didim, Turgut, Karaman meteoritleri)** bilim dünyasına kazandırılmasında öncü rol üstlenmiştir. Yönetmiş olduğu bir Lisansüstü tezi ile **Antartika'nın mikrometoritlerinin** atmosferik soğuma koşullarını çalışmış ve yayınlayarak Türkiye'de ilk kez yapılan bir çalışma olarak literatüre kazandırmıştır (Sönmez ve Aysal, 2025). Ayrıca, Prof. Dr. Namık Aysal, vefatından kısa süre önce Prof. Dr. Mehmet Keskin ile birlikte, "***A barren planet concealing a wet surprise within: Hydrous mega mantle plumes of Mars***" başlıklı makaleyi hazırlamış ve ölümünden sonra Prof. Keskin tarafından dergiye gönderilmiştir. Çalışma, Mars'ın küçük boyutuna rağmen sahip olduğu devasa manto sorguçları ve volkanizmayı, gezegenin özgün manto yapısıyla açıklar. Yazarlara göre Mars'ta alt manto yoktur;

prepared under his supervision, extensive analytical data were produced on magmatic and metamorphic rocks within these massifs through mineralogical, petrographic, geochemical, and geochronological (Uzun, et al., 2024; Kaygısız, et al., 2024).

Contributions in the Field of Astrogeology

*In the Geochronology and Geochemistry Laboratory established under the leadership of Prof. Dr. Namık Aysal, the apatite minerals of the **NWA 6963** meteorite from Mars were dated as **4.2 billion years** using the U–Pb method; important mineral chemistry analyses regarding the origin of meteorites were conducted and prepared for publication by teams including NASA researchers. Furthermore, he played a pioneering role in introducing many meteorites identified in Türkiye over the last decade (**Didim, Turgut, and Karaman meteorites**) to the scientific community. Through a Master's thesis he supervised, he studied the atmospheric cooling conditions of **Antarctica's micrometeorites** and, by publishing it, introduced it to the literature as the first study of its kind conducted in Türkiye (Sönmez and Aysal, 2025). Furthermore, shortly before his death, Prof. Dr. Namık Aysal, together with Prof. Dr. Mehmet Keskin, prepared the article titled "**A barren planet concealing a wet surprise within: Hydrous mega mantle plumes of Mars,**" which was submitted to the journal by Prof. Keskin after his death. The study explains Mars' enormous mantle plumes and volcanism, despite its small size, by the planet's unique mantle structure. According to the authors, Mars has no lower mantle; above the core lies a transition zone twice as thick as Earth's and rich in volatile elements such as water and halogens. This zone is the only mantle layer from which plumes can rise and is the source of the enormous plume in Elysium Planitia*

çekirdeğin üzerinde, Dünya'dakinden iki kat kalın ve su ile halojen gibi uçucu elementlerce zengin bir geçiş zonu bulunur. Bu zon, sorguçların yükselebildiği tek manto katmanıdır ve Elysium Planitia'daki devasa sorgucun da kaynağıdır.

Arkeojeoloji ve Kültürel Miras

Prof. Dr.Namık Aysal, akademik hayatına başladığı günden itibaren yaşadığı şehrin kültürel birikimlerine saygı duymuştur. Tarihi eserlerin (Camiler, kiliseler, çeşmeler, …vb) yapımında kullanılan doğal yapı taşlarının mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiş, restorasyon sırasında kullanılabilecek uygun yapı taşlarının kökenini ve restorasyon potansiyellerini araştırarak eserlerin restorasyon süreçlerine önemli katkılar sunmuştur. Tarihi eserlerde yapılan çalışmaları Doktora danışmanı Prof. Dr. Sinan Öngen ile birlikte kapsamlı "**İstanbul'u Süsleyen Dekor *Taşları - Roma, Bizans, Osmanlı Medeniyetleri Mirası"*** isimli bir kitap hazırlayarak ölümsüzleştirmiş olup, kitap basılma aşamasındadır.

Prof. Dr. Aysal, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki arkeolojik kazılarda görev alarak antik kentlerin ve tarihi eserlerin yapımında kullanılan malzemelerin analizi konusunda multidisipliner çalışmalar yaparak yayınlamıştır (Öngen vd., 2012; Aysal vd., 2016; Ündül vd., 2025; Tükel vd., 2025a; Aysal vd., 2025b). Ayrıca, bu tür çalışmalarıyla farklı disiplinlerde lisansüstü eğitim yapan birçok öğrencinin akademik gelişimine katkı sunmuştur.

Yapay Zeka ve Jeoloji

Prof. Dr. Aysal, yenilikçi vizyonunun bir eseri olarak en son çalışmasında **yapay zeka (Artificial Intelligence; AI)** tabanlı termobarometri yöntemlerini kullanmıştır. Son çalışması olan "*Thermobarometry of Clinopyroxene, Amphibole and Biotite for the Oligo-Miocene Plutons (NW Türkiye): Comparison of Conventional and AI-*

Archaeogeology and Cultural Heritage

*Prof. Dr. Namık Aysal, from the day he began his academic career, has shown respect for the cultural heritage of the city he lives in. He has studied the mineralogical-petrographic and geochemical properties of natural building stones used in the construction of historical monuments (mosques, churches, fountains, etc.), and has made significant contributions to the restoration processes of these monuments by researching the origins and restoration potential of suitable building stones that can be used during restoration. He has immortalized his work on historical monuments by preparing a comprehensive book titled "**Decorative Stones Adorning Istanbul - The Heritage of Roman, Byzantine, and Ottoman Civilizations**" together with his doctoral advisor, Prof. Dr. Sinan Öngen, which is currently in the printing stage.*

Prof. Dr. Aysal took part in archaeological excavations in different regions of Türkiye, conducting and publishing multidisciplinary studies on the analysis of materials used in the construction of ancient cities and historical monuments (Öngen et al., 2012; Aysal et al., 2016; Ündül et al., 2025; Tükel et al., 2025a) Aysal et al., 2025b). Additionally, through such studies, he contributed to the academic development of many students pursuing postgraduate education in different disciplines.

Artificial Intelligence (AI) and Geology

*As a product of his innovative vision, Prof. Dr. Aysal utilized **Artificial Intelligence (AI)** based thermobarometry methods in his latest work. He submitted his final study, an article titled "Thermobarometry of Clinopyroxene, Amphibole and Biotite for the Oligo-Miocene Plutons (NW Türkiye): Comparison of Conventional and AI-*

Based Methods" makalesini, vefatından birkaç ay önce dergiye göndermiş ve makale vefatından sonra yayına kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Namık Aysal, pek çok lisans ve lisansüstü düzeyde öğrenci yetiştirmiş, 70'in üzerinde ulusal ve uluslararası makale (47 adet SCI-ESCI) yayınlamış, çok sayıda uluslararası dergilerde hakemlik ve yardımcı editörlükler yapmıştır. Kısa, ancak üretken olan ömründe 35 bilimsel projeyi başarıyla tamamlamış, bir Avrupa Birliği projesi ve dört uluslararası TÜBİTAK projesinde yürütücü veya araştırmacı olarak görev almıştır.

"İyi Bir Dost, İyi Bir İnsan"

Prof. Dr. Namık Aysal, Jeoloji alanında değerli bir bilim insanı, öğrencileri için şefkatli ve yardımsever bir hoca, akademik ortamda tükenmez bir enerji kaynağı, yeni fikirler üreten, yaratıcı ve çok çalışkan bir insan, sosyal hayatta çok iyi bir dost ve ailesi için yeri doldurulamayacak bir evlat olmayı başarmış özel bir insandır. İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde başlayıp yine orada noktaladığı kariyeri boyunca, kendisiyle birlikte çalışma şansı bulan insanların kendini şanslı hissettiği bir kişiliktir.

Jeoloji tutkusunu ve cesaretini çevresiyle paylaşan güzel ve özel bilim insanı; kurduğu laboratuvarla bilime, yetiştirdiği öğrencilerle geleceğe ve yazdığı eserlerle literatüre ışık tutmaya devam edecektir. Prof. Dr. Namık Aysal, jeoloji camiasında daima saygı, minnet ve büyük bir özlemle anılacaktır…

Aziz hatırası önünde saygıyla eğiliyoruz.
Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN
Prof. Dr. Nurullah HANİLÇİ

Based Methods," to "Journal of Geosciences" a few months before his passing, and the article has been accepted for publication after his death.

Prof. Dr. Namık Aysal trained many students at the undergraduate and graduate levels, published over ***70 national and international articles (47 SCI-ESCI)****, and served as a reviewer and associate editor for numerous international journals. In his short but productive life, he successfully completed* ***35 scientific projects*** *and served as a coordinator or researcher in one European Union project and four international TÜBİTAK projects.*

A Good Friend, a Good Human

Prof. Dr. Namık Aysal was a valuable scientist in the field of Geology, a compassionate and helpful teacher for his students, an inexhaustible source of energy in the academic environment, a person who produced new ideas, creative and hardworking, a very good friend in social life, and an irreplaceable son for his family. Throughout his career, which began and concluded in the Department of Geological Engineering at Istanbul University, he was a personality with whom those who had the chance to work felt fortunate. This beautiful and special scientist, who shared his passion and courage for geology with those around him, will continue to shed light on science through the laboratory he established, on the future through the students he trained, and on the literature through the works, he wrote.

Prof. Dr. Namık Aysal will always be remembered in the geology community with respect, gratitude, and deep longing…

We bow with reverence before his cherished memory.
Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN
Prof. Dr. Nurullah HANİLÇİ

ORCID

Sabah Yılmaz Şahin https://orcid.org/0000-0002-6928-0923
Nurullah Hanilçi https://orcid.org/0000-0002-7720-1551

KAYNAKLAR / *REFERENCES*

Aysal, N., Ustaömer, T., Öngen, S., Keskin, M., Köksal, S., Peytcheva, I. & Fanning, M. (2012). Origin of the Early-Middle Devonian magmatism in the Sakarya Zone, NW Turkey: geochronology, geochemistry and isotope systematics. *Journal of Asian Earth Sciences, 45*, 201-222. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.10.011

Aysal, N., Öngen, S., Doksanaltı, E. M., Şahin, O., Çağıran, E., Şahin, D., Eruş, M., Baykır, M. ve Kocaışık, F. (2016). Knidos Antik Kentinde Kullanılan Yapıtaşları, Harç ve Sıvaların Mineralojisi, Petrografisi ve Yer Seçiminde Rol Oynayan Jeolojik Faktörler. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, *19*, 46-62.

Aysal, N., Guillong, M., Bayanova, T., Fukuyama, M., Leonard, N., Yılmaz, İ., Varol, E., Tükel, F. Ş., Kadıoğlu, Y. K., Hanilçi, N. & Uzun, F. (2023). A new natural secondary reference material for garnet U-Pb dating by TIMS and LA-ICP-MS. *Geostandards and Geoanalytical Research*, *47*(2), 297-310. https://doi.org/10.1111/ggr.12493

Aysal, N., Karslıoğlu, Ö., Erdem, E., Guillong, M., Öngen, S., Uysal, I. T., Kaygısız, E. & Yıldırım, I. D. (2025a). U-Pb calcite geochronology, EPR, geochemistry, and CO-Sr isotopes of ancient marbles in the İznik Region (Bursa-Türkiye). *Turkish Journal of Earth Sciences*, *34*(5), 650-668. https://doi.org/10.55730/1300-0985.1981

Aysal, N., Erdem, E., Hanilçi, N., Güngör, T., Öngen, S., Yılmaz, I., Uzun, F., Laçin, D. & Yıldırım, I. D. (2025b). Petrography, electron paramagnetic resonance, geochemistry, and Sr-CO isotope data for provenance studies of the ancient Marmor Iassense in Kıyıkışlacık (Muğla region), Türkiye. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *34*(2), 176-189. https://doi.org/10.55730/1300-0985.1952

Bozkaya, Ö., Bozkaya, G., Aysal, N., Hanilçi, N. & Yılmaz, H. (2024). Mineral chemistry and garnet U-Pb dating in the Bizmişen iron skarn deposit, Erzincan, East-Central Türkiye. *Geochemistry*, 84(4), 126163. https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126163

Göçmengil, G., Tükel, F. Ş., Uzun, F., Guillong, M., Yılmaz, İ., Aysal, N. & Hanilçi, N. (2022). Accurate whole-rock geochemistry analysis by combined ICP-OES and LA-ICP-MS instruments. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, *168*, 157-165. https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.947703

Göçmengil, G., Müntener, O., Karacık, Z., Genç, Ş.C., Ulianov, A. & Aysal, N. (2025). Petrogenesis of a post-collisional, shallow crustal mafic complex: A case study of the Yıldız Dağı gabbroic intrusion (Northern Türkiye). *Lithos, 516-517*, Article 108260. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2025.108260

Kaygısız, E., Aysal, N. & Yağcıoğlu, K.D. (2024). Detrital zircon and rutile U–Pb dating of garnet-mica schist in the Istranca (Strandja) Massif (NW Türkiye): Mineral chemistry and metamorphic conditions. *Geochemistry*, *84*(4), Article 126172. https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126172

Öngen, S., Aysal, N., Baykır, M. ve Şahin, M.O. (2012). Tarihi Aydos Kalesi yapı taşları, harç ve sıvalarının petrografisi ve kaynak alanları. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 8, 30-36.

Öngen, S. ve Aysal, N., (Basım Aşamasında). *İstanbul'u Süsleyen Dekor Taşları - Roma, Bizans, Osmanlı Medeniyetleri Mirası*. (Kitap).

Özbaş, F. & Hanilçi, N. (2025). Quartz textures, mineral chemistry and fluid inclusion features of Tuztaşı low-sulphidation Au mineralization: Implication to it's formation. *Geochemistry*, *85*(1), Article 126220. https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126220

Özbey, Z., Aysal, N., Caran, Ş., Tükel, F.Ş., Yağcıoğlu, K. D., Yeşiltaş, M. & Yılmaz, İ. (2024). Mineral chemistry and P–T conditions of the winchite-bearing metabasic rocks in the NE edge of the Menderes Massif (Western Türkiye). *Geochemistry*, *84*(4), Article 126126. https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126126

Sönmez, T. & Aysal, N. (2025). Crystal morphology of Antarctic micrometeorites based on melting–cooling processes during atmospheric entry. *Crystals*, 15(2). https://doi.org/10.3390/cryst15020179

Şahin, S. Y., Aysal, N., Güngör, Y., Peytcheva, I. & Neubauer, F. (2014). Geochemistry and U–Pb

zircon geochronology of metagranites in Istranca (Strandja) Zone, NW Pontides, Turkey: Implications for the geodynamic evolution of Cadomian orogeny. *Gondwana Research*, *26*(2), 755-771. https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.07.011

Şahin, S. Y., Naycı, Ö., Aysal, N., Cansu, Z. & Tükel, F. Ş. (2024). Geochemical and geochronological evidences from Cambrian to Ordovician protracted magmatism in the Istranca Massif, NW Türkiye. *Geochemistry*, *84*(4), Article 126196. https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126196

Tükel, F. Ş., Tiringa, D., Hanilçi, N., Ateşçi, B., Aysal, N. & Alan, İ. (2025a). Geochemistry and U-Pb dating of the Yahyalı pluton and associated skarn occurrences, SW Kayseri (Central Türkiye): Geodynamic significance and relation to mineralization. *Journal of Geochemical Exploration*, *274*, Article 107756. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2025.107756

Tükel, F. Ş., Aysal, N., Yıldırım, İ. D., Guillong, M., Uysal, T., Öngen, S. & Erdem, E. (2025b). U-Pb calcite geochronology, EPR, geochemistry, and CO-Sr isotopes of Africano marbles in the Seferihisar (İzmir, Türkiye). *Turkish Journal of Earth Sciences*, *34*(4), 590-609. https://doi.org/10.55730/1300-0985.1977

Uzun, F., Aysal, N., Guillong, M. ve Allaz, J.M. (2024). Mineral chemistry and geothermobarometry of metasedimentary rocks of Central Menderes Massif, Western Türkiye: Metamorphic evolution and source of metapelitic rocks. *Geochemistry*, *84*(4), Article 126199. https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126199

Ündül, Ö., Erözmen, T., Aysal, N. ve Güleç, A. (2025). Alternative stones and cleaning efficiencies for historical building stones used in İstanbul (Türkiye). *Turkish Journal of Earth Sciences*, *34*(3), 455-478. https://doi.org/10.55730/1300-0985.1969

Yılmaz, İ., Şahin, S.Y., Aysal, N., Güngör, Y., Akgündüz, A. ve Bayhan, U. C. (2022). Geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Cadomian (Ediacaran–Cambrian) magmatism in the Istranca (Strandja) Massif: new insights into magmatism along the northern margin of Gondwana in NW Turkey. *International Geology Review*, *64*(17), 2456-2477. https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1901249

Türkiye Jeoloji Bülteni
Geological Bulletin of Turkey
69 (2026) 11-44
doi: 10.25288/tjb.1691257

Taşköprü (Akşehir-Eber Gölleri Arası) Sondaj Karot Verilerinin Geç Pleyistosen Gastropoda-Bivalvia Faunası ve Paleobiyocoğrafik Yayılımı (GB Anadolu)

Late Pleistocene Gastropoda-Bivalvia Fauna and Paleobiogeographical Distribution Based on Core Drilling Data from Taşköprü (Between Lake Akşehir and Lake Eber, SW Anatolia)

Harika Marmara[1*], Sevinç Kapan[2]

[1] *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği A.B.D. 17100 Çanakkale, Türkiye*
[2] *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 17100 Çanakkale, Türkiye*

• Geliş/Received: 04.05.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 28.07.2025 • Kabul/Accepted: 29.07.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 24.10.2025 • Baskı/Printed: 31.01.2026

Araştırma Makalesi/Research Article *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Öz: Bu çalışmada, Taşköprü köyünde (Akşehir ve Eber gölleri arasında yer alan) yaptırılmış olan her biri 12 metre derinliğe sahip iki adet sondaj karotuna ait örneklerin Mollusca (Gastropoda ve Bivalvia) faunası ilk kez sistematik olarak incelenmiş ve faunanın paleobiyocoğrafik dağılımı ortaya çıkarılmıştır. Sondaj karotlarından sistematik olarak derlenen örneklerden; Mollusca şubesinin Gastropoda sınıfına ait 8 cins ve 8 tür; *Valvata piscinalis* (O. F. Müller, 1774), *Valvata* sp., *Bithynia pseudemmericia* Schütt, 1964, *Bithynia pseudemmericia* operkül, *Graecoanatolica lacustristurca* Radoman, 1973, *Laevicaspia caspia* (Eichwald, 1838), *Laevicaspia kolesnikoviana* (Logvinenko & Starobogatov, 1966), *Laevicaspia lincta* (Milaschewitsch, 1908), *Laevicaspia* sp., *Lymnaea* sp., *Stagnicola* sp., *Radix auricularia* (Linnaeus, 1758), *Radix* sp., *Gyraulus parvus* (Say, 1817), *Gyraulus* sp. ile Bivalvia sınıfına ait; *Euglesa casertana* (Poli, 1791), *Euglesa personata* (Malm, 1855), *Pisidium amnicum* (O. F. Müller, 1774), *Pisidium jassiensis* Cobălcescu, 1883, *Pisidium* sp., *Dreissena iconica* Schütt, 1991, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), *Dreissena* sp. olmak üzere 3 cins ve 6 türün tanımlaması yapılmıştır. Göller Bölgesi'nde daha önce yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde; Konya Kapalı Havzası, Eğirdir, Beyşehir, Burdur ve Suğla göllerinin çökellerinde varlığı tespit edilmiş olan *Valvata piscinalis*, *Bithynia pseudemmericia*, *Graecoanatolica lacustristurca*, *Radix auricularia*, *Gyraulus parvus*, *Euglesa casertana*, *E. personata*, *Pisidium amnicum*, *P. jassiensis* ve *Dreissena iconica* türlerinin, inceleme alanında da tarafımızdan tanımlanmış olması, Geç Pleyistosen esnasında söz konusu havzalar arasında fiziksel bir bağlantının mevcut olabileceğine ya da bu göllerin benzer paleoortamsal koşullarda gelişmiş olabileceğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gastropoda-Bivalvia, GB Anadolu, Geç Pleyistosen, Paleocoğrafya, Taşköprü.

Abstract: *In this study, the Mollusca fauna (Gastropoda and Bivalvia) from two drilling cores, each 12 meters deep and obtained in Taşköprü village (located between Lake Akşehir and Lake Eber), was systematically examined for the first time, and the paleobiogeographic distribution of the fauna was documented. From the systematically collected samples obtained from the drilling cores, eight genera and eight species belonging to the class Gastropoda of the phylum Mollusca were identified, including Valvata piscinalis (O. F. Müller, 1774), Valvata sp., Bithynia pseudemmericia Schütt, 1964, Bithynia pseudemmericia operculum, Graecoanatolica lacustristurca Radoman, 1973, Laevicaspia caspia (Eichwald, 1838), Laevicaspia kolesnikoviana (Logvinenko & Starobogatov, 1966), Laevicaspia*

* Yazışma / *Correspondence*: harikamarmara.scholar@gmail.com

http://tjb.jmo.org.tr
http://dergipark.gov.tr/tjb

lincta (Milaschewitsch, 1908), Laevicaspia sp., Lymnaea sp., Stagnicola sp., Radix auricularia (Linnaeus, 1758), Radix sp., Gyraulus parvus (Say, 1817), and Gyraulus sp. Additionally, three genera and six species belonging to the class Bivalvia were identified, including Euglesa casertana (Poli, 1791), Euglesa personata (Malm, 1855), Pisidium amnicum (O. F. Müller, 1774), Pisidium jassiensis Cobălcescu, 1883, Pisidium sp., Dreissena iconica Schütt, 1991, Dreissena polymorpha (Pallas, 1771), and Dreissena sp. Comparison with previous studies from the Lakes Region shows that the occurrence of V. piscinalis, B. pseudemmericia, G. lacustristurca, R. auricularia, G. parvus, E. casertana, E. personata, P. amnicum, P. jassiensis, and D. iconica – species previously reported from sediments of the Konya Closed Basin and Lakes Eğirdir, Beyşehir, Burdur, and Suğla – suggests that during the Late Pleistocene there may have been a physical connection among these basins, or that these lakes developed under similar paleoenvironmental conditions.

Keywords: *Gastropoda–Bivalvia, Late Pleistocene, SW Anatolia, Paleogeography, Taşköprü*

GİRİŞ

Anadolu büyük ölçüde Oligosen'de yükselerek plato görünümü almaya başlamış, K-G yönlü genişleme rejimin etkisinde kalan Batı Anadolu'da Neojen'le birlikte çok sayıda gölsel havza gelişmiştir (Ring vd., 2003; Seyitoğlu vd., 2004; Alçiçek, 2007; Kazancı ve Roberts, 2019; Okay vd., 2020).

Bu havzalarda tanımlanan floral ve faunal topluluklar, paleoortamsal değişimlerin ve farklı bölgeler arasındaki paleocoğrafik bağlantının yorumlanmasında temel bir biyostratigrafik araç olarak kullanılmaktadır. Karasal ortamlardan derin denizlere kadar farklı yaşam alanlarını karakterize eden çok sayıda türü barındırdığı bilinen mollusk faunası, Anadolu'nun Geç Neojen'den Kuvaterner'e kadar devam eden paleocoğrafik evriminde 19. yüzyıldan bu yana bilim insanlarının ilgisini çekmektedir (Neubauer ve Wesselingh, 2023).

Batı Anadolu, zengin mollusk faunal çeşitliliği sayesinde paleontolojik, paleocoğrafik ve paleoekolojik araştırmalar açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Özellikle Anadolu'nun Göller Bölgesi'nde yer alan havzalarda gerçekleştirilen mollusk faunasının kullanıldığı çalışmalar (Roberts vd., 2003; Yıldız, 2016; Büyükmeriç ve Wesselingh, 2018; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018; Tuncer vd., 2023; Aktürk ve Kapan, 2025; Demir ve Kapan, 2025) havzalar arası bağlantının yorumlanmasında sağlam bir temel oluşturmaktadır.

Günümüzde, Akşehir ve Eber göllerini birbirinden ayıran bir kara parçası görünümünde olan Taşköprü lokasyonu (Şekil 1), morfololojik konumu itibariyla zengin paleoortamsal ve paleocoğrafik veri potansiyeline sahip olup, bu özellikleri nedeniyle çalışma alanı olarak tercih edilmiştir. Söz konusu alanın, daha önce mollusk faunasının sistematik olarak incelenmemiş olması da bu tercihi destekleyen bir diğer etken olmuştur. İnceleme alanında bugüne kadar; bölgenin tektonik özellikleri (Koçyiğit ve Özacar, 2003; Demirtaş vd., 2019), jeolojisi (Atalay, 1977; Umut vd., 1987), sedimantolojisi (Kazancı vd., 1994; İleri, 2002; Aktürk ve Kapan, 2025), Akşehir ve Eber göllerinin göl seviyesi değişimleri (Dönmez, 2018; Gürbüz, 2023; Coşkun, 2024), Akşehir Gölü'nün; plankton ve bentik faunası (Çetinkaya, 1991; Sözen ve Yiğit, 1999), ostrakod faunası (Altınsaçlı vd., 2000), alg florası (Elmacı ve Obalı, 1998) ve florası (Kala, 2006) konusunda çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bölgede güncel mollusklara dayalı çalışmalar da mevcuttur. Bilgin (1980), *Unio pictorum*'u Akşehir Gölü, Taşköprü civarı ile Akşehir Gölü'nü Eber Gölü'ne bağlayan kanaldan toplamıştır. Bilgin (1973), *Stagnicola palustris* türünü Akarçay Deresi'nde tanımlamıştır (Kılıçaslan ve Özbek, 2010). Aktürk ve Kapan (2025), ise Akarçay Havzası'nın Geç Pleyistosen çökellerinin fasiyes analizlerinden ve sedimanların kil mineralojisinden yararlanarak, havzanın paleoortamsal değişimlerini yorumlamışlardır.

Araştırmacılar, bu çalışmayla ortak türlerden olan Marmara vd. (2024)'nin fasiyes fosillerinden *Valvata piscinalis*, *Laevicaspia caspia*, *Dreissena iconica* ve *D. polymorpha* türlerini mineralojik verilerle yapılan yorumlarını karşılaştırmak amacıyla kullanmışlardır.

Bu çalışmada, diğer araştırmalardan farklı olarak Taşköprü civarında yaptırılmış olan sondajlardan elde edilen Gastropoda ve Bivalvia sınıfı örneklerinin sistematik paleontolojik tanımlamaları ilk kez yapılmış, faunanın paleocoğrafik yayılımına bağlı olarak eş zamanlı çökelen Akşehir ve Eber göllerinin Geç Pleyistosen'deki muhtemel bağlantıları yorumlanmıştır.

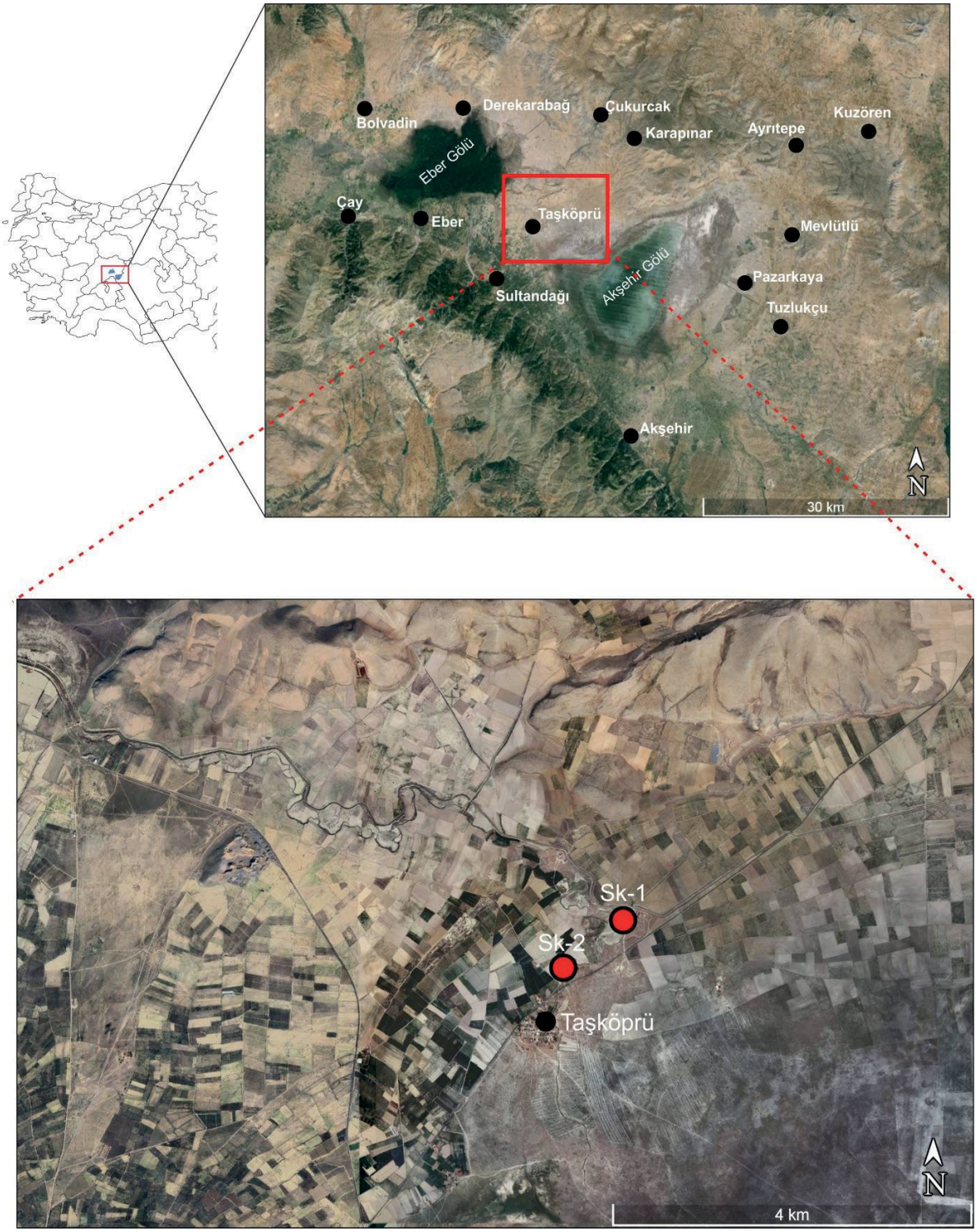
İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ ve COĞRAFYASI

Çalışma alanı, Afyonkarahisar ve Konya illeri arasında bulunan Akarçay Havzası'nda yer almaktadır. Havza; kuzeyde Emirdağı Fayı, güneyde ise Sultandağı Fayları'nın kontrolünde gelişmiştir. Havzanın dolgusunu, temel birimler üzerine uyumsuzlukla gelen, Miyosen yaşlı kumtaşı ve konglomeralar ile Pliyosen yaşlı kiltaşı, kireçtaşı, marn, kumtaşı ve çamurtaşı litolojileri oluşturmaktadır (Kazancı vd., 1994; İleri, 2002). Afyon-Bolvadin yöresindeki Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal kırıntılı çökellere ise volkanoklastik birimler eşlik etmektedir (Eren ve Nalbantçılar, 2021). Özellikle Akşehir ve Eber gölleri çevresindeki alüvyal yelpazeler, gölsel çökeller ve güncel alüvyonlardan meydana gelen Kuvaterner çökelleri, önceki tüm birimleri uyumsuzla örtmektedir. Bu çalışmada, Kuvaterner çökelleri üzerinde yapılan 2 adet sondaj karotundan elde edilen veriler sunulmuştur (Şekil 2).

Jeolojik yapı, bölgedeki morfolojik unsurları ve geçmişteki su sistemlerinin gelişimini belirlemede temel rol oynamaktadır. Ancak bir alanın paleocoğrafik evrimini bütün olarak ortaya koyabilmek için, jeolojik verilerle birlikte havzanın günümüzdeki drenaj sistemi, iklimsel koşulları ve limnolojik özellikleri gibi çevresel faktörlerinin de ayrıntılı şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bir bölgedeki göllerin drenaj sistemleri, yağış-buharlaşma dengesi ve göl sularının fizikokimyasal özellikleri; geçmiş çevresel koşulların ve göller arası bağlantıların bölgesel düzeyde paleocoğrafik açıdan değerlendirilmesinde önemli ipuçları sunmaktadır. Çalışma alanının günümüzdeki drenaj özellikleri, limnolojik durumu ve iklimsel özellikleri bu çerçevede ele alınmıştır.

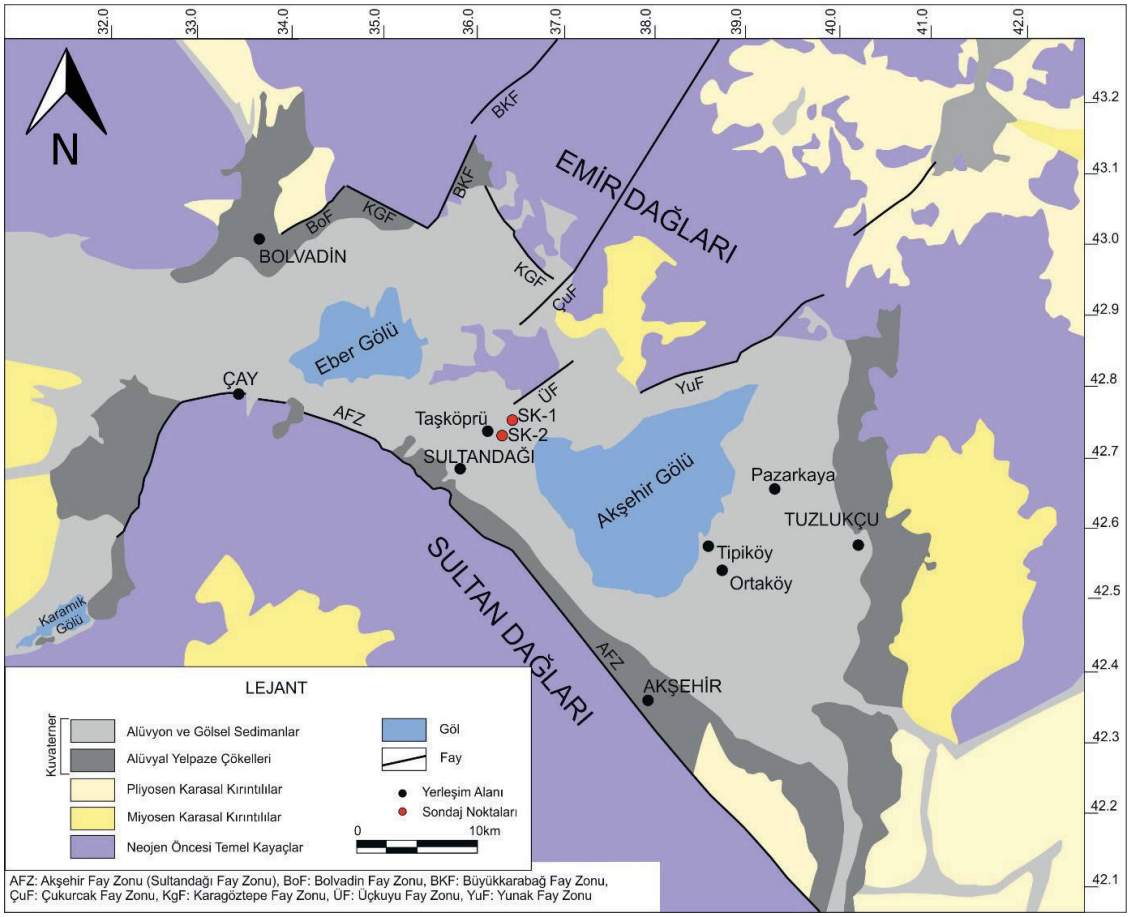
Akarçay Havzası, dışa akışı olmayan tipik bir kapalı havza özelliğindedir. Havza içerisindeki su akışı sadece yüzey akışı ve yer altı sızmaları yoluyla gerçekleşmektedir. Havzanın başlıca akarsuyu Akarçay Nehri'dir. Afyonkarahisar'dan doğan nehir, batıya doğru akarak önce Eber Gölü'ne ulaşmakta; gölün taşkın dönemlerinde ise fazla sular, yüzeysel taşkınlar ya da yer altı su akımları aracılığıyla Akşehir Gölü'ne kadar ulaşabilmektedir (İleri, 2002). Göllerin çevresindeki alüvyal düzlükler, sazlıklar ve mevsimsel bataklık alanlar, bölgedeki drenajın yönünü ve kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Yağışın nispeten fazla olduğu dönemlerde Eber Gölü, genellikle tatlı su özelliği göstermektedir. Buna karşılık, Akşehir Gölü ise düşük tuzlu ile acı su karakteri arasında değişen bir kimyasal yapıya sahiptir Her iki gölde, çok sığ, ötrofik ve Reeves (1968) sınıflamasına göre yarı dairesel havzalar grubuna girmektedir (Kazancı vd., 1994; Elmacı ve Obalı, 1998; İleri, 2002; Öztürk, 2005; Dönmez, 2018).

Akarçay Havzası, karasal iklim kuşağı içinde yer almakta olup, yıllık ortalama yağış miktarı 300–400 mm civarındadır ve büyük kısmı kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir. Yaz aylarında ise hem yağış azalmakta hem de buharlaşma oranı artmaktadır. Yüksek buharlaşma, tarımsal faaliyetler için yapılan yer altı su çekimleri, drenaj çalışmaları da havzadaki su birikimini azaltmakta, göllerde su seviyesi düşüşü ve kuruma riskini arttırmaktadır (Kale, 2021).



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru görüntüsü ve yapılan sondajların lokasyonları (arka plan earth.google.com adresinden değiştirilmiştir).

Figure 1. *Location map of the study area and the drilling sites (background modified from earth.google.com).*



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Akbaş vd., 2011'den sadeleştirilmiştir, faylar: Emre vd., 2013; Demirtaş, vd. 2019).

Figure 2. *Geological map of the study area (simplified from Akbaş et al., 2011, faults are from Emre et al., 2013; Demirtaş, et al., 2019).*

MATERYAL ve YÖNTEM

Arazi Çalışmaları

Sondaj çalışmaları, Afyon ilinin Sultandağı ilçesine bağlı Taşköprü Köyü'nün kuzeydoğusunda, SK-1(36S/351748,53 D, 4272737,95 K, deniz seviyesine göre yüksekliği: 965 m) ve SK-2 (36S/351156,91 D, 4272222,12 K, deniz seviyesine göre yüksekliği: 968 m) koordinatlarında her biri 12 m derinliğinde olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Üç metrelik uzunluğa ve 60 mm ağız çapına sahip tijler kullanılarak yapılan sondajlardan karot örnekleri alınmıştır (Şekil 3). Karot örnekleri, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Genel Jeoloji Laboratuvarı'nda muhafaza edilmektedir.

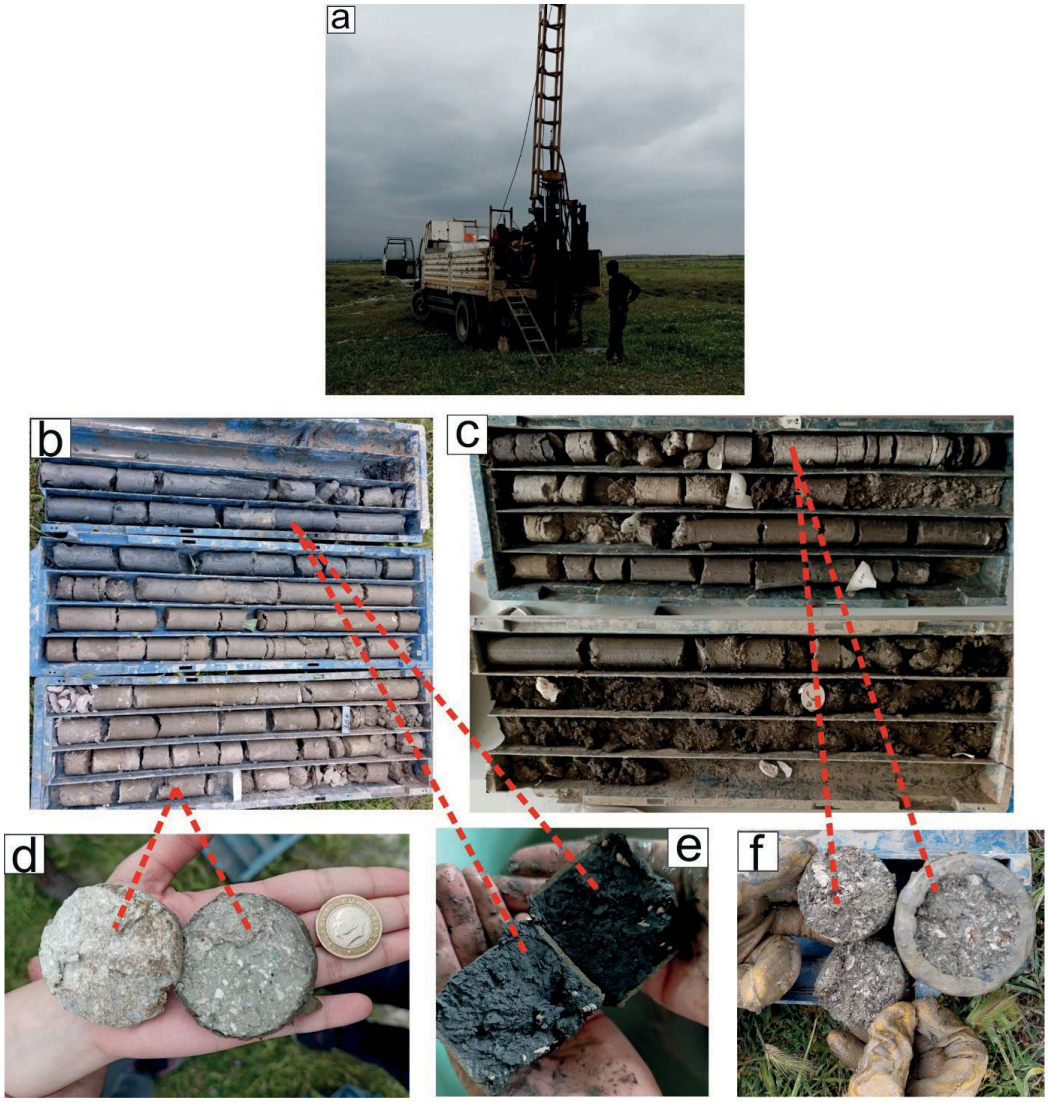
Laboratuvar Çalışmaları

Sondajlardan elde edilen karotlar, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ) Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Genel Jeoloji Laboratuvarı'nda, 20 cm'lik dilimlere kesilmiştir. Bu örneklerin her biri için litolojik tanımlamalar yapılmış ve fosil içerikleri belirlenmiştir. Sediman ve kavkıların ayrılması için numuneler, Retcsh marka 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm ve 0,063 mm elekler kullanılarak ıslak elek analizine tabi tutulmuştur. Eleme işleminin ardından

kurutulan numunelerden, Gastropoda ve Bivalvia kavkıları detaylı paleontolojik tanımlamalar için ayıklanmıştır. Sedimanlardan ayıklanan fosil kavkıları, Zeiss-Stemi 305 marka mikroskopta incelenerek cins ve tür mertebesinde tanımlanmış, birey sayımları yapılmış (toplam:2,899 adet tür) ve fosillerin levha fotoğrafları çekilmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve DEĞERLENDİRME

Sondajlar, birbirlerine oldukça yakın mesafelerde yer aldığı için hemen hemen benzer litolojileri içermektedir. Buna rağmen, yüzeyden göl kıyısına doğru gidildikçe, kil ve silt içeren litolojilerin yerini kum ve çakıl içeren birimler almıştır.

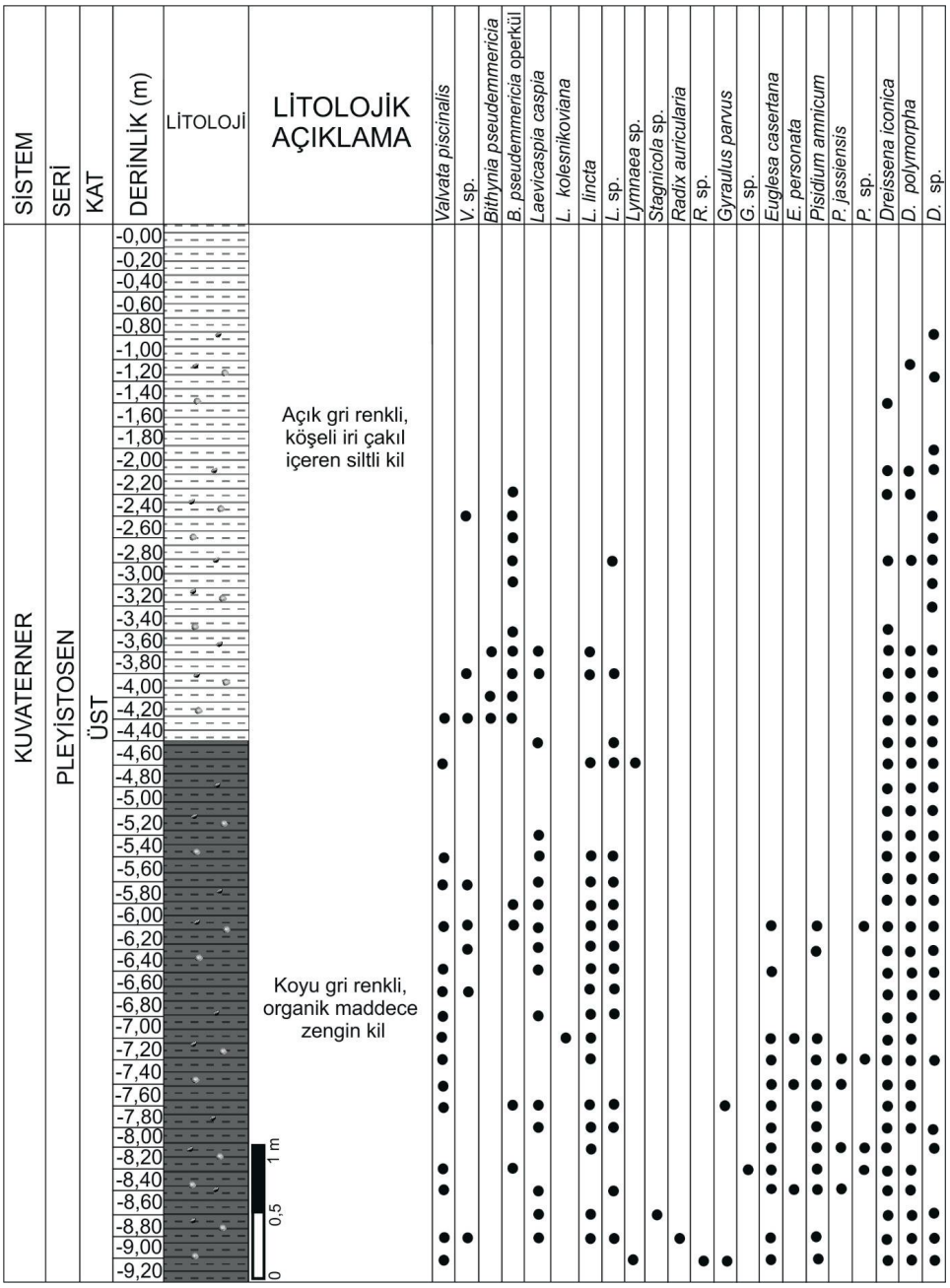


Şekil 3. Karot alım çalışmalarından görüntüler. **a)** sondaj makinesi, **b)** birinci sondaj kuyusu karotları, **c)** ikinci sondaj kuyusu karotları, **d)** açık gri renkli siltli kil litolojileri içerisinde gözlenen fosiller, **e)** organik maddece zengin kil içerisinde gözlenen fosiller, **f)** ikinci sondaj kuyusuna ait açık gri renkli kil litolojilerinde gözlenen fosiller.

Figure 3. *Images from coring studies.* ***a)*** *drilling machine,* ***b)*** *first drilling hole cores,* ***c)*** *second drilling hole cores,* ***d)*** *fossils observed in light gray silty clay lithologies,* ***e)*** *fossils observed in organic matter-rich clay,* ***f)*** *fossils observed in light gray clay lithologies of the second drilling hole.*

Sondaj Kuyusu 1'in (SK-1) Litolojik Özellikleri

Sondaj derinliği 9,20 metre olup, bu karotlardan elde edilen örnekler üzerinde yapılan paleontolojik çalışmalarda Gastropoda ve Bivalvia sınıflarına ait toplam 2,143 tür tanımlanmıştır (Çizelge 1). Karot, altta 9,20-4,60 m'ler arasındaki koyu gri renkli, organik maddece zengin kil ile başlayıp; 4,60-0 metreler arasında tane boyunda irileşme gösteren, yer yer ince ve köşeli çakıl içeren açık gri renkli siltli kil litolojileri ile son bulmaktadır (Şekil 4).



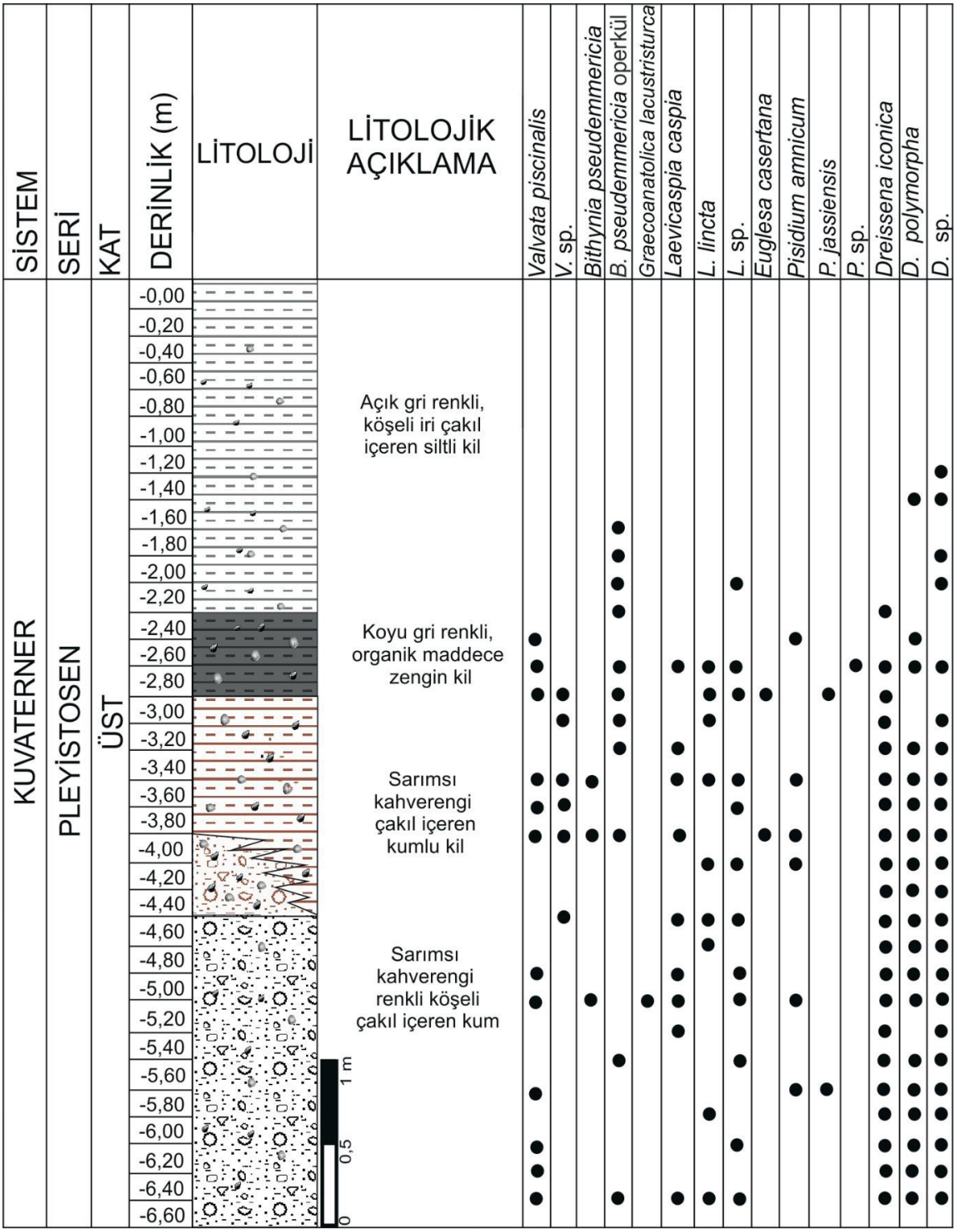
Şekil 4. Sk-1 Sondaj logu.

Figure 4. *Sk-1 Drilling log.*

Çizelge 1: Sondaj Kuyusu 1'in (SK-1) litolojik özellikleri, çökelme ortamları ve fosillerin sayısal bolluk dağılımları.

Table 1. *Lithological features, depositional environments, and numerical abundance distributions of fossils in Drill hole-1 (SK-1).*

ÇÖKELME ORTAMİ	LİTOLOJİ	SK-1	TÜRLER												
			Valvata piscinalis	*Bithynia pseudemmericia*	*Laevicaspia caspia*	*L. kolesnikoviana*	*L. lincta*	*Radix auricularia*	*Gyraulus parvus*	*Euglesa casertana*	*E. personata*	*Pisidium amnicum*	*P. jassiensis*	*Dreissena iconica*	*D. polymorpha*
ÇOK SIĞ GÖL	Açık gri renkli, çakıllı, siltli kil	-1,00-1,20													1
		-1,40-1,60												4	
		-2,00-2,20												8	
		-2,20-2,40												5	9
		-2,80-3,00												14	7
		-3,00-3,20													2
		-3,40-3,60												2	
		-3,60-3,80		1	2		19							7	10
		-3,80-4,00			2		22							19	5
		-4,00-4,20		1										2	3
		-4,20-4,40	13	1										46	48
		-4,40-4,60			1									16	24
BATAKLIK/SIĞ GÖL	Koyu gri renkli organik maddece zengin kil	-4,60-4,80	2				1							5	31
		-4,80-5,00												13	5
		-5,00-5,20												14	5
		-5,20-5,40			8									28	15
		-5,40-5,60	1		19		1							13	20
		-5,60-5,80	6		34		7							86	63
		-5,80-6,00			1		2							71	55
		-6,00-6,20	9		18		16			4		9		42	16
		-6,20-6,40			4		8					1		34	46
		-6,40-6,60	1		15		8			1				27	24
		-6,60-6,80	1				1							4	2
		-6,80-7,00	2		3		1							15	14
		-7,00-7,20	1			1	1			5	6	102		8	1
		-7,20-7,40	2				2			3		46	6	1	1
		-7,40-7,60	1							6	2	84	5	23	14
		-7,60-7,80	5		7		15		1	9		1		20	22
		-7,80-8,00			27		103			5		23		6	1
		-8,00-8,20					2			1		38	15	2	
		-8,20-8,40	7							1		39		89	47
		-8,40-8,60	1		11					3	1	92	8	3	4
		-8,60-8,80			1		1							7	6
		-8,80-9,00	2		2		1	1		11		30		2	5
		-9,00-9,20	1						1	2		1		4	9
	TOPLAM		**55**	**3**	**155**	**1**	**211**	**1**	**2**	**51**	**9**	**466**	**34**	**640**	**515**



Şekil 5. Sk-2 Sondaj logu.

Figure 5. *Sk-2 Drilling log.*

Sondaj Kuyusu 2'nin (SK-2) Litolojik Özellikleri

Sondaj derinliği 6,60 metre olup, 33 dilim karot örneği üzerinde yapılan paleontolojik çalışmalarda Gastropoda ve Bivalvia sınıflarına ait toplam 756 türün tanımlaması yapılmıştır (Çizelge 2). Karot, alttan üste sırasıyla; 4,60-6,60 metreleri arasında; sarımsı kahverengi, köşeli çakıl içeren kum; 4,40-2,80 metreleri arasında sarımsı kahverengi, az çakıl içeren killi kum; 2,80-2,40 metreleri arasında organik maddece zengin kil; ve 2,40-0 metreleri arasında köşeli iri çakıl içeren siltli kilden meydana gelmiştir (Şekil 5).

Çizelge 2. Sondaj Kuyusu 2'nin (SK-2) litolojik özellikleri, çökelme ortamları ve fosillerin sayısal bolluk dağılımları.

Table 2. *Lithological features, depositional environments and numerical abundance distributions of fossils in Drill hole-2 (SK-2).*

ÇÖKELME ORTAMİ	LİTOLOJİ	SK-2 DERİNLİK (m)	TÜRLER									
			Valvata piscinalis	*Bithynia pseudemmericia*	*Graecoanatolica lacustristurca*	*Laevicaspia caspia*	*L. lincta*	*Euglesa casertana*	*Pisidium amnicum*	*P. jassiensis*	*Dreissena iconica*	*D. polymorpha*
ÇOK SIĞ GÖL	Açık gri renkli çakıllı siltli kil	-1,40-1,60 m										1
		-2,20-2,40 m									2	
BATAKLIK / SIĞ GÖL	Organik maddece zengin kil	-2,40-2,60 m	12						1			1
		-2,60-2,80 m	3			1	10				7	9
GÖL KENARI/ LİTORAL	Sarımsı kahverengi çakıllı kumlu kil	-2,80-3,00 m	2				4	2		2	1	
		-3,00-3,20 m					1				2	
		-3,20-3,40 m				2					30	6
		-3,40-3,60 m	8	1		67	13		6		61	20
		-3,60-3,80 m	1								8	13
		-3,80-4,00 m	2	6		56		1	1		23	20
		-4,00-4,20 m					3		1		17	16
		-4,20-4,40 m									19	3
	Sarımsı kahverengi çakıllı kum	-4,40-4,60 m				3	9				14	13
		-4,60-4,80 m					2				3	5
		-4,80-5,00 m	1			2					12	8
		-5,00-5,20 m	3	1	1	7			4		46	7
		-5,20-5,40 m				1					1	
		-5,40-5,60 m									9	1
		-5,60-5,80 m	1						52		14	2
		-5,80-6,00 m					1				11	6
		-6,00-6,20 m	2								6	2
		-6,20-6,40 m	1								3	1
		-6,40-6,60 m	1			4	1				13	17
	TOPLAM		**37**	**8**	**1**	**143**	**44**	**3**	**65**	**2**	**302**	**151**

SK-1 ve SK-2 sondaj logları korele edilmiştir (Şekil 6). İstifin alt kesimlerinde gözlenen sarımsı kahverengi, orta-iri taneli çakıllı kum ile bunlarla yanal geçiş gösteren killi kum litolojilerinde; *Valvata piscinalis*, *Bithynia pseudemmericia*, *Graecoanatolica lacustristurca*, *Laevicaspia caspia*, *L. lincta*, *Euglesa casertana*, *Pisidium amnicum*, *P. jassiensis*, *Dreissena iconica* ve *D. polymorpha* türleri tanımlanmıştır. Bu türlerin bulunduğu seviyelerin çökeldiği zaman aralığı, gölün sığ olarak yayıldığı bir evreye işaret etmektedir (Aktürk ve Kapan, 2025). İstifin orta kesimlerinde gözlenen koyu gri renkli organik maddece zengin kil litolojisinde; *Gyraulus parvus* ve *Radix auricularia* gibi durgun su ve bataklıklarda yaşayan türler tespit edilmiştir (Jokinen, 1992; *Öktener*, 2004; Lorencová vd., 2021).

İstifin üst kısımlarındaki açık gri renkli kil litolojilerinin içerisinde, akarsularda yaşayan *Valvata piscinalis* (Grigorovich vd., 2005; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018; Aktürk ve Kapan, 2025), mezohalin (tuzluluk: 5‰-18‰) ortamlarda yaşayan Ponto-Kaspik Havza'nın *Laevicaspia caspia* ve *L. lincta* türleri (Neubauer vd., 2018; Alçiçek vd., 2023) ve çok sığ sularda yaşayan *Euglesa casertana* (Gözler ve Baytaşoğlu, 2020) ile *Pisidium amnicum* türleri tanımlanmıştır (Çizelge 1 ve 2).

SİSTEMATİK PALEONTOLOJİ

Çalışılan Gastropoda ve Bivalvia örneklerinin sistematik düzeni, Wenz (1938, 1944), Wenz ve Zilch (1959-1960), Neubauer vd. (2018), WoRMS (URL 1) ve MolluscaBase (URL 2) kaynaklarından yararlanılarak yapılmıştır.

Şube: Mollusca Linnaeus, 1758
Sınıf: Gastropoda Cuvier, 1795
Alt Sınıf: Heterobranchia Burmeister, 1837
Üst Familya: Valvatoidea Gray, 1840
Familya: Valvatidae Gray, 1840
Cins: *Valvata* O. F. Müller, 1773

Valvata piscinalis (O.F. Müller, 1774)
Lev.: 1, Şek.: 1 (a-b-c), 2(a-b-c)

1968- *Valvata piscinalis* (O.F. Müller), Kempf, s. 15, Lev. 1, Şek. 4-6.

2015- *Valvata piscinalis* (O.F. Müller), Odabaşı vd., s. 139, Şek. 9.

2016- *Valvata (Cincinna) piscinalis* (O.F. Müller), Karayiğit vd., s. 53, Lev. 2, Şek. 1-3.

2023- *Valvata piscinalis* (O.F. Müller), Alçiçek vd., s. 13, Şek. 10.g.

2023- *Valvata (Cincinna) piscinalis* (O.F. Müller), Tuncer vd., s. 16, Şek. 12.7.

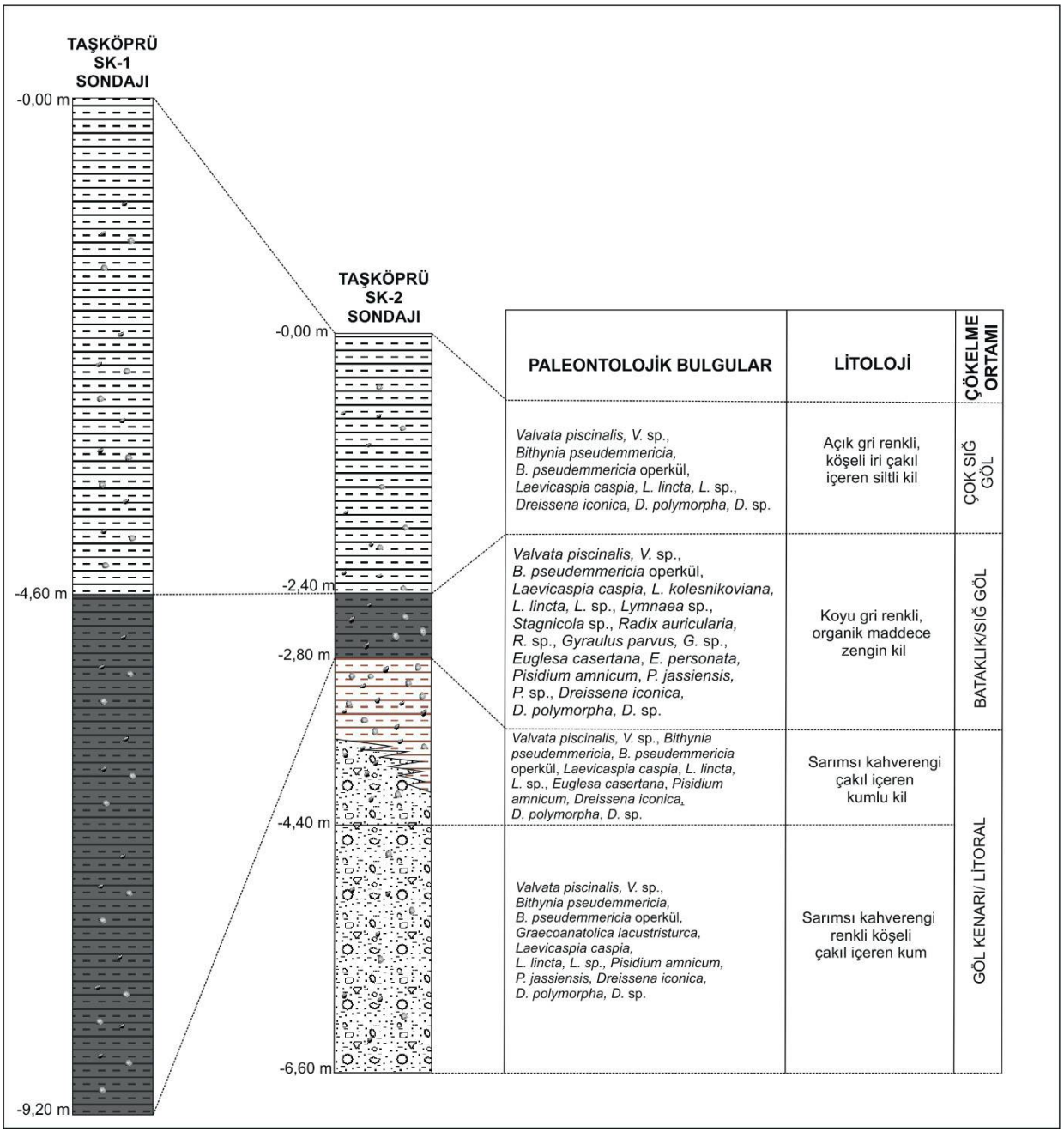
2025- *Valvata pulchella* Studer, Demir ve Kapan, s.126, Lev.1, Şek. 2a-b.

Tanımlama: Levha 1 Şekil: 1 (a-b-c)'de yer alan bireylerde, sarmal sayısı 4-4,5 arasında. Üzerinde belirgin çizgiler bulunmakta. Apeks küt ve apertür yuvarlak. Son iki sarmal oldukça geniş olup kavkının büyük bir kısmını oluşturmakta. Son sarmal yüksekliği, tüm kavkı yüksekliğinin 2/3'ünden fazla. Levha 1 Şekil: 2 (a-b-c)'de yer alan örneklerde ise spir kısa, apeks yassı. Umbilikus geniş ve derin. Apertür yuvarlak, sarmal sayısı 3-3,5 arasında. Son sarmal yüksekliği, kavkının tüm yüksekliğinin 3/4'ü kadar.

Benzeyiş ve Farklar: Levha 1 Şekil: 1 (a-b-c)'de incelenen formlar, sinonim listede tanımlanan Kempf (1968), Odabaşı vd. (2015), Karayiğit vd. (2016), Alçiçek vd. (2023) ve Tuncer vd. (2023) örnekleri ile Levha 1 Şekil: 2 (a-b-c)'de incelenen formlar ise Demir ve Kapan (2025) ile tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Levha 1 Şekil: 1 (a-b-c) Kavkı yüksekliği:4,1 mm, kavkı genişliği:3,9 mm, kavkının son sarmal yüksekliği: 3,4 mm.

Levha 1 Şekil: 2 (a-b-c) Kavkı yüksekliği:2,7 mm, kavkı genişliği:1,9 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:2,0 mm.



Şekil 6. Taşköprü SK-1 ve SK-2 kuyularının litostratigrafik ve biyostratigrafik korelasyonu (ölçeksizdir).

***Figure 6**. Lithostratigraphic and biostratigraphic correlation of Taşköprü SK-1 and SK-2 drill holes (*not to Scale).

Paleocoğrafik Yayılım: Polonya'da Orta Miyosen'den günümüze, Romanya'da Erken ve Geç Romaniyen'de, İtalya'da Geç Miyosen-Orta Pleyistosen'de, Almanya, Macaristan, Güney Urallar, İngiltere ve Hollanda'da (Wenz, 1942; Taner, 1977; Nordsieck, 1982; Danukalova vd., 2016; Bizzarri vd., 2018), Erken-Geç Pleyistosen aralığında Ponto-Kaspik Havza'da (Alçiçek vd.,

2023), Orta Pleyistosen-güncel zaman aralığında; hemen hemen bütün Avrupa ülkelerinde, Çek Cumhuriyeti ve Slovakya'da (Horsák vd., 2010) yayılım göstermektedir (Çizelge 3).

Türkiye'de; Monastriyen'de Karacaören'de (Çolakoğlu, 2006), Erken Romaniyen'de Lapseki'de (Kabasakal, 2005), Seyhan ve Ceyhan nehirlerinin Pliyosen-Kuvaterner çökellerinde (Geze Kalanyuva, 2021), Pliyo-Pleyistosen'de Şarkikarağaç'ta (Isparta) (Tuncer vd., 2023), Pleyistosen'de Gölbaşı-Harmanlı ve Baklan Havzası'nda (Karayiğit vd., 2016; Alçiçek vd., 2023), Erken Pleyistosen-güncel aralığında Beyşehir Gölü'nde (Girod, 2013; Demir ve Kapan, 2025), Orta Pleyistosen'de Burdur Gölü'nde (Yıldız, 2016), Konya Kapalı Havzası'nın Geç Pleyistosen ve Holosen çökellerinde (Girod, 2013; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018), Antakya'nın Holosen çökellerinde (Schütt, 1991) ve Eğirdir Gölü'nde (Girod, 2013) tanımlanmıştır (Çizelge 3)

Bulunduğu Yer: SK-1 ((4,20-4,40 m), (4,60-4,80 m), (5,40-5,80 m), (6,00-6,20 m), (6,40-7,80 m), (8,20-8,60 m), (8,80-9,20 m)); SK-2 ((2,40-3,00 m), (3,40-4,00 m), (4,80-5,20 m), (5,60-5,80 m), (6,00-6,60 m)) seviyelerinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

Valvata sp.
Lev.: 1, Şek.: 3a-b-c

Tanımlama: Kavkı konik formda. Sarmallar ve sütur çizgisi belirgindir. Sarmallar üzerinde belli belirsiz çizgiler mevcut. Apertür kırık.

Benzeyiş ve Farklar: Apertürü kırık ve küçük olduğundan tür tayini yapılamayan form *Valvata* cins özelliklerini taşımaktadır.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 0,9 mm, kavkı genişliği: 1,1 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:0,6 mm.

Bulunduğu Yer: SK-1 ((2,40-2,60 m), (3,80-4,00 m), (4,20-4,40 m), (5,60-5,80 m), (6,00-6,40 m), (6,60-6,80 m), (8,80-9,00 m)); SK-2 ((2,80-3,20 m), (3,40-4,00 m), (4,40-4,60 m)) seviyelerinde gözlenmektedir.

Alt Sınıf: Caenogastropoda L. R. Cox, 1960
Ordo: Littorinimorpha Golikov & Starobogatov, 1975
Üst familya: Truncatelloidea J.E. Gray, 1840
Familya: Bithyniidae J.E. Gray, 1857
Cins: *Bithynia* Leach, 1818

***Bithynia pseudemmericia* Schütt, 1964**
Lev.: 1, Şek: 4a-b

1991- *Bithynia (Pseudemmericia) pseudemmericia* Schütt, s. 146, Lev. 1 Şek. 6.
2006- *Bithynia pseudemmericia* Schütt, Glöer ve Yıldırım, s.40, Şek. 4.1-2.
2023- *Bithynia pseudemmericia* Schütt, Alçiçek vd., s.13, Şek. 10.d.

Tanımlama: Kavkı ince. Sarmal sayısı 4,5-5 adet, sütur çizgisi derin; dolayısıyla sarmallar bombeli. Apertür yuvarlak. Son sarmal yüksekliği, tüm yüksekliğin yarısından biraz fazla.

Benzeyiş ve Farklar: Numunelerimiz, sinonim listedeki örnekler ile sarmal sayısı, apertür yapısı ve sütur çizgisinin derinliği bakımından benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 6,8 mm, kavkı genişliği: 3,7 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:3,9 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Türkiye'de, Antalya (Yeniköy kaynağı), Afyon, Konya, Isparta ve Burdur yörelerinde en yaygın endemik *Bithynia* türüdür (Yıldırım ve Kebapçı, 2009). Miyosen'de Çal Havzası'nda (Alçiçek vd., 2019), Pliyosen-Pleyistosen'de Şarkikaraağaç'ta, Pleyistosen'de Eğirdir Gölü ve Baklan Havzası'nda, Pleyistosen-güncel aralığında Beyşehir Gölü'nde, Hazar Gölü, Çumra, Çatalhöyük, Burdur Gölü, Senirce, Yarışlı Gölü ve Konya Kapalı Havzası'nın Kuvaterner tortullarında, güncel olarak ise Pasinler ve Horasan arası, Aras Nehri, Elmalı Çatma ve Karadağ, Kırkgöz Kaynağı, Avlan Gölü, Elazığ

Hazar Gölü, Yarışlı Gölü, Eber Gölü ve Eğirdir Gölü'nde yayılım göstermektedir (Schütt, 1964, 1990, 1991; Bilgin, 1980; Yıldırım, 1999; Glöer ve Yıldırım, 2006; Yıldırım ve Kebapçı, 2009; Kebapçı ve Yıldırım, 2010; Girod, 2013; Gümüş vd., 2022; Alçiçek vd., 2023; Tuncer vd., 2023) (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((3,60-3,80 m), (4,00-4,40 m)); (SK-2 ((3,40-3,60 m), (3,80-4,00 m), (5,00-5,20 m)) seviyelerinde gözlenmiştir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

Familya: Hydrobiidae Stimpson, 1865

Cins: *Graecoanatolica* Radoman, 1973

***Graecoanatolica lacustristurca* Radoman, 1973**

Lev.: 1, Şek.: 6a-b

1991-*Graecoanatolica lacustristurca* Radoman, Schütt, s.147, Lev.1, Şek. 4.

2004-*Graecoanatolica lacustristurca* Radoman, Yıldırım, s. 99, Lev.1, Şek. 3.

2012-*Graecoanatolica lacustristurca* Radoman, Kebabçı vd., s. 402, Şek.2-d.

Tanımlama: Kavkı, çok ince, yarı saydam ve uzamış konik şekilli. Apex sivri. Sarmal sayısı 5-5,5 adet ve sarmallar orantılı bir şekilde artmakta. Son sarmal, diğer sarmallara oranla şişkin. Apertür uzamış çekik oval. Son sarmal yüksekliği, tüm yüksekliğin 1/3'üne yakın.

Benzeyiş ve Farklar: Numunelerimiz Schütt (1991), Yıldırım (2004) ile Kebabçı vd. (2012) kaynaklarındaki örneklerle tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 2,2 mm, kavkı genişliği: 0,5 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:0,7 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: *Graecoanatolica lacustristurca*, Beyşehir ve Eğirdir Gölü için endemik tanımlanmış bir türdür (Yıldırım, 2004; Kebabçı vd., 2012). Konya Kapalı Havzası'nın Geç Pleyistosen çökellerinde, Konya Çumra'da ve Burdur Havzası'nda Kuvaterner'de, Eğirdir ve Beyşehir göl havzalarında ise güncel olarak yayılım göstermektedir (Schütt, 1990, 1991; Kebabçı vd., 2012; Girod, 2013; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018) (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-2 (5,00-5,20 m) seviyesinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

Cins: *Laevicaspia* Dybowski & Grochmalicki, 1917

***Laevicaspia caspia* (Eichwald, 1838)**

Lev.:1, Şek.:7a-b

1838-*Rissoa caspia* Eichwald:154-155.

2018-*Laevicaspia caspia* (Eichwald), Neubauer vd., s. 65, Şek. 8A–K.

Tanımlama: Kavkı kalın, üzerinde belirgin çizgiler mevcut. Sütur çizgisi derin. Sarmal sayısı 7-8 adet. Sarmalların birbirine temas ettiği yerde basamak benzeri bir yapı oluşmuş. Apertür eğik duran elips şeklinde. Son sarmal yüksekliği, tüm yüksekliğin 2/4'sine yakın.

Benzeyiş ve Farklar: Numunemiz sinonim listesinde verilen örneklerle tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 7,9 mm, kavkı genişliği: 3,2 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:3,8 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Dağıstan, Rusya ve Azerbaycan'ın Güney Hazar Havzası'nda Geç Pleyistosen'de tanımlanan bu tür, Hazar Denizi'nin endemik türüdür. (Neubauer vd., 2018) (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((3,60-4,00 m), (4,40-4,60 m), (5,20-6,60 m), (6,80-7,00 m), (7,60-8,00 m), (8,40-9,00 m)); SK-2 ((2,60-2,80 m), (3,20-3,60 m), (3,80-4,00 m), (4,40-4,60 m), (4,80-5,40 m), (6,40-6,60 m)) seviyelerinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

FAUNA	YARARLANILAN KAYNAKLAR	İNGİLTERE	HOLLANDA	ALMANYA	ÇEK CÜMHURİYETİ	İTALYA	POLONYA	MACARİSTAN	ROMANYA	RUSYA	HAZAR DENİZİ	GÜNEY URALLAR	KARADENİZ	AZAK DENİZİ	MARMARA DENİZİ	GELİBOLU	KARACAÖREN	LAPSEKİ	BAKLAN HAVZASI	SEYHAN-CEYHAN	ANTALYA	ŞARKİKARAAĞAÇ	GÖLBAŞI HARMANLI	EĞİRDİR GÖL HAVZASI	BURDUR GÖL HAVZASI	KONYA KAPALI HAVZASI	BEYŞEHİR GÖL HAVZASI	SUĞLA GÖL HAVZASI	TAŞKÖPRÜ (BU ÇALIŞMA)
Valvata piscinalis	Wenz, 1942; Taner, 1977; Nordsieck, 1982; Kabasakal, 2005; Çolakoğlu, 2006; **Horsák**, 2010; Girod, 2013; Danukalova vd., 2016; Karayiğit vd., 2016; Yıldız, 2016; Bizzarri vd., 2018; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018; Geze Kalanyuva, 2021; Alçiçek vd., 2023; Tuncer vd., 2023; Demir ve Kapan, 2025	A.-Ü. Pleyis.	A.-Ü. Pleyis.	A.-Ü. Pleyis.		Ü. Miyo. - O. Pleyis.	O. Miyo. - Gün.	A.-Ü. Pleyis.	A.-Ü. Rom.	Ü. Pleyis.	Ü. Pleyis.	A.-Ü. Pleyis.					Mon.	A. Rom.	Pleyis.	Pli. - Kuv.		Pli. - Pleyis.	Pleyis.	Gün.	O. Pleyis.	Ü. Pleyis. - Holo.	A. Pleyis. - Gün.		Ü. Pleyis.
Bithynia pseudemmericia	Schütt, 1964; Bilgin, 1980; Schütt, 1990;1991; Yıldırım, 1999; Glöer ve Yıldırım, 2006; Yıldırım ve Kebapçı, 2009; Kebapçı ve Yıldırım, 2010; Girod, 2013; Gümüş vd., 2022; Alçiçek vd., 2023; Tuncer vd., 2023										Pleyis. - Gün.								Pleyis.		Pleyis. - Gün.	Pli. - Pleyis.		Pleyis. - Gün.	Kuv. - Gün.	Kuv. - Gün.	Pleyis. - Gün.		Ü. Pleyis.
Graecoanatolica lacustristurca	Schütt, 1990;1991; Yıldırım, 2004; Kebabçı vd., 2012; Girod, 2013; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018																							Gün.	Kuv.	Ü. Pleyis.	Gün.		Ü. Pleyis.
Laevicaspia caspia	Neubauer vd., 2018									Ü. Pleyis.	Ü. Pleyis.																		Ü. Pleyis.
Laevicaspia kolesnikoviana	Neubauer vd., 2018; van de Velde vd., 2019										Ü. Pleyis. -Holo.		Ü. Pleyis.																Ü. Pleyis.
Laevicaspia lincta	Vinarski ve Kantor, 2016; Neubauer vd., 2018; Wesselingh vd., 2019; Alçiçek vd., 2023										Ü. Pleyis.		Ü. Pleyis.	Ü. Pleyis.					Pleyis.										Ü. Pleyis.
Radix auricularia	Horsák, 2010; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018; Gümüş vd., 2022; Demir ve Kapan, 2025		Gün.	Gün.	Gün.		Gün.			Gün.										Pli. - Kuv.				Gün.		Ü. Pleyis.	A. Pleyis. - Gün.	Gün.	Ü. Pleyis.
Gyraulus parvus	Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018; Geze Kalanyuva, 2021; Demir ve Kapan, 2025			Gün.	Gün.															Pli. - Kuv.						Ü. Pleyis.	A. Pleyis. - Holo.		Ü. Pleyis.
Euglesa casertana	Kuiper vd., 1989; **Glöer ve Meier-Brook, 2003; Horsák, 2010; Girod, 2013;** Yıldız, 2016	O.-Ü. Pleyis	O. Pleyis. -Gün.	O. Pleyis.- Gün	A.-O. Pleyis. - Gün.	A.-O. Pleyis.	A. Pleis.- Gün.	Holo. - Gün.																	O. Pleyis.		Gün.		Ü. Pleyis.
Euglesa personata	Kuiper vd., 1989; Glöer ve Meier-Brook, 2003; Anderson, 2005; Horsák, vd., 2010; Girod, 2013; Karayiğit vd., 2016; Ergun, 2020	Gün.		Gün.	Gün.																		Pleyis.				O.Pleyis - Gün.	Kuv.	Ü. Pleyis.
Pisidium amnicum	Zhadin, 1965; Kempf, 1968; Schütt, 1991; Meriç vd., 2000; Akbulut vd., 2002; Kabasakal, 2005; Horsák vd., 2010; Girod, 2013; Danukalova vd., 2016; Yıldız, 2016; Alçiçek, 2023	Pleyis.	Pleyis.	Miyo. - Gün.	O. Pleyis.	Ü. Pli. - A. Pleyis.	Kuv.	A. Pleyis.	Ü. Das. - Ü.Rom.	Pli. - Gün.	Holo.	A.-O. Pleyis.	Pleyis.					A. Rom.	Pleyis.						O. Pleyis.		O.Pleyis. - Gün.		Ü. Pleyis.
Pisidium jassiensis	Stefanescu, 1896; Wenz, 1942; Kabasakal, 2005; Çolakoğlu, 2006; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018								Das. - Rom.								A. Pli.	A. Rom.								Ü. Pleyis.			Ü. Pleyis.
Dreissena iconica	Schütt, 1991; Girod, 2013; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018																									Ü. Pleyis. - Holo.			Ü. Pleyis.
Dreissena polymorpha	Pallas 1771; Taner, 1983; Meriç vd., 2000; Orlova, 2002; Minchin vd., 2003; Kabasakal, 2005; Horsák vd., 2010; Girod, 2013; Bizzarri vd., 2018; Alçiçek vd., 2023; Yıldırım vd., 2023	Gün.			Gün.	Pleyis. - Gün.			Pli.	Pli. - Gün.	Bak. - Gün.		Bak. - Gün.	Gün.	Kuv.	Bak.	Ü. Rom- Ü. Kuva.		Pleyis.					Gün.			Gün.		Ü. Pleyis.

Açıklama: Rom.: Romaniyen, Das.: Dasiyen, Mon.: Monastriyen, Miyo.: Miyosen, Pli.: Pliyosen, Kuva.: Kuvalnikiyen, Pleyis.: Pleyistosen, Bak.Baküniyen: Holo.: Holosen, Kuv.: Kuvaterner, Gün.: Güncel, A.: Alt, O.: Orta, Ü.: Üst.

Çizelge 3. Çalışma alanında tanımlanan gastropoda-bivalvia faunasının paleocoğrafik ve stratigrafik yayılım karşılaştırması.

Table 3. *Paleogeographic and stratigraphic distribution comparison of gastropod and bivalvia fauna identified in the study area.*

***Laevicaspia kolesnikoviana* (Logvinenko & Starobogatov, 1966)**
(Lev.1, Şek. 8 (a-b))

1966- *Pyrgula (Caspiella) kolesnikoviana* Logvinenko & Starobogatov, s. 357-358, Şek. 2(8-9).

2018- *Laevicaspia kolesnikoviana* (Logvinenko & Starobogatov), Neubauer vd., s. 72, Şek. 10A-N.

Tanımlama: Kavkı kubbe şekilli, yüzeyi parlak, boyuna ince çizgiler mevcut. Sütur çizgisi derin dolayısıyla sarmallar bombeli ve sarmal adeti:7. Apeks küt. Apertür çekik oval. Son sarmal yüksekliği, tüm yüksekliğin 2/4'sine yakın.

Benzeyiş ve Farklar: Numunelerimiz incelenen literatürlerdeki örneklerle tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 7,6 mm, kavkı genişliği: 2,8 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:3,6 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Geç Pleyistosen'de Karadeniz'de, Geç Pleyistosen-Holosen'de Hazar Denizi'nde yayılım göstermektedir (Neubauer vd., 2018; van de Velde vd., 2019) (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 (7,00-7,20 m) seviyesinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

***Laevicaspia lincta* (Milaschewitsch, 1908)**
Lev.:2, Şek.:1a-b

1908- *Micromelania lincta* Milaschewitsch, s. 991.

2023- *Laevicaspia ?lincta* (Milaschewitch), Alçiçek vd., s.13, Şek. 10.c.

Tanımlama: Kavkı kalın üzerinde belirgin çizgiler mevcut. Apeks küt. Sarmal sayısı 7-8 adet. Sütur çizgisi hafif derin. Apertür eğik duran elips şeklinde, alt kenarı yuvarlak, üst kenarı çekik sivri. Son sarmal yüksekliği, tüm yüksekliğin 2/4'sine yakın.

Benzeyiş ve Farklar: Alçiçek vd. (2023)'ün örnekleri ile karşılaştırıldığında, bizim örneklerimizin daha büyük ve sütur çizgisinin biraz daha derin olması dışında diğer özelliklerinin aynı olduğu görülmüştür.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 7,9 mm, kavkı genişliği: 3,2 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:3,7 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Ponta Kaspik Havza'ya endemiktir. Geç Pleyistosen yaşlı bu tür, ilk kez Ukrayna'daki Tuna deltası yakınındaki Kotlabukh Gölü'nde tanımlanmıştır (Neubauer vd., 2018; Wesselingh vd., 2019). Kuzey Karadeniz Havzası, Azak Denizi, (Taganrog Körfezi) Kotlabukh ve Yalpug'a giren göl kıyısı ile Don, Dinyeper, Dniester ve Southern Bug Nehirleri'nin aşağı kesimlerinde (Vinarski ve Kantor 2016) yayılım göstermektedir (Çizelge 3).

Türkiye'de; Pleyistosen'de Baklan Havzası'nda (Alçiçek vd., 2023) bulunmuştur (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((3,60-4,00 m), (4,60-4,80 m), (5,40-7,40 m), (7,60-8,20 m), (8,60-9,00 m)); SK-2 ((2,60-3,20 m), (3,40-3,60 m), (4,00-4,20 m), (4,40-4,80 m), (5,80-6,00 m), (6,40-6,60 m)) seviyelerinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

***Laevicaspia* sp.**
Lev.:2, Şek.:2a-b

Tanımlama: Kavkı uzun. Sarmal adeti 5. Son sarmal yüksekliği tüm yüksekliğin 2/4'sine yakın.

Benzeyiş ve Farklar: Numunemizin apertürü kırık olmasına ve sarmalları tam olmamasına rağmen *Laevicaspia* cinsinin özelliklerini taşımaktadır.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 7,5 mm, kavkı genişliği: 2,7 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:3,9 mm.

Bulunduğu Yer: SK-1 ((2,80-3,00 m), (3,80-4,00 m), (4,40-4,80 m), (5,40-7,00 m), (7,60-8,00 m), (8,40-8,60 m), (8,80-9,00 m)); SK-2 ((2,00-2,20 m), (2,60-3,00 m), (3,40-80 m), (4,00-4,20 m), (4,40-4,60 m), (4,80-5,20 m), (5,40-5,60 m), (6,00-6,20 m), (6,40-6,60 m)) seviyelerinde gözlenmektedir.

Familya: Lymnaeidae Rafinesque, 1815
Alt Familya: Lymnaeinae Rafinesque, 1815
Cins: *Lymnaea* Lamarck, 1799

***Lymnaea* sp.**
Lev.:2, Şek.:3a-b

Tanımlama: Kavkı şeffaf ve ince. Apertürü kırık. Son sarmal, kavkı yüksekliğinin 1/2'sinden daha fazla.

Benzeyiş ve Farklar: Apertürü kırık ve sarmalları tam olmamasına rağmen, örneğimiz *Lymnaea* cinsinin özelliklerini yansıtmaktadır.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 5,8 mm, kavkı genişliği: 3,1 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:5,0 mm.

Bulunduğu Yer: SK-1 ((4,60-4,80 m) ve (9,00-9,20 m)) seviyesinde gözlenmektedir.

Cins: *Stagnicola* Leach, 1830

***Stagnicola* sp.**
Lev.:2, Şek.:4a-b

Tanımlama: Kavkı ince, kırılgan ve parlak. Sayılabilen sarmal sayısı 3-4 adet, sarmallar bombeli ve sütur çizgisi derin. Apertür kırık. Son sarmal yüksekliği, tüm yüksekliğin 3/4'ünden daha fazla.

Benzeyiş ve Farklar: Apertür kırık ve tam formlu olmayan örneğimiz *Stagnicola* cins özellikleri taşımaktadır.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 5,4 mm, kavkı genişliği: 1,8 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:4,1 mm.

Bulunduğu Yer: SK-1 (8,60-8,80 m) seviyesinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

Alt Familya: Amphipepleinae Pini, 1877
Cins: *Radix* Montfort, 1810

***Radix auricularia* (Linnaeus, 1758)**
Lev.:2, Şek.:5a-b

1959-1960-*Radix auricularia* (Linnaeus), Wenz ve Zilch, s.46.

2025- *Radix auricularia* (Linnaeus), Demir ve Kapan, s.128, Lev. 2, Şek.3a-b.

Tanımlama: Kavkı ince, küçük, parlak ve çekik yuvarlak. Sarmal sayısı: 4 adet. Sütur çizgisinde bilezik şeklinde gelişmiş bir hat mevcut. Apertür büyük, yarım ay şeklinde, altta uzamış çekik, üstte sivri olarak birleşmiş. Son sarmal yüksekliği, tüm yüksekliğin 2/3'ünden daha fazla.

Benzeyiş ve Farklar: Numunelerimiz incelenen literatürlerdeki örneklerle tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 4,0 mm, kavkı genişliği: 2,7 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:3,2 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Bu tür, günümüzde; Rusya'nın Baykal Gölü'nde, Orta Atlantik Bölgesi'nde, Massachusetts'teki Charles Nehri'nde, New York Cayuga Gölü'nde, Vermont'taki Champlain Gölü'nde, Hırvatistan, Finlandiya, Almanya, İsveç, İrlanda, Hollanda, Polonya (URL 3) ve Çek Cumhuriyeti'nde (Horsák vd., 2010) yayılım göstermektedir (Çizelge 3).

Türkiye'de; Pliyo-Kuvaterner döneminde; Seyhan-Ceyhan nehirlerinde (Geze Kalanyuva, 2021), Erken Pleyistosen'den günümüze kadar olan süreçte; Beyşehir Gölü'nde (Girod, 2013; Demir ve Kapan, 2025), Geç Pleyistosen'de; Konya Kapalı Havzası'nda (Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018) ve güncel zaman aralığında Eğirdir Gölü (Girod, 2013) ile Suğla Gölü'nde tanımlanmıştır (Gümüş vd., 2022) (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 (8,80-9,00 m) seviyesinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

***Radix* sp.**
Lev.:2, Şek.:6a-b

Tanımlama: Sadece son sarmalı görünen örneğin, apertürü ve spiri kırıktır.

Benzeyiş ve Farklar: Apertürü ve spiri kırık olan örneğimizin, son sarmalının genel görünümü itibariyle *Radix* cins özelliğini gösterdiği düşünülmektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 3,6 mm, kavkı genişliği: 2,5 mm, kavkının son sarmal yüksekliği:3,5 mm.

Bulunduğu Yer: SK-1 (9,00-9,20 m) seviyelerinde gözlenmektedir.

Alt Sınıf: Heterobranchia Burmeister, 1837
Süper Ordo: Hygrophila Férussac, 1822
Familya: Planorbidae Rafinesque, 1815
Cins: *Gyraulus* Charpentier, 1837

***Gyraulus parvus* (Say, 1817)**
Lev.:2, Şek.:7a-b-c

1959-1960-*Gyraulus (Torquis) parvus* (Say), Wenz ve Zilch, s.111, Şek.358.
1992-*Gyraulus parvus* (Say), Glöer vd., s.54.
2025- *Gyraulus parvus* (Say), Demir ve Kapan, s.128, Lev. 2, Şek. 8a-c.

Tanımlama: Kavkı disk şeklinde, planispiral sarılımda, kavkı üzeri ince düzensiz çizgilerle kaplı ve parlak. Sarmal sayısı: 4,5-5 adet, sarmallar; düzenli gelişmiş ve şişkin, sütur çizgisi derin. Apertür solda, eğik yuvarlak.

Benzeyiş ve Farklar: Numunemiz sinonim listesinde sıralanan kaynaklarla tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 1,1 mm, kavkı genişliği: 4,0 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Günümüzde; Jamaika, Küba, Meksika, Karayipler, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri (Porto Riko dahil), Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Fransa, Almanya ve İsrail'de yayılım göstermektedir (URL 4) (Çizelge 3).

Türkiye'de; Pliyosen-Kuvaterner'de Seyhan-Ceyhan nehirlerinde (Geze Kalanyuva, 2021), Erken Pleyistosen-Holosen'de Beyşehir (Demir ve Kapan, 2025) ve Geç Pleyistosen'de Konya Kapalı Havzası'nda (Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018) mevcudiyeti saptanmıştır (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((7,60-7,80 m) ve (9,00-9,20 m)) seviyelerinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

***Gyraulus* sp.**
Lev.:2, Şek.:8a-b-c

Tanımlama: Planaspiral sarılımlı. Apertür kırık. Sütur çizgilerinin üzeri sedimanla kaplı olduğundan görülememektedir.

Benzeyiş ve Farklar: Tür tayini yapılamayan form *Gyraulus* cinsine benzer özellikler taşımaktadır.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 0,6 mm, kavkı genişliği: 1,0 mm.

Bulunduğu Yer: SK-1 (8,20-8,40 m) seviyesinde gözlenmektedir.

Sınıf: Bivalvia Linnaeus, 1758
Alt Sınıf: Autobranchia Grobben, 1894
Ordo: Sphaeriida Lemer, Bieler & Giribet, 2019
Üst Familya: Sphaerioidea Deshayes, 1855 (1820)
Familya: Sphaeriidae Deshayes, 1855 (1820)
Cins: *Euglesa* Jenyns, 1832

***Euglesa casertana* (Poli, 1791)**
Lev.: 3, Şek.: 1a-b

1968- *Pisidium casertanum* (Poli), Kempf, s. 21, Lev. 4, Şek. 64, 65.

2016- *Pisidium casertanum* (Poli), Yıldız, 2016, XII, Lev.6, Şek. 3a-b.

2017- *Euglesa casertana* (Poli), Mouthon vd., s. 1511, Şek.2, K.

Tanımlama: Kavkı oval ve şişkin üzerinde belirgin konstantrik lameller mevcut. Çengel ön kenara yakın, tepe bölgesi hafif şişkin. Paleal kenar yay şeklinde gelişmiş.

Benzeyiş ve Farklar: Örneklerimiz, sinonim listedeki örneklerle tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 2,2 mm, kavkı genişliği: 2,4 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Erken Pliyosen'de Amerika Birleşik Devletleri'nde, Pleyistosen'de Danimarka'da, Erken ve Orta Pleyistosen'de, Çek Cumhuriyeti'nde ve Doğu Polonya'da, Orta Pleyistosen'de Almanya'da ve Hollanda'da, Orta-Geç Pleyistosen'de İngiltere'de, Holosen'de Güney Macaristan'da, Çek Cumhuriyeti ve Kuzey Polonya'da, günümüzde ise Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Almanya, Polonya ve Hollanda'da yayılım göstermektedir (Kuiper vd., 1989; Glöer ve Meier-Brook, 2003; Horsák, 2010; Yıldız, 2016) (Çizelge 3).

Türkiye'de ise Göller Bölgesi'nde, Orta Pleyistosen'de Burdur Havzası'nda (Yıldız, 2016) ve güncel zaman aralığında Beyşehir Gölü'nde (Girod, 2013) tanımlanmıştır (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((6,00-6,20 m), (6,40-6,60 m), (7,00-8,60 m), (8,80-9,20 m)); SK-2 ((2,80-3,00 m), (3,80-4,00 m) seviyelerinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

***Euglesa personata* (Malm, 1855)**
Lev.: 3, Şek.: 2a-b

2009- *Pisidium personatum* Malm, Schultheiß vd., s.156, Şek.1.

2016- *Pisidium personatum* Malm, Karayiğit vd., s. 53, Lev.2, Şek.13-14.

2021- *Euglesa personata* (Malm), Bespalaya vd., s.3039, Şek. h.

Tanımlama: Kavkı yuvarlak olup üzeri çok ince konsantrik lamellerle kaplı. Çengel ortada. Ligaman belirgin.

Benzeyiş ve Farklar: Sinonim listedeki literatürde tanımlanan örneklerle tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 1,6 mm, kavkı genişliği: 1,8 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Çek Cumhuriyeti Bohemya'da, Moravya'da, (Horsák vd., 2010) Almanya'da (Glöer ve Meier-Brook, 2003), Danimarka, Faroes, Finlandiya, İzlanda, Norveç, İsveç (Kuiper vd., 1989), Büyük Britanya ve İrlanda'da (Anderson, 2005) günümüzde yayılım göstermektedir (Çizelge 3).

Türkiye'de, Girod (2013), Karayiğit vd. (2016) ve Ergun (2020) *Euglesa personata* türünü *Pisidium personatum* olarak tanımlamışlardır. Beyşehir Gölü'nde Orta Pleyistosen-güncel zaman aralığında, Gölbaşı-Harmanlı'da Pleyistosen'de, Suğla Gölü'nde Kuvaterner'de tanımlanmıştır (Girod, 2013; Karayiğit vd., 2016; Ergun, 2020) (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((7,00-7,20 m), (7,40-7,60 m), (8,40-6,60 m)) seviyelerinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

Cins: *Pisidium* C. Pfeiffer, 1821
***Pisidium amnicum* (O.F. Müller, 1774)**
Lev.: 3, Şek.: 3a-b

1968- *Pisidium amnicum* (O.F. Müller), Kempf, s. 21, Lev. 4, Şek. 58-61.

2016- *Pisidium amnicum* (O.F. Müller), Yıldız, s. XII, Lev. 6, Şek. 2a-b

2023- *Pisidium amnicum* (O.F. Müller), Alçiçek vd., s.15, Şek. 13.g-h.

Tanımlama: Kavkı, üçgenimsi-oval formda ve parlak, yüzeyi konsantrik lameller ve büyüme çizgileri ile kaplı. Çengel ön kenara yakın.

Benzeyiş ve Farklar: Örneklerimiz, Kempf (1968), Yıldız (2016) ve Alçiçek vd. (2023)'ün *Pisidium amnicum* örnekleriyle tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 2,8 mm, kavkı genişliği: 3,0 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Miyosen'de Almanya'da, Geç Dasiyen-Geç Romaniyen'de Romanya'da, Pliyosen'de Rusya'da, Geç Pliyosen-Erken Pleyistosen'de, İtalya'da, Pleyistosen'de Karadeniz ve İngiltere'de, Erken Pleyistosen'de Almanya, Macaristan ve Güney Urallar'da, Orta Pleyistosen'de Çek Cumhuriyeti ve Güney Urallar'da, Kuvaterner'de Polonya'da, Holosen'de Hazar Denizi'nde, Holosen'den günümüze Almanya, Avrupa, Rusya, Kuzey Asya, Kuzey Afrika, Amur Nehri ve Kamçatka'da yayılım göstermektedir (Zhadin, 1965; Kempf, 1968; Meriç vd., 2000; Akbulut vd., 2002; Kabasakal, 2005; Horsák vd., 2010; Danukalova vd., 2016; Yıldız; 2016) (Çizelge 3).

Türkiye'de ise Erken Romaniyen'de Lapseki'de, Burdur Gölü'nde Orta Pleyistosen'de, Beyşehir Gölü'nde Orta Pleyistosen-güncel zaman aralığında ve Pleyistosen'de Baklan Havzası'nda tanımlanmıştır (Schütt, 1991; Kabasakal, 2005; Girod, 2013; Yıldız, 2016, Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018; Alçiçek vd., 2023) (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((6,00-6,40 m), (7,00-8,60 m), (8,80-9,20 m)); SK-2 ((2,40-2,60 m), (3,40-3,60 m), (3,80-4,20 m), (5,00-5,20 m), (5,60-5,80 m)) seviyelerinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

***Pisidium jassiensis* Cobălcescu, 1883**

Lev.: 3, Şek.: 4a-b

1896- *Pisidium iasiense* Cobălcescu, Stefanescu, s. 82, Lev. VII, Şek. 56-61.

1942- *Pisidium iasiense* Cobălcescu, Wenz, s. 111, Lev. 56, Şek. 587-589.

2018- *Pisidium iasiense* Cobălcescu, Özmen vd., s.126, Lev. 5, Şek. 10a-b.

Tanımlama: Kavkı küçük, yuvarlağa yakın üçgen şeklinde ve üzeri çok ince konsantrik lamellerle kaplı. Çengel çok hafif içe dönük.

Benzeyiş ve Farklar: Formlarımız incelenen literatürdeki örneklerle tamamen benzerlik sunmaktadır.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 1,7 mm, kavkı genişliği: 1,9 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Romanya'da (Iaşi) Dasiyen'de ve Romaniyen'de tanımlanmıştır (Stefanescu, 1896; Wenz, 1942) (Çizelge 3).

Türkiye'de ise Çanakkale (Lapseki)'de Erken Romaniyen'de, Karacaören'de Erken Pliyosen'de, Konya Kapalı Havzası'nda Geç Pleyistosen'de yayılım göstermektedir (Kabasakal, 2005; Çolakoğlu, 2006; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018) (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((7,20-7,60 m), (8,00-8,20 m), (8,40-8,60 m)); SK-2 (2,80-3,00 m) seviyelerinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

***Pisidium* sp.**

Lev.: 3, Şek.: 5a-b

Tanımlama: Kavkı küçük, ince ve çengel hafif öne dönük.

Benzeyiş ve Farklar: Kırık olan örneğimiz *Pisidium* cins karakterini taşımaktadır.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 1,6 mm, kavkı genişliği: 1,4 mm.

Bulunduğu Yer: SK-1 ((6,00-6,20 m), (7,20-7,40 m), (8,00-8,40 m)); SK-2 (2,60-2,80 m) seviyelerinde gözlenmektedir.

Ordo: Myida Stoliczka, 1870
Üst Familya: Dreissenoidea J.E. Gray, 1840
Familya: Dreissenidae J.E. Gray, 1840
Cins: *Dreissena* Beneden, 1835

***Dreissena iconica* Schütt, 1991**
Lev.: 3, Şek.: 6a-b.

1991- *Dreissena iconica* Schütt, s.147, Lev.1, Şek.1

2018- *Dreissena iconica* Schütt, Özmen vd., s.126, Lev. 5, Şek. 5,6,7,8.

Tanımlama: Kavkı, uzamış elips şeklinde ve yüzeyi ince konsantrik çizgilerle kaplı. Çengel, ön kenara kıvrılmış. Ön kenar, çengelden itibaren dikey, arka kenar ise eğik şekilli. Çengelden paleal kenara uzanan bir karen bulunmakta.

Benzeyiş ve Farklar: Numunelerimiz incelenen literatürdeki örneklerle tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 19,3 mm, kavkı genişliği: 7,0 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Schütt (1991) tarafından Kuvaterner'de Konya'da; Kapan vd. (2018) ve Özmen vd. (2018) tarafından Konya Kapalı Havzası'nda Geç Pleyistosen'de; Girod (2013) tarafından ise Holosen'de Konya Kapalı Havzası'nda tanımlanmıştır (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((1,40-1,60 m), (2,00-2,40 m), (2,80-3,00 m), (3,40-9,20 m)) ve SK-2 ((2,20-2,40 m), (2,60-6,60 m)) seviyelerinde gözlenmektedir.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

***Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771)**
Lev.: 3, Şek.: 7a-b

1771-*Mytilus polymorpha* Pallas, s. 478.

1983- *Dreissena (Dreissena) polymorhpa* (Pallas, 1771), Taner, Lev. I, Şek. 2a-b.

2020-*Dreissena polymorpha* (Pallas), Klinkenbuß vd., s.96, Şek. 1.

2023- *Dreissena polymorpha* (Pallas), Alçiçek vd., s.15, Şek. 13.b.

Tanımlama: Kavkı, uzun ve üzeri konsantrik lamellerle kaplı. Ön kenar, paleal kenarla yuvarlak biçimde; arka kenar ise keskin köşeli şekilde birleşir durumda.

Benzeyiş ve Farklar: Örneklerimiz sinonim listede verilen örneklerle tamamen benzerlik göstermektedir.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 13,1 mm, kavkı genişliği: 5 mm.

Paleocoğrafik Yayılım: Ponto-Kaspik Havza'ya ait (Son, 2007) bir tür olup, Pliyosen'de Paratetis Havzaları'nda, Romanya ve Rusya'da, Karadeniz, Hazar Denizi ve Gelibolu Yarımadası'nın Baküniyen tortullarında, Pleyistosen'de İtalya'da, Holosen'de Marmara Denizi, Hazar Denizi ve Karadeniz'de, günümüzde ise Hazar Denizi, Karadeniz ve Azak Denizi, Çek Cumhuriyeti, Rusya, Orta-Batı Avrupa, İsveç, Kuzey İtalya, Fransa, İrlanda, Güney İskandinavya ve Britanya'da yayılım göstermektedir (Pallas, 1771; Meriç vd., 2000; Orlova, 2002; Minchin vd., 2003; Horsák vd., 2010; Bizzarri vd., 2018; Yıldırım vd., 2023) (Çizelge 3).

Türkiye'de Gelibolu'da Hamzakoy Formasyonu'nda, Baküniyen'de (Taner, 1983), Çanakkale Karacaören'de Geç Romaniyen-Geç Kuvalnikiyen 'de (Kabasakal, 2005), Pleyistosen'de Baklan Havzası'nda (Alçiçek vd., 2023), Beyşehir ve Eğirdir göllerinde güncel olarak bulunmuştur (Girod, 2013) (Çizelge 3).

Bulunduğu Yer: SK-1 ((1,00-1,20 m), (2,20-2,40 m), (2,80-3,20 m), (3,60-8,00 m), (8,20-9,20 m)); SK-2 ((1,40-1,60 m), (2,40-2,80 m), (3,20-5,20 m), (5,40-6,60 m)) seviyelerinde tanımlanmıştır.

Bulunduğu Stratigrafik Seviye: Geç Pleyistosen.

***Dreissena* sp.**
Lev.: 3, Şek.: 8a-b

Tanımlama: Kavkı, kırık ve üzerinde konsantrik lameller mevcut. Çengel sivri ve öne doğru kıvrılmış.

Benzeyiş ve Farklar: Örneğimizin belirgin özellikleri göz önüne alındığında *Dreissena* cinsine ait olduğu düşünülmüştür.

Ölçüler: Kavkı yüksekliği: 5,1 mm, kavkı genişliği: 6 mm.

Bulunduğu Yer: SK-1 ((0,80-1,00 m), (1,20-1,40 m), (1,80-2,20 m), (2,40-3,40 m), (3,60-6,80 m), (7,20-7,40 m), (8,00-8,20 m), (8,60-9,20 m)) ve SK-2 ((1,20-1,60 m), (1,80-2,20 m), (2,60-2,80 m), (3,00-6,60 m) derinliklerinde tanımlanmıştır.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Torosların yükselmesiyle birlikte, Göller Bölgesi'nde Geç Miyosen'den itibaren limnik ve flüvyal ortamlarda farklı litofasiyeslerle temsil edilen havzalar gelişmeye başlamıştır (Alçiçek vd., 2019). Pliyosen–Erken Pleyistosen döneminde fay kontrollü tektonik rejim, havzaların genişleyerek yer değiştirmesine neden olmuş; bu süreçte biriken limnik ve flüvyal çökeller "Pisidik Formasyonu" adı altında tanımlanmıştır (Bering, 1971; Alçiçek, 2007). Pisidik Formasyonu, Erken Pliyosen'den Erken Pleyistosen'e kadar uzanan bir zaman aralığını kapsamaktadır (Bering, 1971). Erken Pleyistosen'de dağ yükselmeleri ve yoğun tektonik kırılmalar sonucu ana havzalarda sedimantasyon sona ermiş, ancak bazı bloklar üzerinde çökelme sınırlı biçimde sürmüştür. Bu ikincil havzalarda, Orta Pleyistosen'den günümüze kadar uzanan çökeller birikmiştir. Söz konusu döneme ait çöküntü alanları, günümüzde "Göller Bölgesi" sınırları içinde bulunan ve Bering'in (1971) tanımıyla "Pisidik Göller Bölgesi" olarak adlandırılan Burdur, Eğirdir, Akşehir, Eber, Ilgın, Beyşehir, Suğla ve Hotamış gibi göllerin gelişiminde belirleyici olmuştur.

Pleyistosen döneminde birleşik olduğu öne sürülen Akşehir ve Eber gölleri (Kazancı vd., 1994; İleri, 2002) arasında yer alan Taşköprü, Göller Bölgesi'nin paleocoğrafik bağlantılarının ortaya çıkarılmasında önemli bir konuma sahiptir. Göller Bölgesi'nde, paleocoğrafik ve paleoiklimsel bağlantıları açığa çıkarmaya yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur (Erol, 1971; 1978; Roberts, 1983; Kuzucuoğlu vd., 1999; Nemec ve Kazancı, 1999; Roberts vd., 2003; Büyükmeriç ve Wesselingh, 2018; Kapan vd., 2018; Tagliasacchi ve Yağmurlu, 2019; Gürbüz vd., 2021; Orhan vd., 2021; Tuncer vd., 2023; Aktürk ve Kapan, 2025; Demir ve Kapan, 2025). Bu bağlamda, Akşehir ve Eber gölleri arasındaki olası bağlantının anlaşılmasında kilit bir geçit niteliği taşıyan Taşköprü'den alınan sondaj karotları da bölgenin eski çevresel koşullarının çözümlenmesine olanak sağlamaktadır.

Nitekim, Taşköprü sondaj karotlarından sistematik olarak alınan örneklerden; Mollusca şubesinin Gastropoda sınıfına ait; *Valvata piscinalis* (O. F. Müller, 1774), *V.* sp., *Bithynia pseudemmericia* Schütt, 1964, *B. pseudemmericia* operkül, *Graecoanatolica lacustristurca* Radoman, 1973, *Laevicaspia caspia* (Eichwald, 1838), *L. kolesnikoviana* (Logvinenko & Starobogatov, 1966), *L. lincta* (Milaschewitsch, 1908), *L.* sp., *Lymnaea* sp., *Stagnicola* sp., *Radix auricularia* (Linnaeus, 1758), *R.* sp., *Gyraulus parvus* (Say, 1817) ve *G.* sp. türleri ile Bivalvia sınıfına ait; *Euglesa casertana* (Poli, 1791), *E. personata* (Malm, 1855), *Pisidium amnicum* (O. F. Müller, 1774), *P. jassiensis* Cobălcescu, 1883, *P.* sp., *Dreissena iconica* Schütt, 1991, *D. polymorpha* (Pallas, 1771) ve *D.* sp. türleri tanımlanmıştır.

İnceleme alanından tanımlanan gastropoda ve bivalvia sınıfına ait türlerin paleocoğrafik ve stratigrafik yayılımları; Neojen-Kuvaterner zaman aralığı boyunca Ural Dağları'nın güneyi, İngiltere, Viyana Havzası'ndan (Çek Cumhuriyeti, Almanya), Hollanda, İtalya, Pannonik (Macaristan, Polonya), Dasik (Romanya) ve Ponto-Kaspik Havza'ya kadar uzanan geniş bir paleocoğrafyaya ulaşmış olsa da, sayıca en bol olan *Dreissena iconica* ve *Valvata piscinalis* türlerinin, Göller Bölgesi'nin Geç Pleyistosen biyocoğrafyasında yayılım gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Konya Kapalı Havzası'nda Geç Pleyistosen'de havzanın endemik türü olan *Dreissena iconica* ile birlikte *Valvata piscinalis*, *Bithynia pseudemmericia*, *Graecoanatolica lacustristurca*, *Radix auricularia*, *Gyraulus parvus* ve *Pisidium jassiensis* türleri tanımlanmıştır (Schütt, 1991; Girod, 2013; Kapan vd., 2018; Özmen vd., 2018).

Son Buzul Çağından sonra kuruyan Eski Konya Gölü'nde (Erol, 1969; Karabıyıkoğlu, 2003; Gürbüz ve Kazancı, 2014; Özsayın vd., 2019; Orhan vd., 2021), günümüzde Aksaray, Çeltik, Üstünler, Peçeneközü, Sarısu ve Konya merkez gibi sınırlı bir alanda sıkışmış, *Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus, 1758), *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758), *Galba truncatula* (O. F. Müller, 1774), *Stagnicola palustris* (O. F. Müller, 1774), *Radix auricularia* (Linnaeus, 1758), *Peregriana labiata* (Rossmässler, 1835), *Ampullaceana balthica* (Linnaeus, 1758), *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), *Physa fontinalis* (Linnaeus, 1758), *Physella acuta* (Draparnaud, 1805), *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758), *Bathyomphalus contortus* (Linnaeus, 1758), *Gyraulus albus* (O. F. Müller, 1774) ve *Gyraulus piscinarum* (Bourguignat, 1852) türlerinin yaşadığı ifade edilmektedir (Gümüş vd., 2022).

Burdur Gölü'nde Orta Pleyistosen'de *Valvata piscinalis*, *Graecoanatolica lacustristurca*, *Euglesa casertana* ve *Pisidium amnicum* fosilleri bulunmuştur (Schütt, 1990; Yıldız, 2016). Günümüz Burdur Gölü'nde, gölün kimyasal koşullarından dolayı yaşayan bir mollusk faunasının bulunmadığı ifade edilse de Yıldırım (1999) tarafından Burdur Havzası'nda yer alan Yarışlı Gölü'nde tatlı su gastropodlarından *Bithynia pseudemmericia* türü tanımlanmıştır (Yıldırım vd., 2007).

Eğirdir'in güncel çökelleri ile Beyşehir Gölü'nün Orta Pleyistosen çökellerinde ise bu havzaların endemik türü olan *Graecoanatolica lacustristurca*'nın yanı sıra (Schütt, 1991; Yıldırım, 2004; Kebapçı vd., 2012), *Valvata piscinalis*, *Bithynia pseudemmericia*, *Radix auricularia*, *Gyraulus parvus*, *Euglesa casertana, E. personata*, *Pisidium amnicum* ve *Dreissena polymorpha* türlerinin varlığı bilinirken (Schütt, 1991; Yıldırım, 1999, 2004; Glöer ve Yıldırım, 2006; Yıldırım ve Kebapçı, 2009; Kebapçı ve Yıldırım, 2010; Girod, 2013; Gümüş vd., 2022; Demir ve Kapan, 2025), Suğla Gölü'nde Kuvaterner'de *Euglesa personata* türü tespit edilmiştir (Ergun, 2020). Günümüzde Beyşehir Gölü'nde; *Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus, 1758), *Melanoides tuberculata* (O.F. Müller, 1774), *Bithynia pseudemmericia* Schütt, 1964, *Valvata piscinalis* (O.F. Müller, 1774), *Valvata saulcyi* Bourguignat, 1853, *Peregriana labiata* (Rossmässler, 1835), *Ampullaceana balthica* (Linnaeus, 1758), *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758), *Planorbis planorbis* (Linnaeus, 1758), *Gyraulus albus* (O.F. Müller, 1774) ile *Gyraulus piscinarum* (Bourguignat, 1852) ve Suğla Gölü'nde *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758), *Peregriana labiata* (Rossmässler, 1835), *Ampullaceana balthica* (Linnaeus, 1758), *Physa fontinalis* (Linnaeus, 1758), *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758) ile *Radix auricularia* (Linnaeus, 1758) türleri tanımlanmıştır (Gümüş vd., 2022).

Sözen ve Yiğit (1999), Akşehir Gölü tortullarından *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), *Stagnicola palustris* (Müller, 1774), *Radix auricularia* (Linnaeus, 1758), *Physa acuta* (Draparnaud, 1805), *Planorbis planorbis*

(Linnaeus, 1758), *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758), *Acroloxus lacustris* (Linnaeus, 1758), *Zonitides* sp., *Valvata naticina* Menke, 1845, *Bithynia pseudemmericia* Schütt, 1964, *Pisidium* sp., ve *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) türlerini bildirmişlerdir. Gürlek (2019) ise günümüzde Eber Gölü'nden *Bithynia pseudemmericia* türünü tanımlamıştır.

Bu çalışmada tanımlanan fosillerle ortak olarak tanımlanan *Bithynia pseudemmericia Radix auricularia*, *Pisidium* sp. ve *Dreissena polymorpha* türleri, Geç Pleyistosen'de Akşehir ve Eber göllerinin birbiriyle bağlantılı olabileceğine işaret etmektedir. Buna karşılık, ortak olmayan *Stagnicola palustris*, *Physa acuta*, *Planorbis planorbis*, *Planorbarius corneus*, *Acroloxus lacustris*, *Zonitides* sp. ve *Valvata naticina* türleri ise, günümüzde bu göllerin tatlı su bataklığına dönüşmekte olduğunu göstermektedir.

Yukarıda bahsedildiği gibi Göller Bölgesi'nde (Konya, Afyon, Denizli, Burdur, Eğirdir, Beyşehir, Suğla) tespit edilmiş olan faunanın, bu çalışmanın yapıldığı alanda da tanımlanmış olması, Geç Pleyistosen esnasında bu göllerin sınırlarının daha geniş alanlara yayıldığına hatta birbirleriyle birleşik daha büyük bir göl olabileceğine işaret etmektedir. Eğer bir fiziki bağlantı söz konusu değilse bu göllerin benzer paleoortamsal koşullara (tatlı sularla beslenen limnik (<‰0,5) ve oligohalin (<‰0,5-5) koşullara sahip bağımsız göller olabileceği de düşünülmektedir.

EXTENDED SUMMARY

The Taşköprü site, selected as the study area, is currently a landmass located between Lake Akşehir and Lake Eber. Lake Akşehir and Lake Eber are separated by the NE–SW-oriented Üçkuyu Fault (Kazancı et al., 1994).

In this study, the gastropod and bivalve fauna obtained from drilling cores in Taşköprü were systematically examined for the first time, and the paleogeographic distribution of the fauna was interpreted. As a result of the examinations, 8 genera and 8 species belonging to the class Gastropoda were identified (Valvata piscinalis (O. F. Müller, 1774), Valvata sp., Bithynia pseudemmericia Schütt, 1964, Bithynia pseudemmericia operculum, Graecoanatolica lacustristurca Radoman, 1973, Laevicaspia caspia (Eichwald, 1838), Laevicaspia kolesnikoviana (Logvinenko & Starobogatov, 1966), Laevicaspia lincta (Milaschewitsch, 1908), Laevicaspia sp., Lymnaea sp., Stagnicola sp., Radix auricularia (Linnaeus, 1758), Radix sp., Gyraulus parvus (Say, 1817), Gyraulus sp.), and 3 genera and 6 species belonging to the class Bivalvia were identified (Euglesa casertana (Poli, 1791), Euglesa personata (Malm, 1855), Pisidium amnicum (O. F. Müller, 1774), Pisidium jassiensis Cobălcescu, 1883, Pisidium sp., Dreissena iconica Schütt, 1991, Dreissena polymorpha (Pallas, 1771), Dreissena sp.). In the lower levels of the stratigraphic sequence established through the correlation of the SK-1 and SK-2 drill cores, several species were identified within the yellowish-brown, medium to coarse-grained gravelly sand and the laterally transitional clayey sand lithologies. These species include Valvata piscinalis, V. sp., Bithynia pseudemmericia, B. pseudemmericia operculum, Graecoanatolica lacustristurca, Laevicaspia caspia, L. lincta, L. sp., Euglesa casertana, Pisidium amnicum, P. jassiensis, Dreissena iconica, D. polymorpha, and D. sp. In the dark gray and organic-rich clay levels located in the middle part of the stratigraphic succession, the following species were identified: Valvata piscinalis, V. sp., Bithynia pseudemmericia operculum, Laevicaspia caspia, L. kolesnikoviana, L. lincta, L. sp., Lymnaea sp., Stagnicola sp., Radix auricularia, R. sp., Gyraulus parvus, G. sp., Euglesa casertana, E. personata, Pisidium amnicum, P. jassiensis, P. sp., Dreissena iconica, D. polymorpha, and D. sp. In the uppermost light gray silty clay lithologies, the identified species included Valvata piscinalis, V. sp., Bithynia pseudemmericia, B. pseudemmericia operculum, Laevicaspia caspia, L. lincta, L. sp., Dreissena iconica, D. polymorpha, and D. sp.

Paleontological data provide important insights into past connections between lakes and inland seas, as well as into the paleogeography of these systems (Steininger & Rögl, 1984). In this context, the present study evaluates the possible connections of the Taşköprü locality with contemporaneous fluvial lakes in the Lakes Region during the Late Pleistocene. The paleobiogeographic distribution of the identified fauna extends over a wide area during the Neogene–Quaternary interval, ranging from the southern Ural Mountains to England, the Vienna Basin (Czech Republic, Germany), the Netherlands, Italy, the Pannonian Basin (Hungary, Poland), Dasic (Romania), and the Ponto-Caspian Basin (Table 3). The most abundant fossil species in the study area – Dreissena iconica, D. polymorpha, Valvata piscinalis, and Pisidium amnicum (Tables 1 and 2) – are commonly observed in the Late Pleistocene paleobiogeography of the Lakes Region (Table 3). The presence of Dreissena iconica, endemic to the Konya Closed Basin (Schütt, 1991; Girod, 2013; Kapan et al., 2018; Özmen et al., 2018); Graecoanatolica lacustristurca, specific to Lakes Eğirdir and Beyşehir (Schütt, 1991; Yıldırım, 1999, 2004; Glöer & Yıldırım, 2006; Yıldırım & Kebapçı, 2009; Kebapçı & Yıldırım, 2010; Girod, 2013; Kebapçı et al., 2012); and Valvata piscinalis, Radix auricularia, Gyraulus parvus, and Euglesa personata, which have also been recorded in the Suğla and Burdur basins (Schütt, 1990; Yıldız, 2016; Ergun, 2020), indicates that there may have been a physical connection among these lakes during the Late Pleistocene. Alternatively, in the absence of such a connection, it is plausible that these lakes developed as independent systems under similar paleoenvironmental conditions.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri FHD-2023-4392 kodlu proje tarafından desteklenmiş olup ikinci yazarın danışmanı olduğu, birinci yazarın "Akarçay Havzası ve Çevresindeki Pliyo-Kuvaterner Çökellerin Stratigrafisi, Mollusk Faunası, Paleoiklim ve Paleoekolojik Özellikleri (Afyonkarahisar-Konya, GB Türkiye)" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir. Doktora tezi 2020 ile 2024 yılları arasında YÖK 100/2000 Doktora Burs Programı "İklim Değişikliği" öncelikli tez alanında desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya konulmasında arazi ve laboratuvar süreçlerinde verdikleri destekten ötürü Jeoloji Yüksek Mühendisi Dr. Koray AKTÜRK'e ve makalenin akademik gelişimine katkıda bulunan hakemler ile alan editörü Prof. Dr. Mine Sezgül KAYSERİ ÖZER'e teşekkürlerimizi sunarız.

ORCID

Harika Marmara https://orcid.org/0000-0001-8044-715X
Sevinç Kapan https://orcid.org/0000-0002-7848-993X

KAYNAKLAR / *REFERENCES*

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M. F. ve Yurtsever, A. (2011). *1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara, Türkiye.

Akbulut, M., Öztürk, M. & Öztürk, M. (2002). The Benthic Macroinvertebrate Fauna of Sarıkum Lake and Spring Waters (Sinop). *Turkish Journal of Marine Sciences*, *8*, 103-119. https://dergipark.org.tr/en/pub/jbme/issue/9866/121993

Aktürk, K. & Kapan, S. (2025). The Quaternary fluvial-lacustrine system in the Akarçay Basin (SW Anatolia): depositional environments and paleoclimatic interpretation. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *34*(4), 562-581. https://doi.org/10.55730/1300-0985.1975

Alçiçek, H., Gross, M., Bouchal, J. M., Wesselingh, F. P., Neubauer, T. A., Meijer, T., van den Hoek Ostende, L. W., Tesakov, A., Murray, A. M., Mayda, S. & Alçiçek, M. C. (2023). Paleobiodiversity and paleoenvironments of the eastern Paratethys

Pleistocene lacustrine-palustrine sequence in the Baklan Basin (SW Anatolia, Turkey). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *626*, Article 111649. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111649

Alçiçek, M. C. (2007). Tectonic development of an orogen-top rift recorded by its terrestrial sedimentation pattern: the Neogene Eşen Basin of southwestern Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology, 200*(1-2), 117-140.

Alçiçek, M. C., Mayda, S., ten Veen, J. H., Boulton, S. J., Neubauer, T. A., Alçiçek, H., ... & Van Den Hoek Ostende, L. W. (2019). Reconciling the stratigraphy and depositional history of the Lycian orogen-top basins, SW Anatolia. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments, 99*, 551-570.

Altınsaçlı, S., Kılıç, M. & Altınsaçlı, S. (2000). A Preliminary study on the Ostracoda (Crustacea) fauna of Lake Akşehir. *Turkish Journal of Zoology*, *24*, 9-16.

Anderson, R. (2005). An annotated list of the non-marine Mollusca of Britain and Ireland. *Journal of Conchology*, *38*(6), 607-638.

Atalay, İ. (1977). *Sultandağları ile Akşehir ve Eber Gölleri havzalarının strüktüral, jeomorfolojik ve toprak erozyonu etüdü*. Atatürk Üniversitesi Yay. No.500, Erzurum.

Bering, D. (1971). The development of the Neogene and Quaternary intramontane basins within the Pisidic lake district in S. Anatolia. *Newsletters on Stratigraphy, 1*, 27–32.

Bespalaya, Y. V., Aksenova, O. V., Sokolova, S. E., Shevchenko, A. R., Tomilova, A. A. & Zubrii, N. A. (2021). Biodiversity and distributions of freshwater mollusks in relation to chemical and physical factors in the thermokarst lakes of the Gydan Peninsula, Russia. *Hydrobiologia*, *848*, 3031-3044. https://doi.org/10.1007/s10750-020-04227-9

Bilgin, F. H. (1973). *Batı Anadolu İç Sularında Tespit Edilen Mollusk Türlerinin Tanıtılması Ekolojisi ve Dağılışları ile Bazı Prosobranch'ların Anatomilerinde Görülen Özellikler* [Doçentlik Tezi]. EÜ FF Genel Zooloji Kürsüsü Bornova-İzmir.

Bilgin, F. H. (1980). Batı Anadolunun bazı önemli tatlı sularından toplanan Mollusca türlerinin sistematiği ve dağılışı. *Diyarbakır Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, *8*(2), 1-64.

Bizzarri, R., Corrado, P., Magri, D., Martinetto, E., Esu, D., Caprai, V., Colacicchi, R., Napoleone, G., Albianelli, A. & Baldanza, A. (2018). Palaeoenvironmental and climatic inferences from the late early Pleistocene lacustrine deposits in the eastern Tiberino Basin (central Italy). *Quaternary Research*, *90*(1), 201-221. https://doi.org/10.1017/qua.2018.41

Büyükmeriç, Y. & Wesselingh, F. P. (2018). New cockles (Bivalvia: Cardiidae: Lymnocardiinae) from Late Pleistocene Lake Karapınar (Turkey): Discovery of a Pontocaspian refuge?. *Quaternary International*, *465*, 37-45. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.03.018

Coşkun, S. (2024). Akarçay Kapalı Havzası'nın yaz mevsiminde buharlaşma ve akım verilerinin trend analizi. *The Journal Of Social Sciences*, (47), 162-177. https://doi.org/10.29228/SOBIDER.45362

Çetinkaya, O. (1991). Akşehir Gölü su Kalitesi, plankton ve bentik faunası üzerine bir araştırma. *Göller Bölgesi Tatlı Su Kaynaklarının Korunması ve Çevre Sorunları Sempoyumu, Bildiriler Kitabı* (s. 413-429), Isparta.

Çolakoğlu, G. (2006). *Karacaören (Çanakkale) Civarının Neojen Stratigrafisi ve Mollusk Faunası* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Danukalova, G., Yakovlev, A., Osipova, E., Kurmanov, R. & van Kolfschoten, T. (2016). Biostratigraphy of the early Middle Pleistocene of the Southern Fore-Urals. *Quaternary International, 420*, 115-135. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.087

Demir, A. ve Kapan, S. (2025). Beyşehir Göl Havzası Çevresindeki Çökellerin Kuvaterner Stratigrafisi, Gastropoda Faunası ile Paleoiklimi ve Paleoekolojisi/Quaternary Stratigraphy, Gastropoda Fauna, Palaeoclimate and Palaeoecology of the sediments around Beyşehir Lake Basin. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 68(1), 1-22. https://doi.org/10.25288/tjb.1570701

Demirtaş, R., Kuru, T. ve Mirzaoğlu, M. (2019). *Sultandağı (Afyon) Yenikarabağ Köyü civarında 2018 yılında oluşmuş yüzey yarıkları-çökmelerin oluşum mekanizması*. Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı Teknik raporu (Yayımlanmış), Ankara. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32663.42406

Dönmez, S. (2018). Akşehir Gölü su seviyesinin çekilmesinin meteorolojik ve uydu verileri ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *33*(1). https://doi.org/10.17341/gazimmfd.406790

Eichwald, E. (1838). Faunae Caspii Maris primitiae. *Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou, 11*(2), 125–174. https://biodiversitylibrary.org/page/41342125

Elmacı, A. ve Obalı, O. (1998). Akşehir Gölü kıyı bölgesi alg florası. *Turkish Journal of Biology, 22*, 81-98.

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. (2013*). 1:1.250.000 Ölçekli Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası.* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1.

Eren, Y. & Nalbantçılar, T. (2021). *Akşehir-Eber gölleri su seviye değişimini etkileyebilecek yüzey kırıklarının belirlenmesi projesi*. Akşehir ve Eber Çevre Koruma Birliği Raporu (yayımlanmamış).

Ergun, Z. (2020). *Suğla Gölü (Seydişehir, Konya) Çökellerinin Sedimantolojik ve Palinolojik İncelemesi; Göller Bölgesi Kuvaterner Paleocoğrafyasının Gelişimi* [Yayımlanmış Doktor Tezi]. Ankara Üniversitesi.

Erol, O. (1969). *Geology and geomorphology of Tuzgölü (Salt Lake) basin* (Report No. 4220). Mineral Research and Exploration Institute Reports, Turkey [in Turkish].

Erol, O. (1971). Konya, Tuz Gölü, Burdur havzalarındaki pluvial göllerin çekilme safhalarının jeomorfolojik delilleri. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi, 3-4*, 13–52.

Erol, O. (1978). The Quaternary history of the Lake Basins of central and southern Anatolia. In Brice, W.C. (Ed.), *The Environmental History of the Near and Middle East since the Last Ice Age* (pp. 111–139.). Academic Press, London.

Geze Kalanyuva, Y. (2021). *Tarsus-Seyhan-Ceyhan nehirleri delta kompleksinin Kuvaterner jeolojisi, Adana, GD Türkiye* [Yayımlanmış Doktor Tezi]. Ankara Üniversitesi.

Girod, A. (2013). Recent and Ancient Deathassemblages of Molluscs in Lakes Eğirdir and Beyşehir (SW Anatolia, Turkey). *Natural History Sciences*, *154*(1), 41-56. https://doi.org/10.4081/nhs.2013.41

Glöer, P. & Meier-Brook, C. (2003). *Süßwassermollusken. Ein Bestimmungsschlüssel für die Bundesrepublik Deutschland [Freshwater molluscs. Identification keys for the FRG]. Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung, Hamburg*. ISBN 3-923376-02-2.

Glöer, P., Meier-Brook, C. & Ostermann, O. (1992). *Süßwassermollusken: Ein Bestimmungsschlüssel für die Bundesrepublik Deutschland* (10th rev. and expanded ed.). Hamburg: Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung, 111 pp.

Glöer, P. & Yıldırım, Z. M. (2006). *Some records of Bithyniidae from Turkey with the description of Bithynia pesicii n.sp. (Gastropoda: Bithyniidae). Malakologische Abhandlungen. Dresden. 24*, 37-42.

Gözler, A. M. & Baytaşoğlu, H. (2020). Mollusca fauna of the Çoruh River and its tributaries. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, *5*(2), 185-190. https://doi.org/10.35229/jaes.678664

Grigorovich, I. A., Mills, E. L., Richards, C. B., Breneman, D., Ciborowski, J. J. H. (2005). European Valve Snail Valvata piscinalis (Müller) in the Laurentian Great Lakes Basin. *Journal of Great Lakes Research*, *31*, 135-143.

Gümüş, B. A. Gürbüzer, P. & Altındağ, A. (2022). Towards a sustainable world: diversity of freshwater gastropods in relation to environmental factors—A case in the Konya Closed Basin, Türkiye. *Diversity*, *14*(11), 934. https://doi.org/10.3390/d14110934

Gürbüz, A. & Kazancı, N. (2014). Facies characteristics and control mechanisms of Quaternary deposits in the Tuz Gölü basin. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, *149*, 1-18. https://doi.org/10.19111/bmre.63616

Gürbüz, A., Kazancı, N., Hakyemez, H. Y., Leroy, S. A., Roberts, N., Saraç, G., Ergun, Z., Boyraz-Arslan, S., Gürbüz, E., Koç, K., Yedek, Ö. & Yücel, T. O. (2021). Geological evolution of a tectonic and climatic transition zone: the Beyşehir-Suğla basin, lake district of Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, *110*, 1077-1107. https://doi.org/10.1007/s00531-021-02007-x

Gürbüz, E. (2023). Monitoring spatio-temporal changes in wetlands with harmonized image series in Google Earth Engine. *Environmental Monitoring and Assessment*, *195*(6), 770. https://doi.org/10.1007/s10661-023-11400-9

Gürlek, M. E. (2009). *Kahramanmaraş bölgesi tatlısularındaki Mollusca türleri üzerine faunistik bir araştırma* [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.

Horsák, M. Juřičková, L. Beran, L. Čejka, T. & Dvořák, L. (2010). Komentovaný seznam měkkýšů zjištěných ve volné přírodě České a Slovenské republiky. [Annotated list of mollusc species recorded outdoors in the Czech and Slovak Republics]. *Malacologica Bohemoslovaca, Suppl. 1*, 1-37.

İleri, Ö. (2002). *Eber Gölü (İç Batı Anadolu) Geç Kuvaterner Tortullarının Sedimantolojik İncelemesi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Ankara Üniversitesi.

Jokinen, E. (1992). *The Freshwater Snails (Mollusca: Gastropoda) of New York State*. The University of the State of New York, The State Education Department, The New York State Museum, Albany, New York 12230.

Kabasakal, S. (2005). *Lapseki (Çanakkale) Yöresi Neojen Stratigrafisi ve Gastropod-Pelecypod Faunası* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kala, H. (2006). *Akarçay ve çevresinin (Afyonkarahisar) florası*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Afyon Kocatepe Üniversitesi, 133 s.

Kale, M. M. (2021). Akarçay Kapalı Havzası için hidrolojik kuraklık analizi. *Coğrafya Dergisi*, (42), 165-180. https://doi.org/10.26650/JGEOG2021-892360

Kapan, S., Delikan, A., Sayın, Ü., Gürsoy, B., Demir, A., Bakkal, G., Orhan, H., Engin, B. ve Özmen, A., (2018). Geç Pleyistosen Mollusk ları ile Eski Konya Gölünün Paleoekolojisi ve Oksijen-Karbon İzotopları ile Paleoiklimsel Yorumu. Avcıoğlu, M., Kurttaş, M., Toksoy, Köksal., F, Eyüboğlu., Y, Baba, A., Yiğitbaş, E. (Ed. ler), *71. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı*, (s. 803-806). Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/9ee599173fc3528_ek.pdf

Karabıyıkoğlu, M. (2003). *Konya Havzası'nın Geç Kuvaterner Evrimi*. [Yayımlanmış Doktor Tezi]. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı. İstanbul.

Karayiğit, A. I., Oskay, R. G., Tuncer, A., Mastalerz, M., Gümüş, B. A., Şengüler, I., Yaradılmış, H. & Tunoğlu, C. (2016). A multidisciplinary study of the Gölbaşı-Harmanlı coal seam, SE Turkey. *International Journal of Coal Geology*, *167*, 31-47. https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.104149

Kazancı, N. & Roberts, N. (2019). The lake basins of South-west Anatolia. In Kuzucuoğlu, C., Çiner, A. & Kazancı, N. (Eds.) *Landscapes and Landforms of Turkey* (pp. 325-337). Springer International Publishing.

Kazancı, N., Nemec, W., İleri, Ö. ve Kavuşan, G. (1994). *Islah ve kurtarma çalışmaları için Akşehir ve Eber göllerinin sedimantolojik incelenmesi* (Proje No: YBAG, 19). TÜBİTAK.

Kebapçı, Ü., Koca, S. B. & Yıldırım, M. Z. (2012). Revision of Graecoanatolica (Gastropoda: Hydrobiidae) species in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, *36*(4), 399-411. https://doi:10.3906/zoo-1011-10

Kebapçı, Ü. & Yıldırım, M. Z. (2010). Freshwater snails fauna of lakes region (Göller Bölgesi), Turkey. *Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii şi comunicari. Ştiintele Naturii, 26*(2), 75-83.

Kempf, E.K. (1968). Mollusken aus dem Holstein-Intergiazial des Niederrheingebietes. *Arch. Molluskenkunde*, *98*(1/2): 1-21.

Kılıçaslan, I. & Özbek, M. (2010). Contributions to the knowledge on the distribution of freshwater Mollusca species of Turkey. *Review of Hydrobiology*, *3*(2).

Klinkenbuß, D., Metz, O., Reichert, J., Hauffe, T., Neubauer, T. A., Wesselingh, F. P. & Wilke, T. (2020). Performance of 3D morphological methods in the machine learning assisted classification of closely related fossil bivalve species of the genus Dreissena. *Malacologia, 63*(1), 95-105. https://doi.org/10.4002/040.063.0109

Koçyiğit, A. & Özacar, A. (2003). Extensional Neotectonic Regime through the NE Edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data, *Turkish Journal of Earth Science*, *12*, 67-90. https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol12/iss1/5

Kuiper, J. G. J., Økland, K. A., Knudsen, J., Koli, L., von Proschwitz, T. & Valovirta, I. (1989). Geographical distribution of the small mussels (Sphaeriidae) in North Europe (Denmark, Faroes,

Finland, Iceland, Norway and Sweden). *Annales Zoologici Fennici*, *26*(2), 73–101.

Kuzucuoğlu, C., Bertaux, J., Black, S., Denefle, M., Fontugne, M., Karabıyıkoğlu M., Kashima, K., Limondin-Lozouet, N., Mouralis, D. & Orth, P. (1999). Reconstruction of climatic changes during the late Pleistocene, based on sediment records from the Konya basin (Central Anatolia, Turkey), *Geological Journal*, *Special Issue on Turkish Geology, 34*, 175-198.

Lorencová, E., Beran, L., Nováková, M., Horsáková, V., Rowson, B., Hlaváč, J. Č., Nekola J. C. & Horsák, M. (2021). Invasion at the population level: a story of the freshwater snails Gyraulus parvus and G. laevis. *Hydrobiologia*, *848*(19), 4661-4671. https://doi.org/10.1007/s10750-021-04668-w

Marmara, H., Kapan, S. & Aktürk, K., (2024). Paleoenvironmental Characteristics of Quaternary Sediments Around Taşköprü (Afyonkarahisar/Sultandağı, SW Turkey) with Distribution of Molluscan Fauna. Çan, T., Tekin, S., Pınarcı, E., Kadakçı, T., Koca, M., Koçkar, K., Olgun, Ş., Güler, C., Sarı, E., Tiringa, D. E. (Ed. ler), *76. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı*, (s. 307). Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/4ce6ecf6eff3fd0_ek.pdf

Meriç, E., Meriç, İ. E., Avşar, N., Tunoğlu, C., Güler, T., Yeşilyurt, S. K., Ünsal. İ. ve Rosso, A. (2000). Geç Kuvaterner (Holosen)'de İstanbul Boğazı Yolu ile Marmara Denizi-Karadeniz Bağlantısı Hakkında Yeni Bulgular. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, *43*(1), 73-118. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/ff8424b526eadce_ek.pdf

Milaschewitsch, K. O. (1908). Molluscs collected during the excursion of S.A. Zernov on the torpedo-boat No. 264 on the Danube River from June 28 to July 3, 1907. [Моллюски, собранные во время экскурсии С.А. Зернова на миноносце № 264 на р. Дунай с 28 июня по 3 июля 1907 г.]. *Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg. ser. 6, 2*(12): 991-996.

Minchin, D., Maguire, C. & Rosell, R. (2003). The zebra mussel (Dreissena polymorpha Pallas) invades Ireland: human mediated vectors and the potential for rapid intranational dispersal. In *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy (Vol. 103, No. 1*, pp. 23-30). Royal Irish Academy. https://doi.org/10.1353/bae.2003.0017

Mouthon, J., Forcellini. M. & Le Goff, G. (2017). Reconnaître Euglesa (Cyclocalyx) compressa Prime, 1852, (Bivalvia, Sphaeriidae), une nouvelle espèce pour la faune de France. *Folia conchyliologica, 38*, 6-p.

Nemec & Kazancı. (1999). Quaternary colluvium in west-central Anatolia: sedimentary facies and palaeoclimatic significance. *Sedimentology*, *46*(1), 139-170. https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1999.00210.x

Neubauer, T. & Wesselingh, F. (2023). The Early Pleistocene freshwater mollusks of the Denizli Basin (Turkey): a new long-lived lake fauna at the crossroads of Pontocaspian and Aegean-Anatolian realms. *Zitteliana*, *97*, 53-88. https://doi.org/10.3897/zitteliana.97.115682

Neubauer, T.A., van de Velde, S., Yanina, T. & Wesselingh, F. P. (2018). A late Pleistocene gastropod fauna from the northern Caspian Sea with implications for Pontocaspian gastropod taxonomy. *ZooKeys*, *770*, 43. https://doi.org/10.3897/zookeys.770.25365

Nordsieck, F. (1982). *Die Europäischen Meeres-Gehäuseschnecken 2. Auflage*. Gustav Fischer, Stuttgart, pp. 539.

Odabaşı, D. A., Glöer, P. & Yıldırım, M. Z. (2015). The Valvata species of Turkey with a description of Valvata kebapcii n. sp. (Mollusca: Valvatidae). *Ecologica Montenegrina*, *2*(2), 135-142. https://doi.org/10.37828/em.2015.2.16

Okay, A. I., Zattin, M., Özcan, E., Sunal, G. (2020). Uplift of Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *29*(5), 696-713. https://doi.org/10.3906/yer-2003-10

Orhan, H., Delikan, A., Demir, A., Kapan, S., Olgun, K., Özmen, A., Sayın, Ü., Ekici, G., Aydın, H., Engin, B. & Tapramaz, R. (2021). Late Quaternary paleoclimatic and paleoenvironmental changes in the Konya Closed Basin (Konya, Turkey) recorded by geochemical proxies from lacustrine sediments. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-14. https://doi.org/10.1007/s12517-021-07030-5

Orlova, M. I. (2002). *Dreissena (D.) polymorpha*: evolutionary origin and biological peculiarities as prerequisites of invasion success. In: *Invasive aquatic species of Europe. Distribution, impacts and management* (pp. 127-134). Dordrecht: Springer Netherlands.

Öktener, A. (2004). A preliminary research on Mollusca species of some freshwaters of Sinop and Bafra.

Gazi University Journal of Science, 17(2), 21-31. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/83210

Özmen, A., Orhan, H., Engin, B., Sayın, Ü., Kapan, S., Delikan, A., Tapramaz, R., Ekici, G., Aydın, H., Demir, A., Işık, M. (2018). *ESR Tekniği ile Konya Havzasındaki Kuvaterner Birimlerin Tarihlendirilmesi ve Jeolojik Değerlendirilmesi* (Rapor no: 114Y237). Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Yerbilimleri Araştırma Grubu Araştırma Projesi Kesin Raporu.

Öztürk, M. O. (2005). Eber Gölü (Afyon)'ndeki sazan (Cyprinus carpio L.)'ların metazoon parazitleri üzerine bir araştırma. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, *29*(3), 204-210.

Özsayın, E., Gürbüz, A., Kuzucuoğlu, C., Erdoğu, B. (2019). Salted landscapes in the Tuz Gölü (Central Anatolia): the end stage of a Tertiary Basin. In Kuzucuoğlu, C., Çiner, A. & Kazancı, N. (Eds.), *Landscapes and landforms of Turkey,* (pp. 339-351). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_16

Pallas, P.S. (1771). *Reise durch verschiedene Provinzen des Rußischen Reichs, Erster Theil*. Kayserliche Academie der Wissenschaften, St. Petersburg, pp. 504. http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN329913735

Reeves, C. C. (Ed.). (1968). *Introduction to Paleolimnology* (Developments in sedimentology; 11). *Elsevier Science Limited*, Amsterdam.

Ring, U. W. E., 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*(4), 421-441. https://doi.org/10.1017/S0016756803007878

Roberts, N. (1983). Age, palaeoenvironments, and climatic significance of Late Pleistocene Konya Lake, Turkey. *Quaternary Research*, *19*, 154-171.

Roberts, N., Karabıyıklıoğlu, M., Jones, M., Mather, A., Jones, G., Rodenberg, I., Eastwood, W.J., Kapan-Yeşilyurt, S., Yiğitbaşıoğlu, H. & Watkinson, M. (2003). Climatic and tectonic controls over late quaternary sedimantation in the Burdur Lake Basin, Southwest Turkey. *3 rd International Limnogeology Congress*, USA.

Schultheiß, R., Albrecht, C., Bößneck, U., Wilke, T. (2009). The neglected side of speciation in ancient lakes: phylogeography of an inconspicuous mollusc taxon in lakes Ohrid and Prespa. In *Patterns and Processes of Speciation in Ancient Lakes: Proceedings of the Fourth Symposium on Speciation in Ancient Lakes* (pp. 141-156), Berlin, Germany, September 4–8, 2006. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/s10750-008-9553-3

Schütt H. (1964). Die Molluskenfauna eines reliktaren Quellsees der südlichen Türkei. *Archiv für Molluskenkunde, 93*, 173-180. Frankfurt a. Main.

Schütt, H. (1990). Die pleistozinen Mollusken dreier pisidischer Salzseen. *Mitteilungen der Deutschen malakozoologischen Gesellschaft, 46*, 15-24.

Schütt, H. (1991). Fossile mollusken dreier anatolischer Ovas. *Archiv für Molluskenkunde, 120,* (4-6), 131-147. https://doi.org/10.1127/arch.moll/120/1991/131

Seyitoğlu, G., Işık, V. & Cemen, I. (2004). Complete Tertiary exhumation history of the Menderes massif, western Turkey: an alternative working hypothesis. *Terra Nova*, *16*(6), 358-364. https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2004.00574.x

Son, M.O. (2007). Native range of the zebra mussel and quagga mussel and new data on their invasions within the Ponto-Caspian Region. *Aquatic Invasions*, *2*(3), 174-184. http://aquaticinvasions.net/2007/AI_2007_2_3_Son.pdf

Sözen, M. & Yiğit, S. (1999). The benthic fauna and some limnological aspects of Lake Akşehir (Konya). *Turkish Journal of Zoology*, *23*(7), 829-848.

Steininger, F. F. & Rögl, F. (1984). Paleogeography and palinspastic reconstruction of the Neogene of the Mediterranean and Paratethys. *Geological Society, London, Special Publications, 17*(1), 659-668. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1984.017.01.52

Stefanescu, S. (1896). Études sur les terrains tertiaires de Roumanie. Contribution à L'étude des Faunes Sarmatique, Pontique et Levantine. *Mem Soc. 15*, 147s., Paris.

Tagliasacchi, E. & Yağmurlu, F. (2019). Acıgöl Grabeni Kuzeyindeki Pliyo-Kuvaterner Yaşlı Karasal Çökellerin Fasiyes Özellikleri ve Bölgenin Paleoortamsal Gelişimi, GB-Türkiye. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *23*(2), 440-451. https://doi.org/10.19113/sdufenbed.462302

Taner, G. (1977). *Gelibolu Yarımadası Neojen Formasyonları ile Bakünıyen Molluska*

Faunasının İncelenmesi [Doçentlik Tezi]. Ankara Üniversitesi.

Taner, G. (1983). Hamzaköy Formasyonu'nun Çavda (Baküniyen) Bivalvleri, Gelibolu Yarımadası. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, *26*(1), 59-64. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/5a61717dddc3501_ek.pdf

Tuncer, A., Karayiğit, A. I., Oskay, R. G., Tunoğlu, C., Kayseri-Özer, M. S., Gümüş, B. A., Bulut, Y. & Akbulut, A. (2023). A multi-proxy record of palaeoenvironmental and palaeoclimatic conditions during Plio-Pleistocene peat accumulation in the eastern flank of the Isparta Angle: A case study from the Şarkikaraağaç coalfield (Isparta, SW Central Anatolia). *International Journal of Coal Geology*, *265*, Article 104149. https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.104149

Umut, M., Karabıyıkoğlu, M., Saraç, G., Bulut, V., Demirci, A.R., Erkan, M., Kurt, Z., Metin, S. ve Özgönül, E. (1987). *Tuzlukçu-Ilgın-Doğanhisar-Doğanbey (Konya ili) ve dolayının jeolojisi* (Rapor no: 8246). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

van de Velde, S., Wesselingh, F. P., Yanina, T. A., Anistratenko, V. V., Neubauer, T. A., ter Poorten, J. J., Vonfolf, H. B. & Kroonenberg, S. B. (2019). Mollusc biodiversity in late Holocene nearshore environments of the Caspian Sea: A baseline for the current biodiversity crisis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *535*, Article 109364. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109364

Vinarski, M. V. & Kantor, YuI. (2016). *Analytical catalogue of fresh and brackish water molluscs of Russia and adjacent countries*. A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Moscow, 544 pp.

Wenz, W. (1938-44). Gasteropoda. In *Handbuch der Palaozoologie, herasgeg. v. Schindewolf, Bd. 6, Teil I*: 1-240. Verl. G. Borntraeger, Berlin.

Wenz, W. (1942). Die Mollusken des Pliozäns der rumänischen Erdöl-Gebiete als Leitversteinerungen für die Aufschluss-Arbeiten. *Senckenbergiana, 24*, 1-293.

Wenz, W. & Zilch, A. (1959-60). Gastropoda, Euthyheura. *Handbuch der Palaozoologie, Band 6, Teil II*, 834 p., Verl. G. Borntraeger, Berlin.

Wesselingh, F. P., Neubauer, T. A., Anistratenko, V. V., Vinarski, M.V., Yanina, T., Ter Poorten, J. J., Kijashko, W., Albrecht, C., Anistratenko, O. Y., D'Hont, A., Frolov, P., Ándara, A. M., Gittenberger, A., Gogaladze, A., Karpinsky, M., Lattuda, M., Popa, L., Sands, A.F., van de Velde, S., Vandendorpe, J. & Wilke, T. (2019). Mollusc species from the Pontocaspian region–an expert opinion list. *ZooKeys*, *827*, 31. https://doi.org/10.3897/zookeys.827.31365

Yıldırım, M. (1999). The Prosobranchia (Gastropoda: Mollusca) species of Turkey and their zoogeographic distribution 1. Fresh and brackish water. *Turkish Journal of Zoology*, *23*(7), 877-900.

Yıldırım, M. Z. (2004). The Gastropods of Lake Eğirdir. *Turkish Journal of Zoology*, *28*(1), 97-102. https://journals.tubitak.gov.tr/cgi/viewcontent.cgi?article=2508&context=zoology

Yıldırım, M. Z. & Kebapçı, Ü. (2009). Endemism of land and freshwater gastropods in the Lakes region (Turkey). Oltenia. *Studii şi comunicări. Ştiinţele Naturii*, 55-59.

Yıldırım, M. Z., Gülle, I., Kebabçı, Ü. & Küçük, F. (2007). Faunal Diversity of Lake Burdur and its Vulnerability. *Natura Montenegrina*, *7*(2), 393-400.

Yıldırım, M.Z., Kebabçı, Ü., Şereflişan, H., Gürlek, M.E., Şereflişan, M. (2023). *Türkiye Yumuşakçaları Tatlısu Çiftçenetlileri (Bivalvia)* 1. Cilt. Yıldırım. M. Z. (Eds.) s. 196. Ankara, İksad.

Yıldız, H. F. (2016). *Burdur Gölü Kuvaterner Tortullarının Paleontolojisi ve Gastropoda-Bivalvia Faunası ile Paleoekolojik Özellikleri (Burdur Güneybatı Türkiye)* [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zhadin, V. I. (1965). Mollusks of Fresh and Brackish Water of The U.S.S.R. Zoological Institute of The Academy Sciences of The Union of Soviet Socialist Republics. *Israel Program for Scientific Translations Jerusalem, 46*, 1-368.

URL 1: WoRMS, (2025, 07 Temmuz). World Register of Marine Species. http://www.marinespecies.org

URL 2: MolluscaBase, (2025, 07 Temmuz). https://www.molluscabase.org/

URL 3: Vikipedi, (2025, 09 Nisan). https://en.wikipedia.org/wiki/Radix_auricularia#cite_note-USGS-17

URL 4: Vikipedi, (2025, 09 Nisan). https://en.wikipedia.org/wiki/Gyraulus_parvus

LEVHA-1

1a-b-c: *Valvata piscinalis* (O. F. Müller, 1774), Yükseklik: 4,1 mm, genişlik: 3,9 mm.

2a-b-c:*Valvata piscinalis* (O. F. Müller, 1774), Yükseklik: 2,7 mm, genişlik: 1,9 mm.

3a-b-c: *Valvata* sp., Yükseklik: 0,9 mm, genişlik: 1,1 mm.

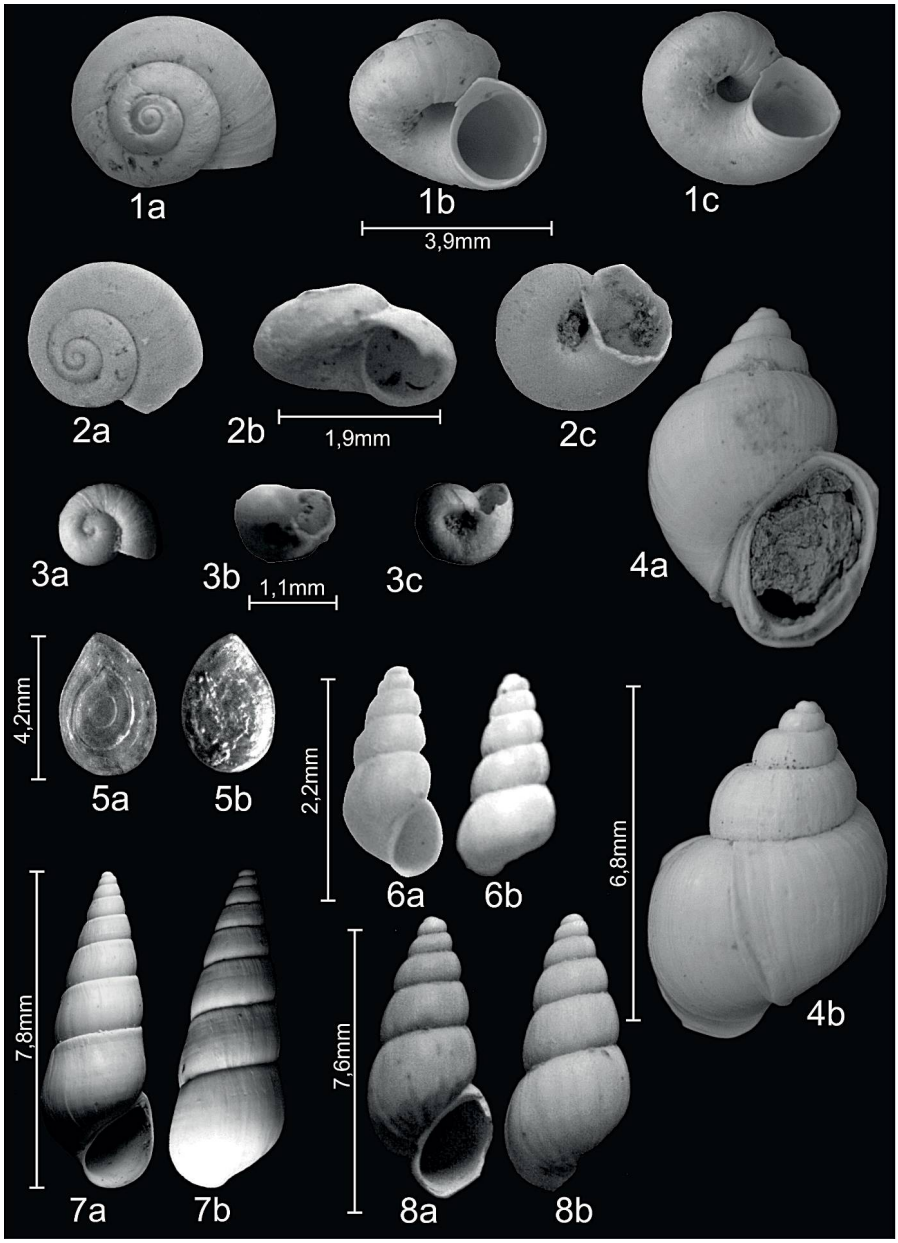
4a-b: *Bithynia pseudemmericia* Schütt, 1964, Yükseklik: 6,8 mm, genişlik: 3,7 mm.

5a-b: *Bithynia pseudemmericia operkül*, Yükseklik: 4,2 mm, genişlik: 2,1 mm.

6a-b: *Graecoanatolica lacustristurca* Radoman, 1973, *Yükseklik*: 2,2 mm, genişlik: 0,5 mm.

7a-b: *Laevicaspia caspia* (Eichwald, 1838), Yükseklik: 7,8 mm, genişlik: 2,9 mm.

8a-b: *Laevicaspia kolesnikoviana* (Logvinenko & Starobogatov, 1966), Yükseklik: 7,6 mm, genişlik: 2,8 mm.



LEVHA-2

1a-b: *Laevicaspia lincta* (Milaschewitsch, 1908), Yükseklik: 7,9 mm, genişlik: 3,2 mm.

2a-b: *Laevicaspia* sp., Yükseklik: 7,5 mm, genişlik: 2,7 mm.

3a-b: *Lymnaea* sp., Yükseklik: 5,8 mm, genişlik: 3,1 mm.

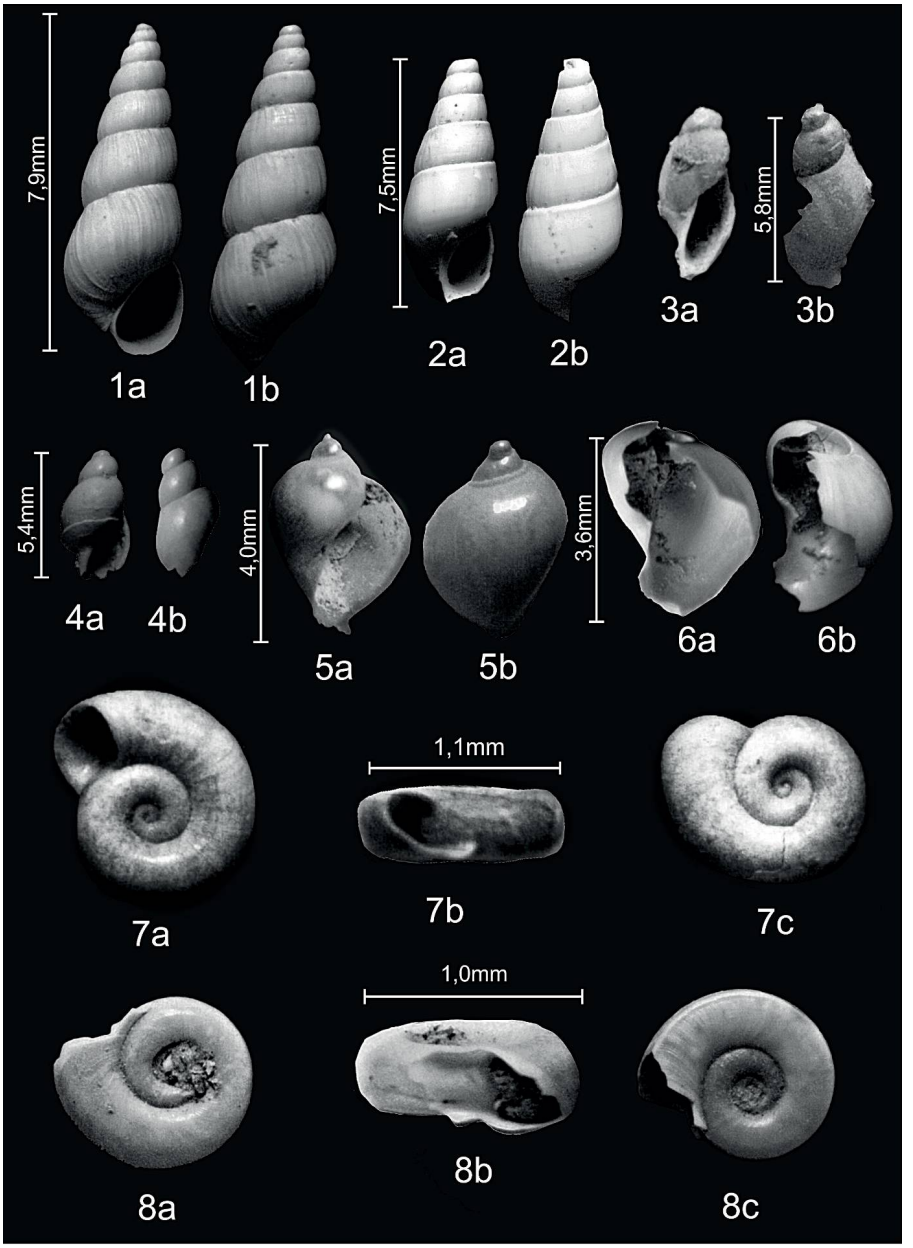
4a-b: *Stagnicola* sp., Yükseklik: 5,4 mm, genişlik: 1,8 mm.

5a-b: *Radix auricularia* (Linnaeus, 1758), Yükseklik:4,0 mm, genişlik: 2,7 mm.

6a-b: *Radix* sp., Yükseklik: 3,6 mm, genişlik: 2,5 mm.

7a-b-c: *Gyraulus parvus* (Say, 1817), Yükseklik: 1,1 mm, genişlik: 4,0 mm.

8a-b-c: *Gyraulus* sp., Yükseklik: 0,6 mm, genişlik: 1,0 mm.



LEVHA-3

1a-b: *Euglesa casertana* (Poli, 1791), Yükseklik: 2,2 mm, genişlik: 2,4 mm.

2a-b: *Euglesa personata* (Malm, 1855), Yükseklik: 1,6 mm, genişlik: 1,8 mm.

3a-b: *Pisidium amnicum* (O. F. Müller, 1774), Yükseklik: 2,8 mm, genişlik: 3,0 mm.

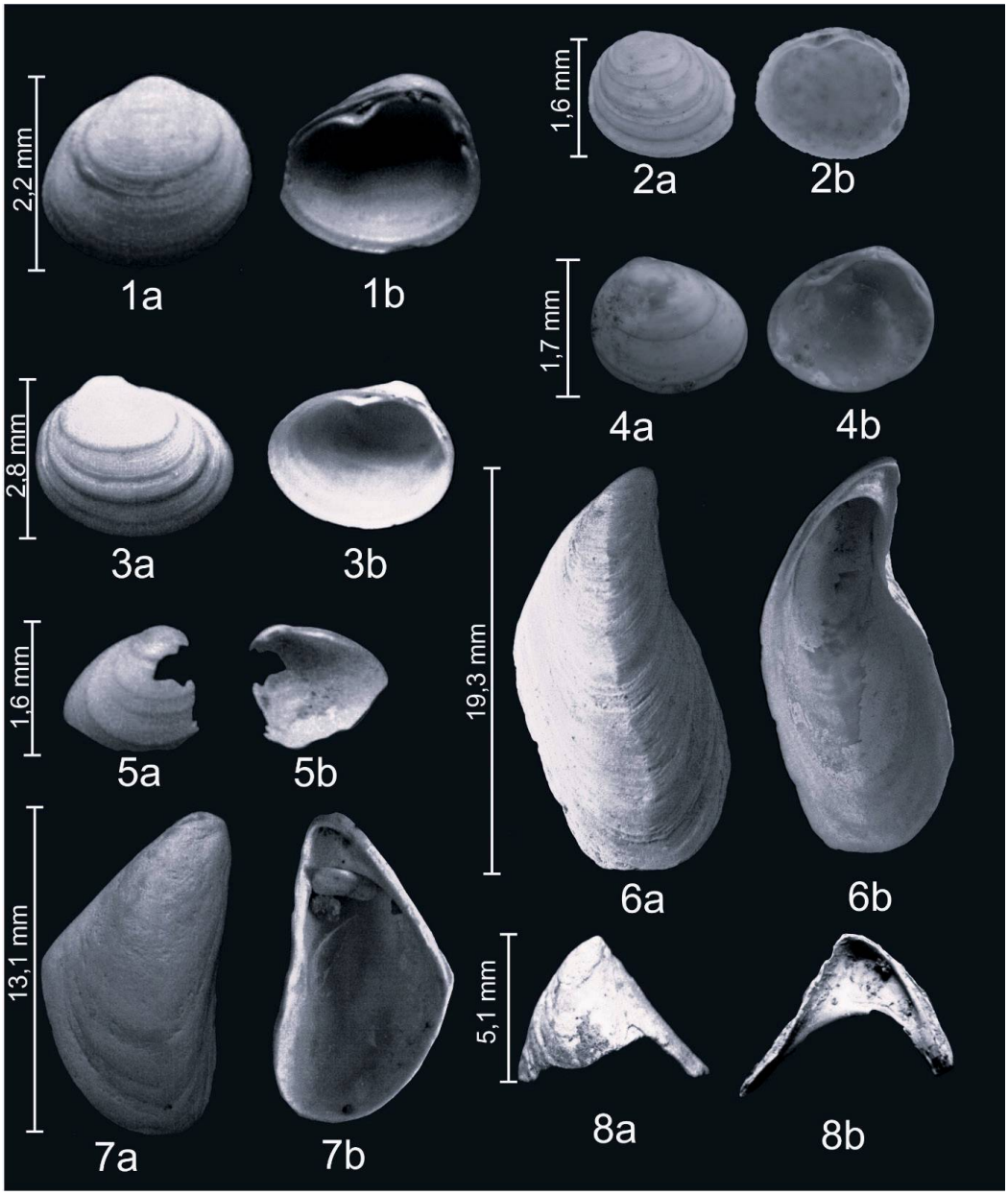
4a-b: *Pisidium jassiensis* Cobălcescu, 1883, Yükseklik: 1,7 mm, genişlik: 1,9 mm.

5a-b: *Pisidium* sp., Yükseklik: 1,6 mm, genişlik: 1,4 mm.

6a-b: *Dreissena iconica* Schütt, 1991, Yükseklik: 19,3 mm, genişlik: 7,0 mm.

7a-b: *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), Yükseklik: 13,1 mm, genişlik: 5 mm.

8a-b: *Dreissena* sp., Yükseklik: 5,1 mm, genişlik: 6 mm.



Türkiye Jeoloji Bülteni
Geological Bulletin of Turkey
69 (2026) 45-72
doi: 10.25288/tjb.1764368

The Biruni Fault of the Anatolian Diagonal: Morphological, Seismological and Seismic Reflection Data and Implications for the Neotectonic Framework of the Eastern Mediterranean

Anadolu Çaprazı'na ait Biruni Fayı: Morfolojik, Sismolojik ve Sismik Yansıma Verileri ile Doğu Akdeniz'in Neotektonik Çerçevesi Üzerindeki Etkileri

Nuray Şahbaz[1,2], Esra Tunçel[3], Bülent Kaypak[4], Gürol Seyitoğlu[2]

[1] *Mediterranean Project, Exploration Department, Turkish Petroleum Corporation, Ankara, Türkiye*
[2] *Department of Geological Engineering, Tectonics Research Group, Ankara University, Ankara, Türkiye*
[3] *Department of Geography, Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik, Türkiye*
[4] *Department of Geophysical Engineering, Ankara University, Ankara, Türkiye*

• Geliş/Received: 17.8.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 19.9.2025 • Kabul/Accepted: 23.09.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 03.11.2025 • Baskı/Printed: 31.01.2026

Research Article/Araştırma Makalesi *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Abstract: The Anatolian Diagonal is a prominent left-lateral shear zone that plays a key role in the neotectonic framework of Türkiye, spanning 170 km between the Central Anatolian and East Anatolian fault zones and extending approximately 850 km from Erzincan to the Cyprus Arc. Its southwestern onshore termination is represented by the Ecemiş-Deliler Fault, while its offshore continuation, the Biruni Fault, trends toward the Cyprus Arc. This study aims to characterise the southwestern end of the Ecemiş-Deliler Fault through geomorphic markers, and to identify the Biruni Fault using key offshore seismic reflection profiles and geological cross-sections provided by Turkish Petroleum. Focal mechanism solutions for offshore seismic events are also examined to assess fault kinematics. Based on onshore observations, a left-lateral offset of 18 km along the Göksu River indicates a long-term slip rate of approximately 2.25 mm/year at the southwestern end of the Ecemiş-Deliler Fault. Offshore, detailed definition and mapping of the Biruni Fault revealed that it comprises a zone of closely spaced, parallel strike-slip segments in its northeastern sector, transitioning into a single linear fault trace that extends south westward toward the Aegean Arc. Despite its clear morphological expression, the southwest end of Ecemiş-Deliler fault and the Biruni Fault of the Anatolian Diagonal have low seismic activity, likely because most regional deformation is accommodated further west along the Antalya-Kekova Fault Zone and the Ptolemy–Pliny–Strabo Fault Zone. The restraining stepovers of the Antalya Thrust and Fethiye Thrust between these structures provide new insight into a slip partitioning in the eastern Mediterranean.

Keywords: Anatolian Diagonal, Biruni Fault, Eastern Mediterranean, Ecemiş-Deliler Fault Zone, morphotectonics, neotectonics

Öz: *Anadolu Çaprazı, Türkiye'nin neotektonik yapısında önemli bir rol oynayan, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu fay zonları arasında 170 km ve Erzincan'dan Kıbrıs Yayına kadar yaklaşık 850 km uzanan belirgin bir sol yanal makaslama zonudur. Güneybatıda karadaki ucu Ecemiş-Deliler Fayı ile temsil edilirken, açık denizdeki devamı olan Biruni Fayı, Kıbrıs Yayına doğru yönelmektedir. Bu çalışma, Ecemiş-Deliler Fayı'nın güneybatı ucunu jeomorfolojik belirteçler aracılığıyla karakterize etmeyi ve Türkiye Petrolleri tarafından sağlanan önemli açık deniz sismik yansıma profilleri ve jeolojik kesitler kullanarak Biruni Fayı'nı tanımlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, fay kinematiğini değerlendirmek için açık deniz sismik olaylarının odak mekanizması çözümleri de incelenmiştir. Kara*

* Correspondence / *Yazışma:* nsahbaz@tpao.gov.tr

http://tjb.jmo.org.tr
http://dergipark.gov.tr/tjb

gözlemlerine göre, Göksu Nehri boyunca 18 km'lik sol yanal ötelenme, Ecemiş-Deliler Fayı'nın güneybatı ucunda yılda yaklaşık 2,25 mm'lik uzun vadeli bir kayma hızına işaret etmektedir. Açık denizde, Biruni Fayı'nın ayrıntılı bir şekilde tanımlanması ve haritalaması ile fayın kuzeydoğu kesiminde birbirine yakın, paralel doğrultu atımlı segmentlerden oluşan bir zondan oluştuğunu ve güneybatıya, Ege Yayına doğru uzanan tek bir doğrusal fay izine dönüştüğünü ortaya koymuştur. Açık morfolojik ifadesine rağmen, Anadolu Çaprazı'ndaki Ecemiş-Deliler Fayı'nın güneybatı ucu ile Biruni Fayı düşük sismik aktivite göstermektedir. Bunun nedeni, bölgesel deformasyonun çoğunun daha batıdaki Antalya-Kekova Fay Zonu ve Ptolemy-Plinius-Strabo Fay Zonu boyunca karşılanması olabilir. Bu yapılar arasında gelişen Antalya Bindirmesi ve Fethiye Bindirmesi, Doğu Akdeniz'deki kayma bölümlenmesine yeni bir bakış açısı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Anadolu Çaprazı, Biruni Fayı, Doğu Akdeniz, Ecemiş-Deliler Fay Zonu, morfotektonik, neotektonik.*

INTRODUCTION

When explaining the fundamental principles of the neotectonics of Türkiye, it was stated that the main role in the westward escape of the Anatolian Plate was undertaken by the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) and the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) (Şengör, 1980; Şengör et al., 1985) (Figure 1). The Ecemiş Fault was recognised as an important fault line within the Anatolian Plate and shown on neotectonic maps (Şengör et al., 1985; Şaroğlu et al., 1992), though activity in the pre-neotectonic period was also documented (Yetiş, 1978; Jaffey and Robertson, 2001). Later studies defined the Ecemiş Fault as part of a regionwide structure, the Central Anatolian Fault Zone (Koçyiğit and Beyhan, 1998). In the evaluation of the Central Anatolian Fault Zone (Koçyiğit and Beyhan, 1998; Dirik, 2001; İnan and Ekingen, 2007), an important inadequacy is the lack of a clear relationship with the Cyprus Arc, probably due to limited earlier studies dealing with the structures between Anatolia and Cyprus (Anastasakis and Kelling, 1991; Evans et al., 1978). Therefore, the relationship between the Central Anatolian Fault Zone and the Cyprus Arc remains an unsolved problem.

With an increase in offshore seismic reflection studies, the left-lateral strike-slip Kozan Fault was identified and evaluated as a splay detaching from the EAFZ (Aksu et al., 2014a, b). Based on the identification of normal faults with different directions on seismic reflection sections within the Kozan Fault zone and not being able to explain their directions within the left-lateral system, Aksu et al. (2014b) interpreted some of the normal faults as gravity structures. Moreover, the migration of the Göksu Delta to the southwest over time was explained by the existence of the Kozan Fault zone, and the slip on the fault was stated to be between 6-10 mm/yr (Aksu et al., 2014b).

In a recent paper, Aksu et al. (2022) suggested that right- and left-lateral strike-slip faults come together between the Anamur (Anatolia) - Koruçam / Kormakiti (Cyprus) capes and form the Anamur-Kormakiti (Koruçam) zone. This generally displays as positive flower structures, and the authors concluded that connecting the Central Anatolian Fault Zone to the Cyprus Arc, as implied in previous studies, is impossible.

However, Seyitoğlu et al. (2022a) redefined the Central Anatolian Fault Zone as the northwest margin of the Anatolian Diagonal, a broad left-lateral shear zone (Figure 1). In this redefinition, the Central Anatolian Fault Zone is separated from the NAFZ by the Karaca and Kemah-İliç Faults. They created a restraining bend, the Divriği Thrust, with the Ecemiş-Deliler Fault. The offshore continuation of the Ecemiş-Deliler Fault (EDF), the Biruni Fault, extends to the Cyprus Arc, as recognised by re-evaluating seismic reflection data mainly published by Mansfield (2005) (Figure 1). Global Navigation Satellite Systems (GNSS) based block modelling reveals left-lateral slip rates ranging from 11.7 to 4.2 mm/yr along the Biruni Fault (Seyitoğlu et al., 2022b).

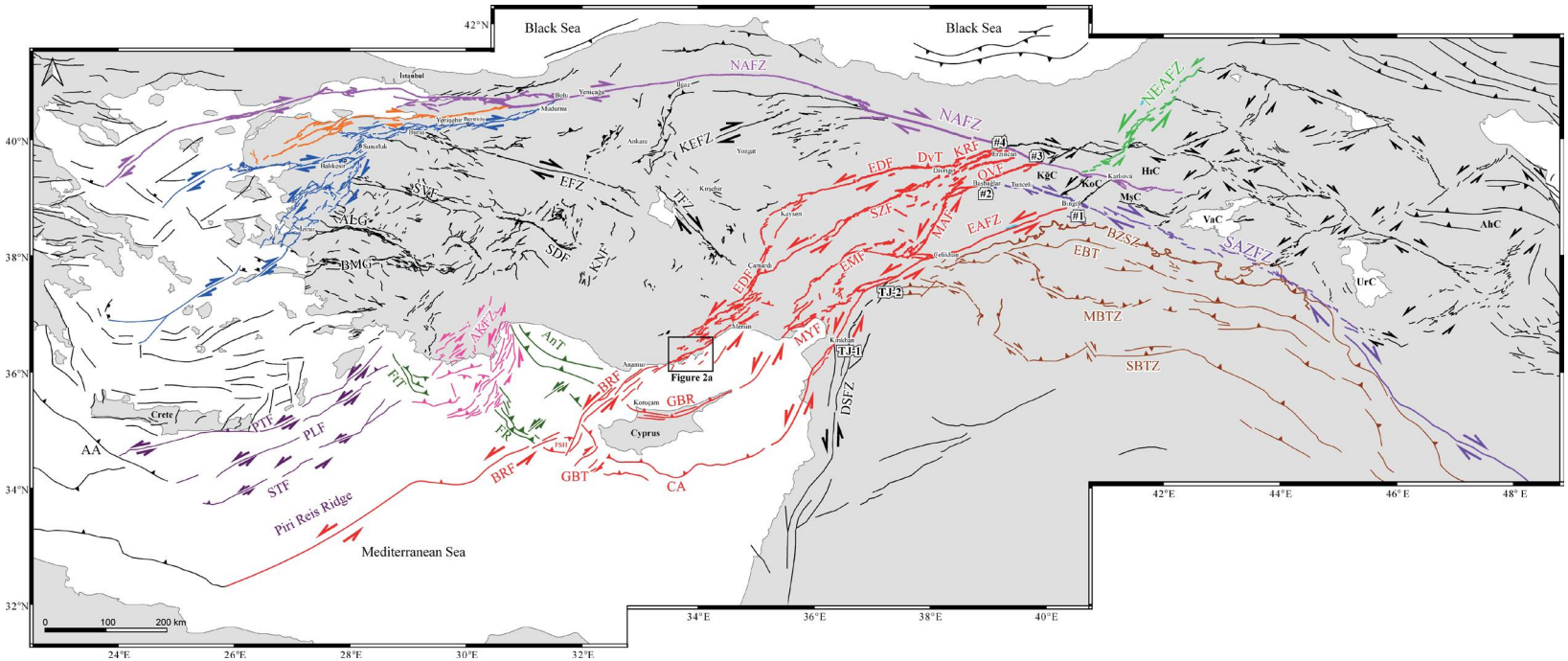


Figure 1. Active fault map of the eastern Mediterranean. Brown lines belong to Southeast Anatolian Wedge structures (Seyitoğlu et al. 2017). BZSZ: Bitlis-Zagros Suture Zone; EBT: Ergani-Silvan Blind Thrust; MBTZ: Mardin Blind Thrust Zone; SBTZ: Sincar-Kerkük Blind Thrust Zone; DSFZ: Dead Sea Fault Zone. Black lines in the Turkish Iranian Plateau represent mainly rhomboidal cell margins (Seyitoğlu et al. 2018). Rhomboidal cells: KğC: Kığı, KoC: Karlıova, MşC: Muş, HıC: Hınıs, VaC: Van, UrC: Urmiye, and AhC: Ahar. For regionwide shear zones, purple lines represent SAZFZ: Southeast Anatolian Zagros Fault Zone; green lines indicate NEAFZ: Northeast Anatolian Fault Zone, fuchsia lines show main branch of NAFZ: North Anatolian Fault Zone. Orange lines indicate middle branch of North Anatolian Fault. Blue lines are the southern branch of North Anatolian Fault Zone (Seyitoğlu et al. 2022c). Red lines show the Anatolian Diagonal Shear Zone (Seyitoğlu et al. 2022a and this paper). EAFZ: East Anatolian Fault Zone; KRF: Karaca Fault; EDF: Ecemiş-Deliler Fault; DvT: Divriği Thrust; OVF: Ovacık Fault; SZF: Sarız Fault; MAF: Malatya Fault; EMF: Elbistan-Misis Fault; MYF: Maraş-Yumurtalık Fault; BRF: Biruni Fault; FSH: Fuat Sezgin High; GBT: Gazi Baf Transform; GBR: Girne-Beşparmak Range; CA: Cyprus Arc. Fault lines on Northern Cyprus are from Elmacı et al. (2025). All other fault lines are modified after Barrier et al. (2004), Emre et al. (2013), and Seyitoğlu et al. (2017; 2018; 2022a, b). KEFZ: Kırıkkale-Erbaa Fault Zone; TFZ: Tuzgölü Fault Zone; EFZ: Eskişehir Fault Zone; SDF: Sultandağı Fault; KNF: Konya Fault; SVF: Simav Fault; SDF: Sultandağı Fault; KNF: Konya Fault; ALG; Alaşehir Graben; BMG: Büyük Menderes Graben; AnT: Antalya Thrust; FR: Florence Rise; AKFZ: Antalya-Kekova Fault Zone; FtT: Fethiye Thrust; PTF: Ptolemy Fault; PLF: Pliny Fault; STF: Strabo Fault. AA: Aegean Arc.

Şekil 1. *Doğu Akdeniz'e ait aktif fay haritası. Kahverengi çizgiler Güneydoğu Anadolu Kama yapılarına aittir (Seyitoğlu vd. 2017). BZSZ: Bitlis-Zagros Kenet Zonu; EBT: Ergani-Silvan Kör Bindirmesi; MBTZ: Mardin Kör Bindirme Zonu; SBTZ: Sincar-Kerkük Kör Bindirme Zonu; DSFZ: Ölüdeniz*

Fay Zonu. Türk-İran Platosu'ndaki siyah çizgiler ağırlıklı olarak romboidal hücre kenarlarını temsil eder (Seyitoğlu vd. 2018). KğC: Kığı, KoC: Karlıova, MşC: Muş, HıC: Hınıs, VaC: Van, UrC: Urmiye, AhC: Ahar romboidal hücreleri. Bölge genelindeki makaslama zonları, mor çizgiler SAZFZ'yi temsil eder: Güneydoğu Anadolu Zagros Fay Zonu; Yeşil çizgiler NEAFZ Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu, fuşya renkli çizgiler ise NAFZ Kuzey Anadolu Fay Zonu, ana kolunu göstermektedir. Turuncu çizgiler Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun orta kolunu göstermektedir. Mavi çizgiler Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney kolunu göstermektedir (Seyitoğlu vd. 2022c). Kırmızı çizgiler Anadolu Çaprazı Makaslama Zonu'nu göstermektedir (Seyitoğlu vd. 2022a ve bu makale). EAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu; KRF: Karaca Fayı; EDF: Ecemiş-Deliler Fayı; DvT: Divriği Bindirmesi; OVF: Ovacık Fayı; SZF: Sarız Fayı; MAF: Malatya Fayı; EMF: Elbistan-Misis Fayı; MYF: Maraş-Yumurtalık Fayı; BRF: Biruni Fayı; FSH: Fuat Sezgin Yükselimi; GBT: Gazibaf Transform Fayı; GBR: Girne-Beşparmak Sıradağları; CA: Kıbrıs Yayı. Kuzey Kıbrıs'taki fay hatları Elmacı vd. (2025)'den alınmıştır. Diğer tüm fay hatları Barrier vd. (2004), Emre vd. (2013), Seyitoğlu vd. (2017; 2018; 2022a, b)'den sonra değiştirilmiştir. KEFZ: Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu; TFZ: Tuzgölü Fay Zonu; EFZ: Eskişehir Fay Zonu; SDF: Sultandağı Fayı; KNF: Konya Fayı; SVF: Simav Fayı; KNF: Konya Fayı; ALG; Alaşehir Grabeni; BMG: Büyük Menderes Grabeni; AnT: Antalya Bindirmesi; FR: Florence Yükselimi; AKFZ: Antalya-Kekova Fay Zonu; FtT: Fethiye Bindirmesi; PTF: Ptolemy Fayı; PLF: Pliny Fayı; STF: Strabo Fayı. AA: Ege Yayı

In this paper, we examine morphotectonic features from the southwest end of the Ecemiş-Deliler Fault onshore and provide segment distribution for the Biruni Fault by using offshore seismic reflection sections from Turkish Petroleum (TPAO). In addition, focal mechanism solutions for seismic events attributed to Biruni Fault will be presented. A detailed description of the Biruni Fault will clarify the connection of the northwest margin of the active Anatolian Diagonal to the Cyprus Arc and we will discuss its implications for the neotectonic framework of the Eastern Mediterranean.

MORPHOTECTONICS OF THE SOUTHWESTERN END OF THE ECEMİŞ-DELİLER FAULT

The earliest studies recognised the position of the EDF in the Anatolian Diagonal (Seyitoğlu et al., 2022a). It was named as the Ecemiş Corridor (Blumental, 1941; 1952), the Tekir Dislocation (Metz, 1956), the Ecemiş Fault (Ketin, 1960), the Ecemiş Transcurrent Fault (Pavoni, 1961), the Pozantı- Kayseri Fault (Scott, 1981) and the Ecemiş Fault Zone (Yetiş, 1978; Dirik and Göncüoğlu, 1996).

The Ecemiş Fault and the Deliler Fault were defined as two separate faults to the south and northeast of Kayseri (Emre et al., 2013). The term Central Anatolian Fault Zone was introduced by Koçyiğit and Beyhan (1998), without clear relationship to the NAFZ and the Cyprus Arc. Darin and Umhoefer (2019) clearly defined the northeast end of the EDF while Akyüz et al. (2012) provided palaeoseismological data from trenches near Alaca. A detailed examination of the structural features in the original location of the Ecemiş Fault was presented by Jaffey and Robertson (2001). Around Kayseri, the morphotectonic, kinematic and geochronological evidence for Quaternary activity on the EDF were presented by Higgins et al. (2015), Sarıkaya et al. (2015a, b) and Yıldırım et al. (2016), while the paleomagnetic characteristics of the EDF were also studied (Tatar et al., 2000).

The southwestern end of the EDF is studied relatively less well. İnan and Ekingen (2007) presented structural and morphological evidence for the Namrun Fault. The geological map of southwestern Silifke indicates several semi-parallel, northeast-southwest trending faults (Alan et al., 2014). Although some of them limit Quaternary slope deposits, none of them were described as an active fault.

The block model for the region indicates that the left-lateral slip rate along the southwestern

sector of the EDF ranges from 7.5±1.1 mm/yr in the northeast to 2.8±1.5 at its southwestern end. In its offshore continuation, the slip rate increases south-westward from 4.2 ± 1.8 to 11.7 ± 0.9 mm/yr (Seyitoğlu et al., 2022b). The geomorphic expression of the southwestern EDF is more distinct as a linear trend compared to the northeastern sector. In the southwestern sector, the fault is a wide shear zone up to 20 km, consisting of northeast-southwest trending en-echelon left-lateral faults running parallel to the coastline (Figure 2). At the southwestern end, the shear zone consists of 1.5 km, 2 km and 7 km long segments (EDF-1a to EDF-1c) arranged in a left-stepping pattern. These faults are expressed as linear valleys oriented with northeast-southwest direction. Along EDF-1c, a shear zone in the Palaeozoic bedrock was associated with the EDF together with left-lateral displacement of 1240 m and 60 m along a Quaternary stream (Seyitoğlu et al., 2022a) (Figure 2). Further to the northeast, EDF-1c exhibits a left-lateral arrangement with EDF-1d and its northeastern continuation, EDF-1e. In the northern block of EDF-1e, the northeast-southwest trending Hırmanlı Dere valley is observed, which hosts the village of Hırmanlı (Figure 2). To the south, a distinct Quaternary alluvial fan deposit extends in front of this valley, while the stream bends 1 km to the southwest along the fault, reaching the step-over associated with EDF-1d. In addition, a well-defined saddle is present along EDF-1e near the fan apex. Moreover, a left-lateral offset of 543 m was observed in a river in the northeast sector of the alluvial fan (Seyitoğlu et al., 2022a) (Figure 2).

Further to the northeast, the 5 km-long EDF-2 segment has a right-lateral arrangement with EDF-1e. These segments form the northwestern margin of a northeast-southwest trending trough, filled with Quaternary deposits, and defines the northwestern part of the shear zone. The southeastern margin of the trough is bounded by EDF-5a and EDF-6. The southwest-dipping depression is drained by a river that flows close to EDF-5a. An elongate ridge was observed between EDF-5a and EDF-6 and is interpreted as a shutter ridge together with the 640 m left-lateral shift along a river (Seyitoğlu et al., 2022a) (Figure 2). The northeastern continuation of EDF-5a is also defined by a trough, which is marked by EDF-5b segment. This linear depression is drained by the Akdere stream, which has a north northwest-south southeast trend upstream and at a bend along the fault, flows towards the northeast for about 3 km (Seyitoğlu et al., 2022a). The southeastern margin of the shear zone is further defined by the 1 km-long EDF-5c and the 4.5 km-long EDF-5d. In the northwestern sector, the shear zone, defined by EDF-1e and EDF-2 to the southwest, is delineated by EDF-3 and EDF-4 to the northeast. These faults exhibit a right-lateral pattern, and their interaction results in widening of the shear zone. The 10 km-long EDF-3 fault marks the boundary between bedrock and Quaternary talus deposits, and 345 m left-lateral displacement was measured in the upstream section of the Akdere stream (Seyitoğlu et al., 2022a). The 18 km-long EDF-4 segment is characterised by a linear trace in the bedrock, which affects the Quaternary river pattern (Seyitoğlu et al., 2022a) (Figure 2).

Further to the northeast, the shear zone widens up to 16 km and is defined by EDF-4c and EDF-4b in the northwestern sector, EDF-4a in the central part, and EDF-5e in the southeastern sector. These fault segments are significant as they laterally shift the Göksu River, which is one of the longest rivers in the Taurus Mountains with 260 km length (Figure 2). The river has two main tributaries including, (1) the east-west-oriented Ermenek River and (2) the northwest-southeast-oriented Göksu River. These tributaries merge southwest of Mut to form the main course of the Göksu River, which follows a predominantly northwest-southeast orientation except where it deviates along fault-driven bends.

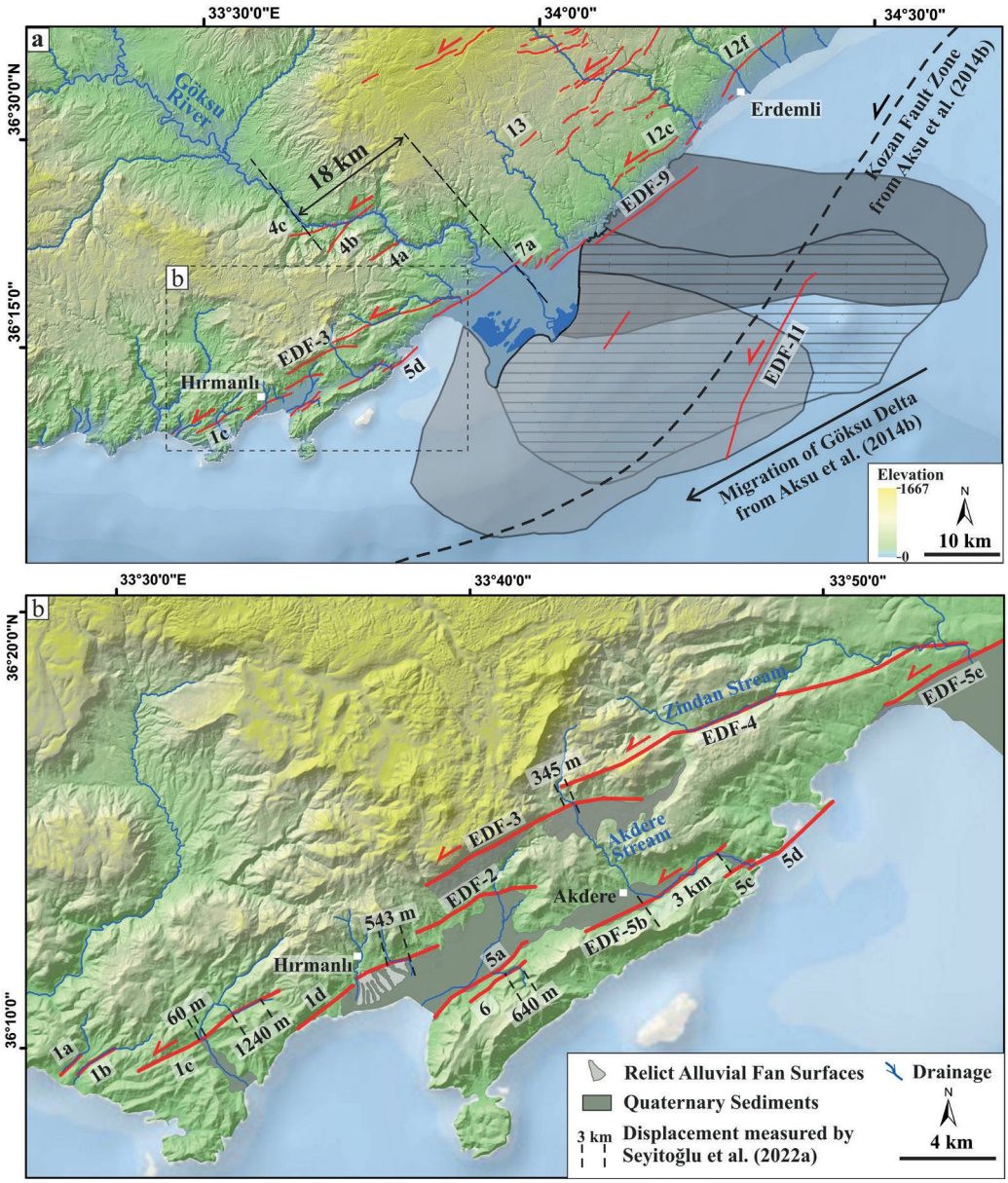


Figure 2. a) The southwestern extension of the Ecemiş–Deliler Fault, showing fault segments adapted from Seyitoğlu et al. (2022a). The 18 km sinistral offset of the Göksu River is measured along the shear zone associated with the EDF. The southward migration of the Göksu Delta lobes and the location of Kozan Fault are shown after Aksu et al. (2014b), indicating that the shifting of the Göksu Delta is better explained by Ecemiş-Deliler fault segments running parallel to the coast rather than the Kozan Fault. **b)** Quaternary geomorphic features around the southwestern termination of the EDF, including the left-lateral offsets measured by Seyitoğlu et al. (2022a).

Şekil 2. a) *Ecemiş–Deliler Fayı'nın güneybatı uzanımı; fay segmentleri Seyitoğlu vd. (2022a)'den uyarlanmıştır. Göksu Nehri'nin 18 km'lik sol yanal ötelenmesi, EDF ile ilişkili makaslama zonu boyunca ölçülmüştür. Göksu Deltası loblarının güneye doğru göçü ve Kozan Fayının konumu Aksu vd. (2014b)'ten uyarlanmıştır. Göksu delta loblarının yer değiştirmesi Kozan Fayından ziyade kıyıya paralel uzanan Ecemiş-Deliler fay segmentleri tarafından daha iyi açıklanmaktadır.* ***b)*** *EDF'nin güneybatı ucundaki Kuvaterner döneme ait jeomorfolojik yapılar; Seyitoğlu vd. (2022a) tarafından ölçülen sol yanal ötelenmeleri içermektedir.*

Along its course, the river has incised into Palaeozoic and Mesozoic basement units, which are unconformably overlain by Miocene marls and carbonates deposited in marine environments (Alan et al., 2014). The youngest marine sediments overlying the surface in the upper course of the river are dated to ca. 8 Ma (Cosentino et al., 2012). The uplift of the region has resulted in a highly incised antecedent valley, especially downstream of the river (Cosentino et al., 2012; Schildgen et al., 2012; Kuzucuoğlu et al., 2019). Left-lateral displacements along the river were measured along the EDF segments by Seyitoğlu et al. (2022a; Appendix A). Specifically, displacements of 385 m were reported along EDF-4a, 1450 m along EDF-4b and 1760 m along EDF-5e. While these measurements indicate displacement along these segments, a comprehensive assessment of lateral shift along the entire shear zone is necessary for more accurate measurement along the river course (e.g., Şengör, 2017). According to this, 18 km lateral displacement is measured between the northwest-southeast oriented river path across the shear-zone. To calculate the long-term slip rate, the age of the youngest marine deposits in the upper course of the river has been used. This provides a regional upper limit for surface emergence, and was adopted here as the maximum possible age constraint since the actual establishment of the drainage system must have postdated the transition to terrestrial conditions. According to this assumption, a minimum long-term slip rate of 2.25 mm/yr has been calculated for the EDF shear zone.

At the mouth of the Göksu River, the Göksu Delta formed, which is bounded by EDF-5e and its northeastern continuation EDF-8. Between these segments, the EDF-7 a-c segments were also identified with left-stepping arrangement on the bedrock. Slickenlines observed along EDF-5e on Mesozoic limestone indicate strike-slip motion (Seyitoğlu et al., 2022a; Appendix A). Similarly, in a cataclastic zone in the Miocene limestone unit, slickenlines and a flower structure provide evidence of deformation along EDF-7a (Seyitoğlu et al., 2022a; Appendix A). According to Aksu et al. (2014a, b), the delta lobes of the Göksu River migrated towards the southwest (Figure 2a). This deformation was identified from seismic reflection profiles and is dated to Pliocene-Quaternary based on stratigraphic units corelated with well data and tentatively linked to exposed units on land. In their interpretation, the lateral migration of the delta exceeds 20 km, and this migration is associated with the Kozan Fault zone. However, this fault is located parallel to the coast at a considerable distance, and its proposed position must have caused truncation at the southwestern edge of the delta, interpreted as being offset (Figure 2a). In contrast, the results of the present study suggest an alternative explanation: the migration of the delta lobe can be temporally and spatially correlated with the lateral shift of the Göksu River, which is associated with activity on the EDF. Based on the delta lobe migration inferred by Aksu et al. (2014a, b), the implied slip rate for the EDF would be ~3.8 mm/yr during the Pliocene-Quaternary time interval. The contrast with the minimum long-term slip rate of 2.25 mm/yr (since 8 Ma) indicates that slip along the fault was likely non-uniform, with alternating phases of acceleration and deceleration over geological timescales. The pronounced Quaternary morphology observed along the EDF in this study is likely associated with this higher slip rate.

THE BIRUNI FAULT

The offshore continuation of the EDF was previously only estimated based on bathymetry between Anatolia and west of Cyprus and shown with a question mark (Koçyiğit and Beyhan, 1998). More comprehensive offshore data were provided by Aksu et al. (2005; 2014a, b).

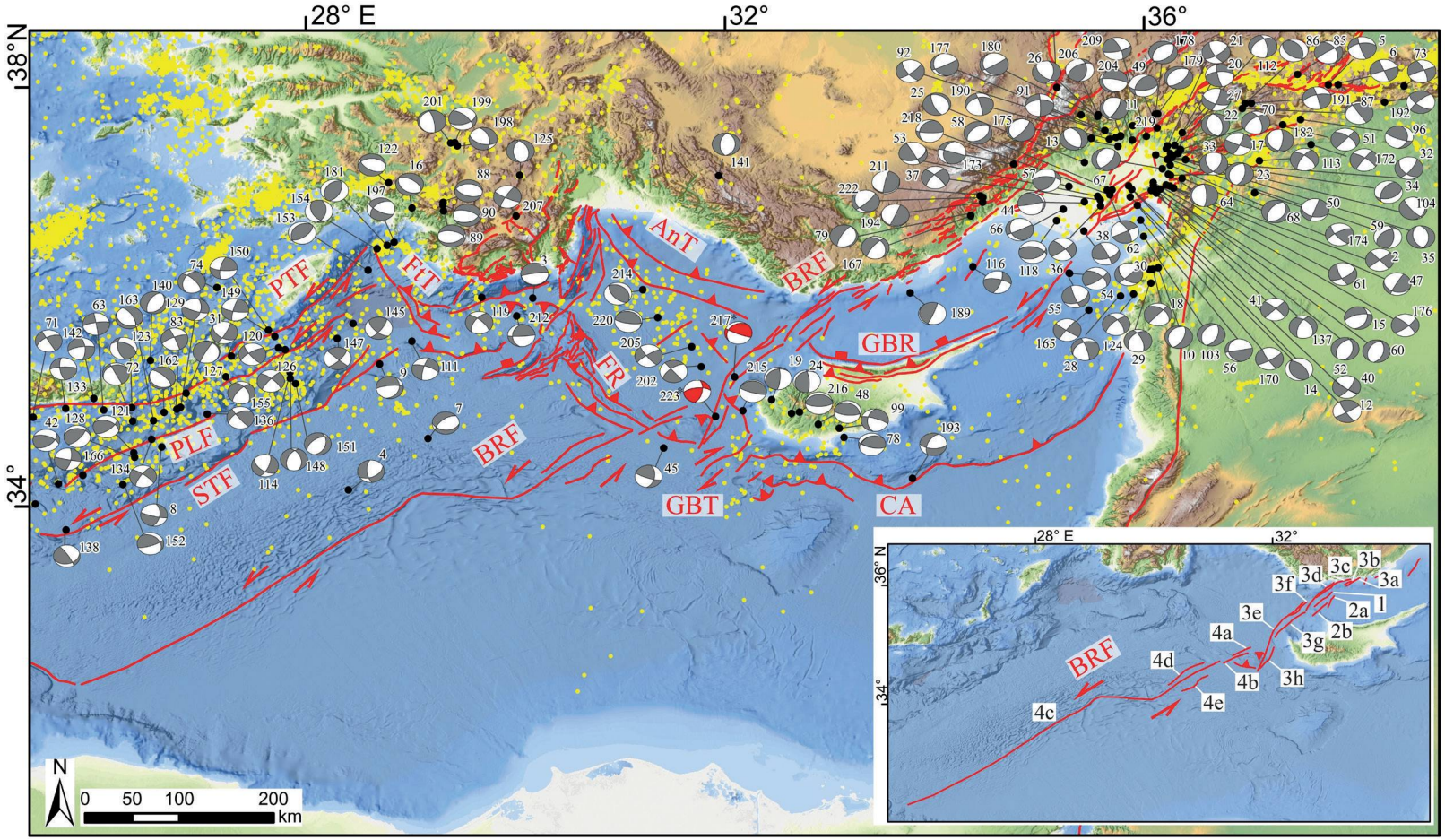


Figure 3. Active fault map of the eastern Mediterranean. Seismicity in the region is shown with yellow dots, representing earthquake epicentres with magnitudes ≥3.5 and depths <30 km obtained from the Republic of Turkey Ministry of Disaster and Emergency Management Authority (AFAD). The numbering of the focal mechanism solutions for earthquakes up to event number 214 is adapted from Seyitoğlu et al. (2022a). For events numbered 215 and above, please refer to Table 1 for the new solutions presented in this study. The inset map shows the segment distribution of the Biruni Fault.

Şekil 3. *Doğu Akdeniz'in aktif fay haritası. Bölgedeki sismik aktivite, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine dayalı olarak, büyüklüğü ≥3.5 ve odak derinliği <30 km olan depremlerin dışmerkezlerini temsil eden sarı noktalarla gösterilmiştir. 214 numaralı olaya kadar olan deprem odak mekanizması çözümlerinin numaralandırması Seyitoğlu vd. (2022a) çalışmasından uyarlanmıştır. Bu çalışmada sunulan yeni çözümler için 215 ve üzeri numaralı olaylara ilişkin veriler Çizelge 1'de sunulmuştur. Köşedeki haritada Biruni Fayı'nın segment dağılımı gösterilmektedir.*

The Kozan Fault zone, which runs parallel to the western coast of the Mersin Gulf, is proposed to be an equivalent of the offshore Ecemiş fault complex of Özel et al. (2007). The delta lobe shifting of the Göksu River (Aksu et al., 2014a, b) was attributed to the Kozan Fault zone, although it is located away from the western margin of Mersin Gulf.

The Biruni Fault is identified as an offshore continuation of the left-lateral strike-slip EDF of the Anatolian Diagonal by re-interpreting seismic reflection sections from Mansfield (2005) and Aksu et al. (2005; 2014a, b). However, the data from seismic sections were not published due to the lack of copyright permission (Seyitoğlu et al., 2022a).

In this section, we present our interpreted seismic sections obtained from TPAO and produce a map of the fault segments with precise/reliable coordinate system (Figure 3)

The position of the offshore Biruni Fault can be seen in seismic reflection line CrS-1 where a positive flower structure is observed between segments BRF-3d and BRF-3c at the northwestern end (Figure 4). A prominent morphological trough on the sea floor corresponds to segment BRF-1. Segment BRF-2a also presents as a typical flower structure (Figure 4). The northern margin of the Girne-Beşparmak Range (GBR) is interpreted as a normal fault, following Calon et al. (2005) (Figures 3 & 4).

Further to the southwest, the nearly north-south trending Line 08 crosscuts the BRF-3f, BRF-3e and BRF-3g segments, which create a prominent morphological trough on the sea floor due to their negative flower structure (Figure 5).

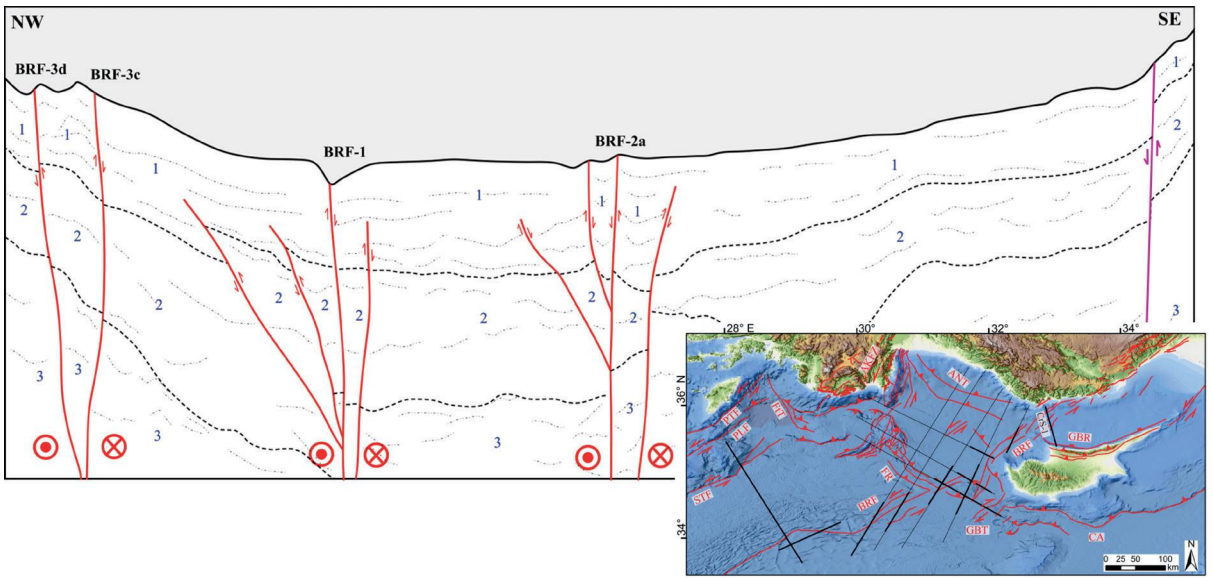


Figure 4. Geological cross section based on seismic reflection profile from Turkish Petroleum (CrS-1). 1: Pliocene-Quaternary clastic deposits, 2: Messinian evaporites, 3: Pre-Messinian deposits.

Şekil 4. *Türkiye Petrolleri'ne ait CrS-1 sismik yansıma profiline dayalı jeolojik kesit. 1: Pliyosen–Kuvaterner kırıntılı tortullar, 2: Messiniyen evaporitleri, 3: Messiniyen öncesi çökeller.*

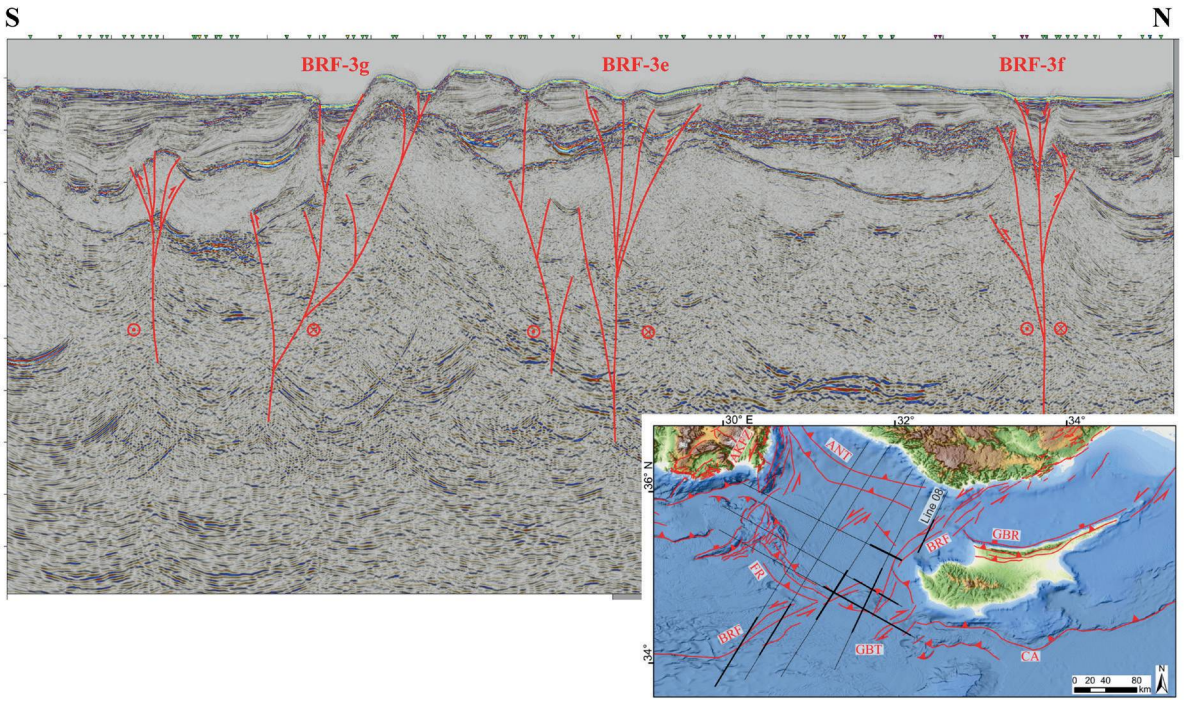


Figure 5. Seismic reflection section Line 08.

Şekil 5. *Hat 08 sismik yansıma kesiti.*

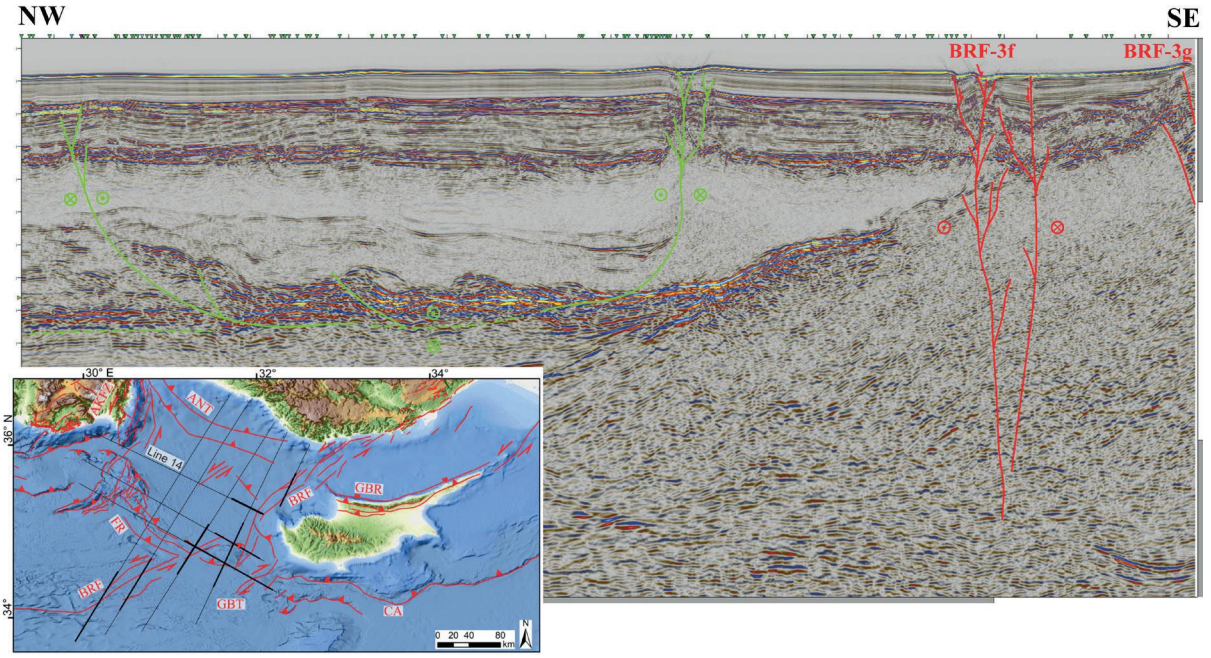


Figure 6. Seismic reflection section Line 14.

Şekil 6. *Hat 14 sismik yansıma kesiti.*

Line 14 shows the southwestern continuation of segment BRF-3f, which is clearly recognised by the deformation of the uppermost seismic layers. Traces of segment BRF-3g are seen at the southeastern margin of the seismic section. The deformations of the seismic layers to the northwest are attributed to the edges of thrust sheets, because they cannot be traced as a deeper structure. These are represented by green lines in Figure 6.

Segment BRF-3f and semi-parallel segment BRF-3h can be distinguished on the southeastern margin of Line 15. On its northwestern margin, segment BRF-4a is easily differentiated after Woodside et al. (2002; Fig. 7) (Figure 7). The semi-parallel BRF-4b and the southernmost tip of BRF-3f are also seen on Line 16 (Figures 7 & 8). Line 15 and Line 16 indicate that the Biruni fault segments create a restraining stepover where a pressure ridge called the Fuat Sezgin High (FSH) developed. The segments of the Biruni Fault limiting the FSH (i.e., BRF-3f and BRF-4a, BRF-4b) show transpressive character, and the thrusts creating the FSH are marked as green lines in Figures 7 and 8. The thrust-related structure of FSH is more clearly observed along the northeast-southwest trending Line 07 (Figure 9). This structure was interpreted differently as the Florence Rise (Güneş et al., 2018; see their Line D).

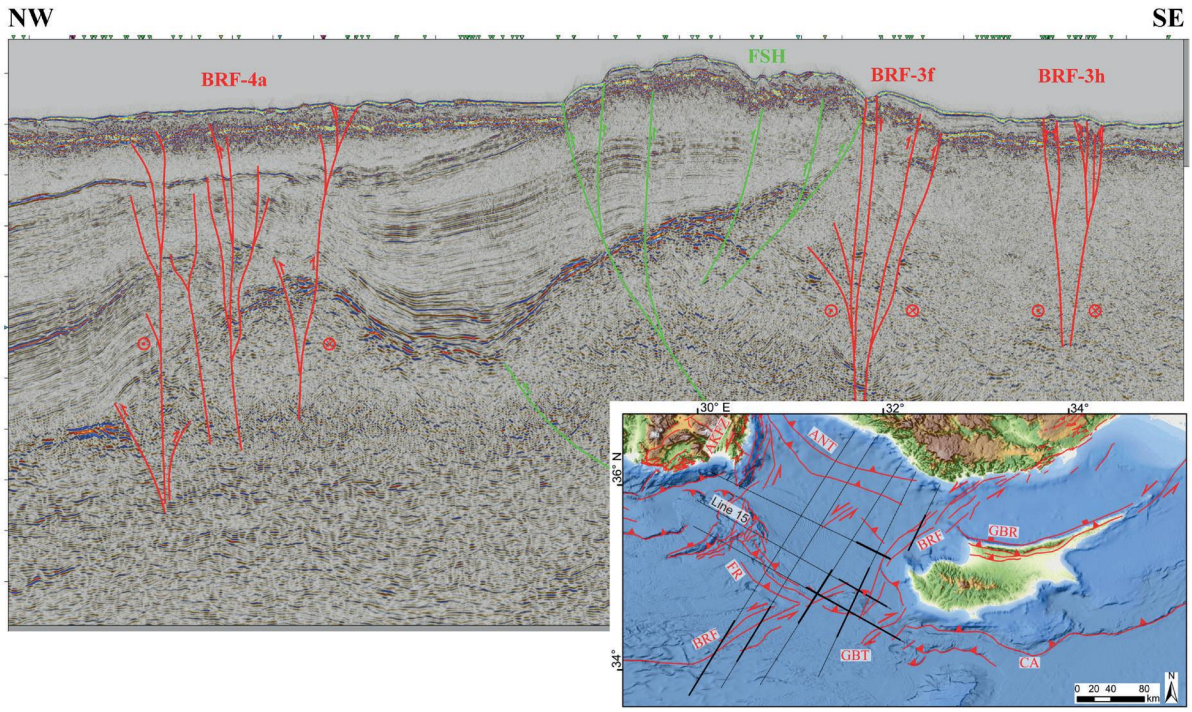


Figure 7. Seismic reflection section Line 15.
Şekil 7. *Hat 15 sismik yansıma kesiti.*

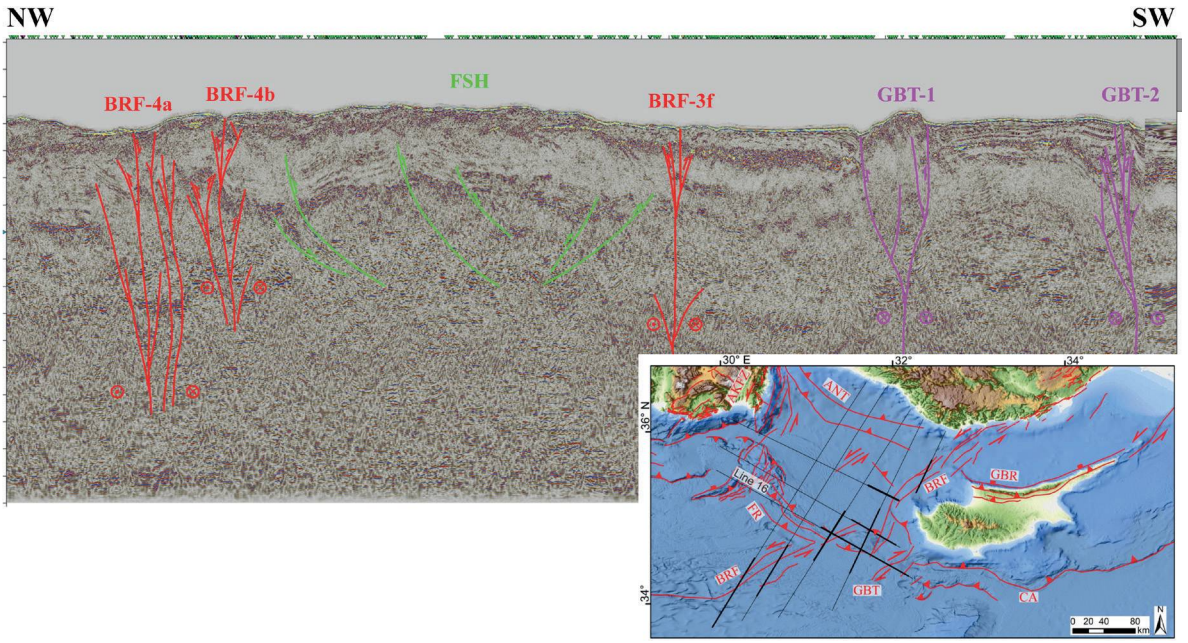


Figure 8. Seismic reflection section Line 16.

Şekil 8. *Hat 16 sismik yansıma kesiti.*

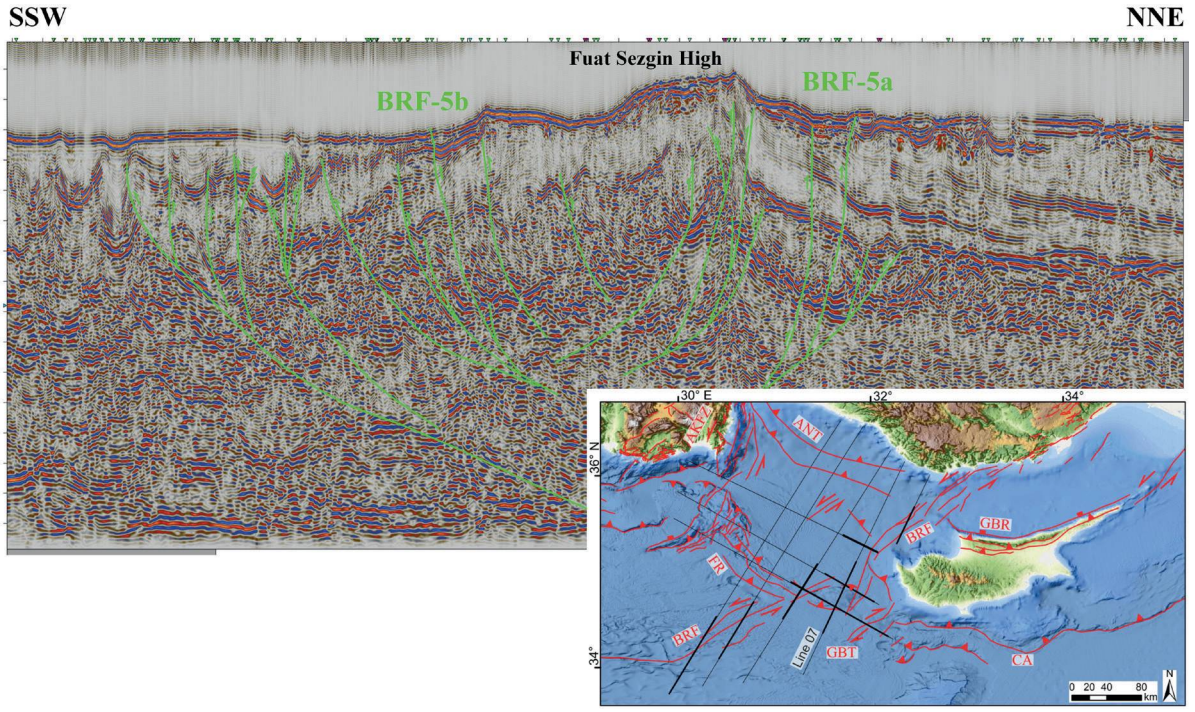


Figure 9. Seismic reflection section Line 07.

Şekil 9. *Hat 07 sismik yansıma kesiti.*

It should be noted that the southwest side of Line 16 also indicates the position of the right-lateral Gazibaf (Paphos) transform faults (GBT-1 and GBT-2) (Seyitoğlu et al., 2022a), which are associated with a prominent morphological high developed between the thrusts of Cyprus Arc. These have produced significant earthquakes with right-lateral focal mechanism solutions (Arvidsson et al., 1998; Pilidou et al., 2004; Symeou et al., 2018) (Figures 3 & 8).

The semi-parallel segments BRF-4a and BRF-4b, limiting the northwest margin of FSH, are seen on the northwest side of Line 16 (Figure 8). The southwest continuation of segment BRF-4b is clearly distinguished on the northeast-southwest trending Line 06 where the green-coloured thrusts located on the northeastern side of BRF-4b represent thrusts between the Florence Rise and the Antalya Thrust. However, the thrusts on the southwestern side represent the thrusts developed in front of the FSH (Figure 10).

The northeast-southwest trending Line 05 and Line 04 indicate the presence of three semi-parallel mainly transpressive segments of the Biruni Fault in which the middle segment BRF-4c can be continuously traced (Figures 11 & 12). The geological cross sections based on seismic profiles from TPAO (Figures 13 & 14) demonstrate that the southwest continuation of BRF-4c can be securely extended to the Aegean Arc with a restraining bend (Figures 1 & 3). The southwest extension of the Biruni Fault corresponds to the shear zone between the Northern and Southern Outer Domains of Huguen et al. (2001, see their Fig. 7). In this case, the Ptolemy-Pliny-Strabo Fault Zone and the Biruni Fault are parallel left-lateral structures and the Piri Reis Ridge (Seyitoğlu et al., 2022a), formerly known as the Mediterranean Ridge, developed between them (Figures 1 & 3).

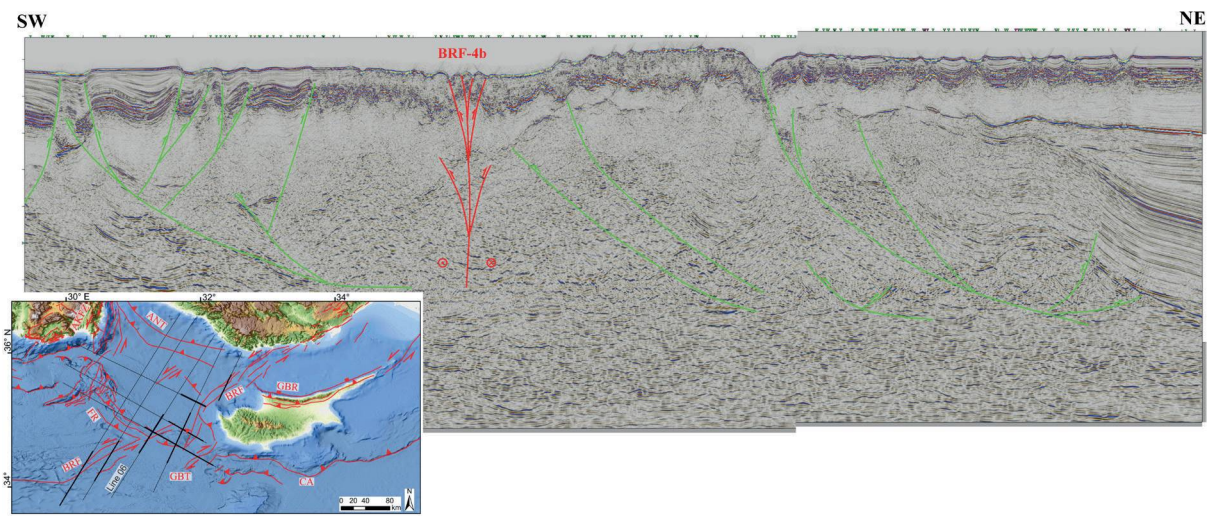


Figure 10. Seismic reflection section Line 06.
Şekil 10. *Hat 06 sismik yansıma kesiti.*

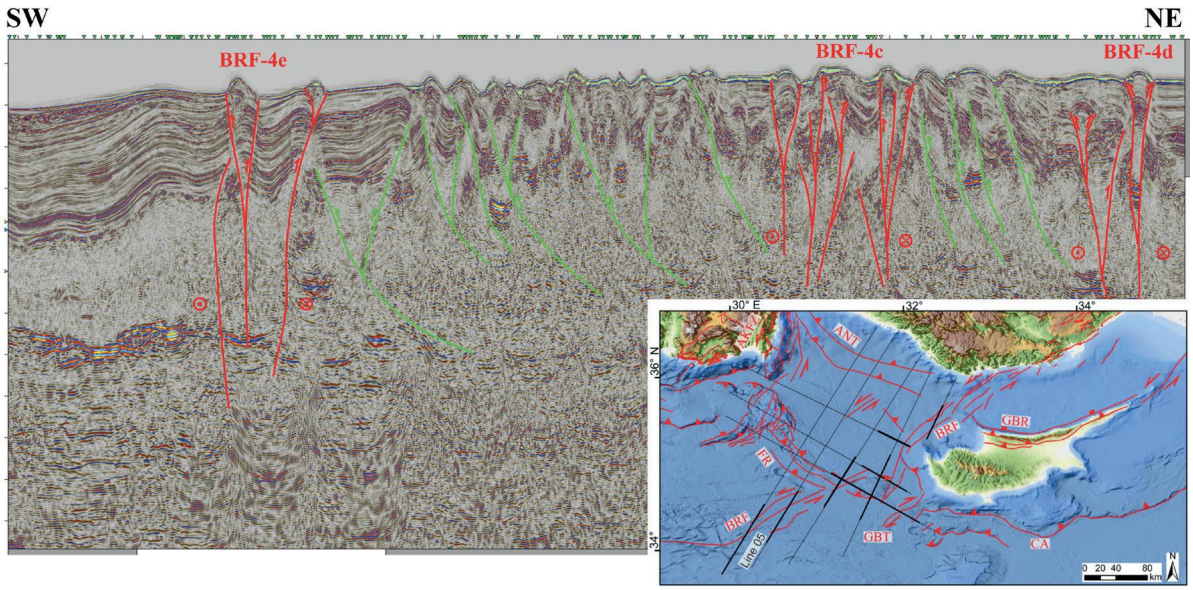


Figure 11. Seismic reflection section Line 05.
Şekil 11. *Hat 05 sismik yansıma kesiti.*

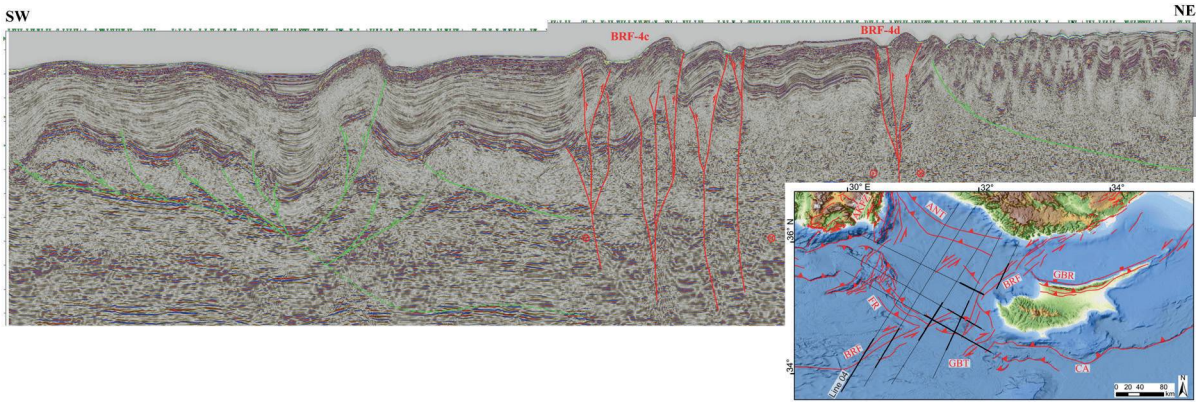


Figure 12. Seismic reflection section Line 04.
Şekil 12. *Hat 04 sismik yansıma kesiti.*

FOCAL MECHANISM SOLUTIONS FOR EARTHQUAKES IN THE STUDY REGION

In this study, the intention was to compute focal mechanism solutions for all earthquakes located within the boundaries of the study area. However, due to difficulties in accessing digital waveform data for older events, the focal mechanisms of earthquakes with magnitudes greater than 4.5 were obtained from established databases such as the Global Centroid Moment Tensor (GCMT) catalogue. For more recent and moderate-magnitude earthquakes (i.e., those with magnitudes below 4.5), efforts were made to compute the solutions directly within the scope of this study. As part of this effort, focal mechanism solutions for two earthquakes were successfully obtained and analysed.

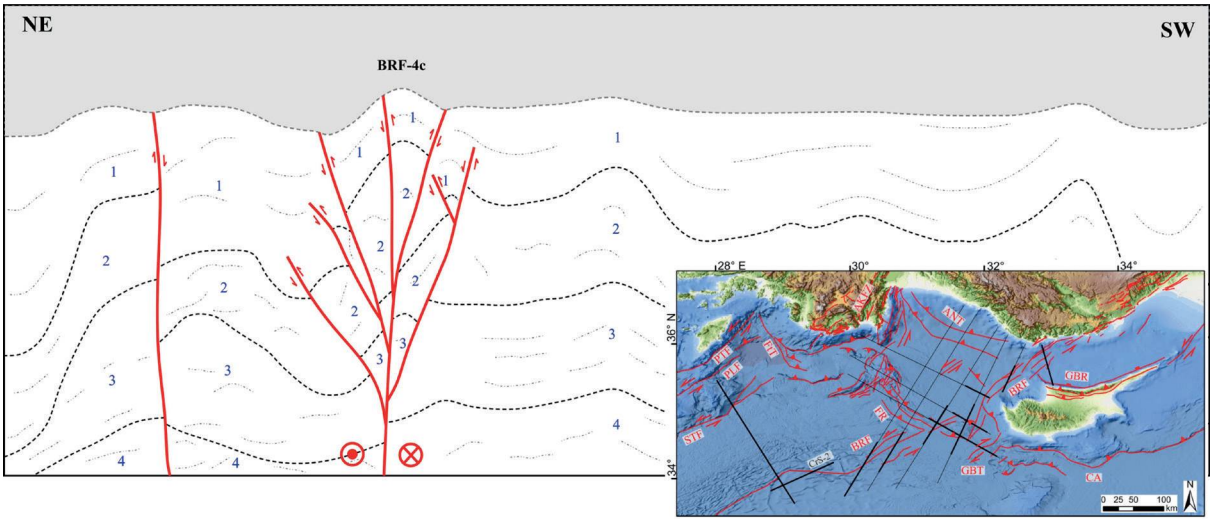


Figure 13. Geological cross section based on seismic reflection profile from Turkish Petroleum (CrS-2). 1: Pliocene-Quaternary clastic deposits, 2: Messinian evaporites, 3: Pre-Messinian deposits, 4: Cretaceous to Eocene deposits.

Şekil 13. *Türkiye Petrolleri'ne ait CrS-2 sismik yansıma profiline dayalı jeolojik kesit.* ***1.*** *Pliyosen–Kuvaterner kırıntılı tortulları,* ***2.*** *Messiniyen evaporitleri,* ***3.*** *Messiniyen öncesi birikintiler,* ***4.*** *Kretase–Eosen çökelleri.*

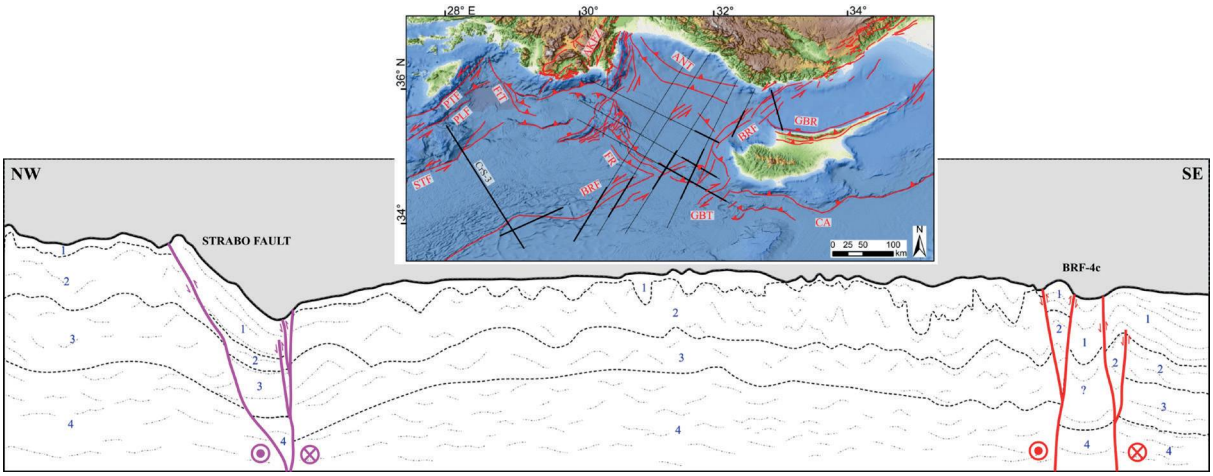


Figure 14. Geological cross section based on seismic reflection profile from Turkish Petroleum (CrS-3). 1: Pliocene-Quaternary clastic deposits, 2: Messinian evaporites, 3: Pre-Messinian deposits, 4: Cretaceous to Eocene deposits.

Şekil 14. *Türkiye Petrolleri'ne ait CrS-3 sismik yansıma profiline dayalı jeolojik kesit.* ***1.*** *Pliyosen–Kuvaterner kırıntılı tortulları,* ***2.*** *Messiniyen evaporitleri,* ***3.*** *Messiniyen öncesi birikintiler,* ***4.*** *Kretase–Eosen çökelleri.*

For the focal mechanism solution analysis, the Regional Moment Tensor (RMT) inversion technique developed by Herrmann (2013) was utilised to determine the focal mechanisms of earthquakes with magnitudes equal to or greater than 3.0. The three-component broadband waveform data necessary for the RMT analysis were acquired from two main sources: the European Integrated Data Archive (EIDA) system (http://www.orfeus-eu.org/data/eida) and Türkiye's Earthquake Data

Centre System (TDVMS) operated by the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) (https://tdvms.afad.gov.tr/).

Due to the sparse distribution of nearby seismic stations in certain regions, a maximum epicentral distance of 700 km was applied to ensure sufficient data coverage and quality. The waveform data were collected from stations within Türkiye, such as those operated by the Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) and AFAD, as well as from seismic monitoring centres in neighbouring countries. Most of these stations are equipped with velocity-sensitive broadband seismometers capable of recording high-quality seismic signals.

Since the earthquake locations provided by the data agencies were considered reliable, no additional relocation procedures were undertaken. For the RMT analysis, ground velocity waveforms -both observed and synthetic Green's functions- were extracted within predefined time windows, beginning 5-10 seconds before P-wave arrival and extending up to 110-180 seconds afterward. A three-pole causal Butterworth bandpass filter was applied to the waveforms, typically within the 0.02-0.10 Hz frequency band. However, narrower bands such as 0.06-0.08 Hz or 0.08-0.10 Hz were often preferred to better isolate the seismic signals. In cases with low signal-to-noise ratio, a micro seism rejection filter was optionally employed. During the inversion process, signals with high noise levels or inconsistencies were carefully identified and excluded to maintain the accuracy and reliability of the results.

To demonstrate the application of the RMT method, two recent earthquakes were selected for detailed focal mechanism analysis. The first event occurred on 30.08.2022 at 20:42:31 UTC with local magnitude (Mw) of 4.1 (named Event-1), and the second on 24.12.2024 at 18:22:27 UTC with Mw of 4.0 (named Event-2).

Event-1 and Event-2 were analysed using quality data from 38 and 26 broadband stations, respectively (Figures 15a & 15b). The optimal focal depths were determined through a misfit variance-depth correlation analysis (Figures 16a & 16b), yielding the best fit at a depth of 29 km for Event-1 and of 17 km for Event-2. The comparisons of the observed and synthetic waveforms for selected stations are shown in Figure 17a and Figure 17b, demonstrating a strong correlation and confirming the reliability of the inversion results. The calculated source parameters for both the earthquakes analysed within the scope of this study and those obtained from external seismic data repositories are compiled and presented in Table 1.

The left-lateral nature of the focal mechanism solutions and the location of the 2022 and 2024 events support the view that the Biruni Fault is an active left-lateral structure west of Cyprus.

DISCUSSION

The closure of the Neo-Tethyan ocean between the Arabian Plate and Eurasia since the Late Maastrichtian – Early Eocene along the Bitlis-Zagros Suture Zone (BZSZ) shaped the neotectonic framework of the Eastern Mediterranean (Figure 1). The tectonic escape model was suggested as a consequence of this collision at the beginning of plate tectonics theory and was widely accepted in the following decades (McKenzie, 1972; Hall, 1976; Şengör and Kidd, 1979; Şengör, 1979, 1980; Şengör and Yılmaz, 1981; Aktaş and Robertson, 1984; Şengör et al., 1985; 2019; Yılmaz, 1993). It was postulated that the continental collision created thick crust, resulting in the westward escape of the Anatolian plate along the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) and the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) (Dewey et al., 1986; Şengör et al., 1985). However, geophysical studies in the following years demonstrated that there is no thick crust in eastern Türkiye and the high topography is explained by asthenosphere-supported thin crust (Şengör et al., 2003; 2008).

It is emphasised that north - south shortening in east and southeast Anatolia is accommodated by the right- and left-lateral strike-slip faults, east-west trending thrusts and fold axes, and north-south trending normal faults. A single interaction point between the right- and left-lateral fault zones around Karlıova was suggested from which the Anatolian plate moves westward (Şengör et al., 1985). GPS studies (i.e. Reilinger et al., 2006) indicate that the slip rate of the right-lateral NAFZ (24 mm/yr) and the left-lateral EAFZ (10-9 mm/yr) are different and do not support a symmetrical escape wedge. Şengör et al. (2019) revised the model as an asymmetrical wedge in Karlıova that requires transpressional movement on the EAFZ (Şengör et al., 2019; Fig. 31). However, as indicated by the focal mechanism solutions of the earthquakes, a transtensional shear exists in the east of the Çukurova area (Seyitoğlu et al., 2022a; Fig. A24 in Appendix A), which may be used against the idea of a single interaction point related to the asymmetrical escape wedge of Şengör et al. (2019).

The deformation resulting from continental collisions in eastern and southeastern Anatolia was recently explained by two different models. In the foreland of BZSZ, the Southeast Anatolian Wedge (SEAW) is defined between BZSZ to the north and Sincar Mountain to the south (Figure 1). Several thrusts/blind thrusts identified by using asymmetrical anticlines in their hanging wall merge into a basal thrust and the thrust sheets are separated by tear faults in the cross sectional and map view of the SEAW, respectively (brown lines in Figure 1). One of the major earthquakes, the 1975.09.06 (M 6.7) Lice earthquake, is attributed to the Ergani-Silvan Blind Thrust (Seyitoğlu et al., 2017).

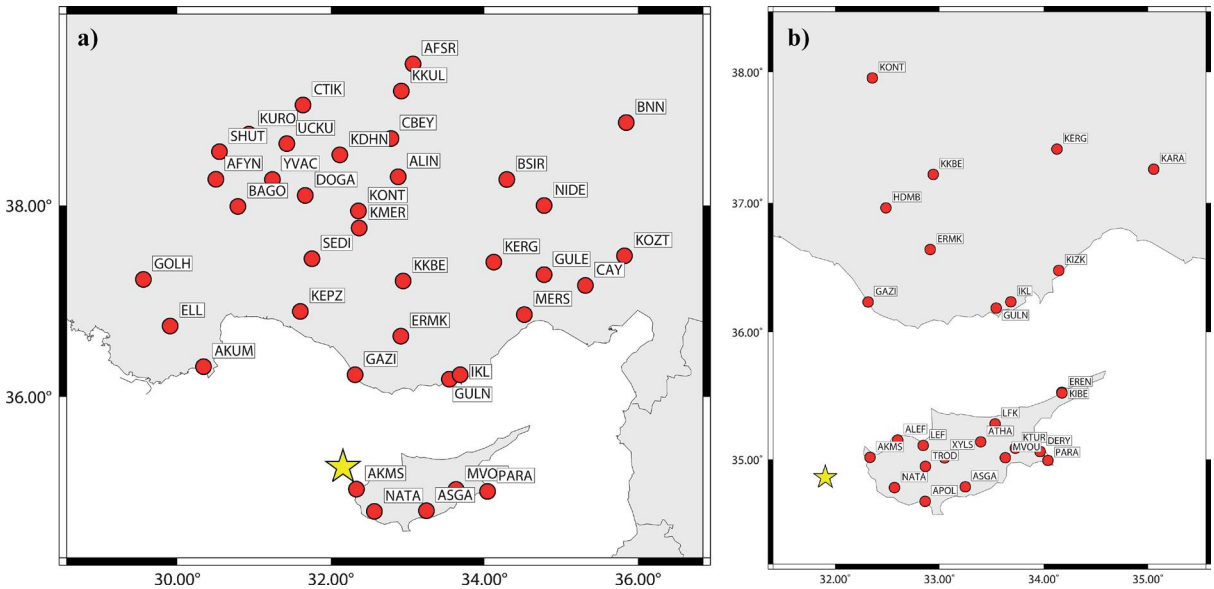


Figure 15. Broadband station distribution (solid circles) used for moment tensor inversion analysis of **(a)** the 30.08.2022 earthquake (UTC 20:42:231; Mw= 4.1) and **(b)** the 24.12.2024 earthquake (UTC 18:22:27; Mw= 4.0). Event locations are indicated with a star.

Şekil 15. *Moment tensör ters çözüm analizinde kullanılan geniş bant istasyon dağılımı (dolu daireler)* ***(a)*** *30.08.2022 tarihli deprem (UTC 20:42:23; Mw = 4.1) ve* ***(b)*** *24.12.2024 tarihli deprem (UTC 18:22:27; Mw = 4.0). Deprem konumları yıldız sembolü ile gösterilmiştir.*

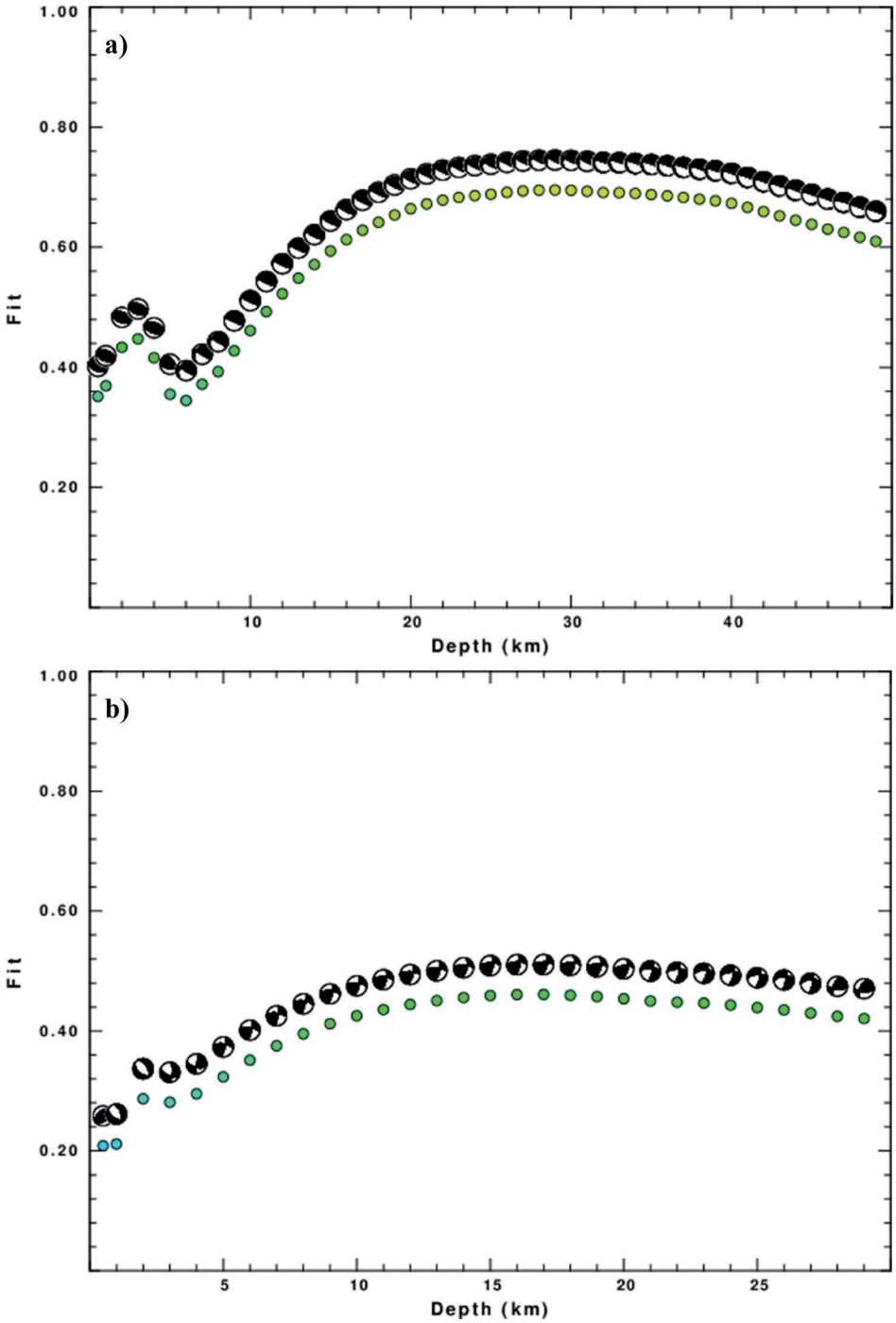


Figure 16. Correlation plot of the reduction in distance-weighted variance against source depth for **(a)** the 30.08.2022 earthquake (UTC 20:42:231; Mw= 4.1) and **(b)** the 24.12.2024 earthquake (UTC 18:22:27; Mw= 4.0). The best fit is provided for a depth of 29 km for Event-1 and 17 km for Event-2.

Şekil 16. (a) *30.08.2022 tarihli deprem (UTC 20:42:23; Mw = 4.1) ve* ***(b)*** *24.12.2024 tarihli deprem (UTC 18:22:27; Mw = 4.0) için kaynak derinliği ile uzaklık arasındaki ağırlıklandırılmış değişinti (varyans) azalım ilişkisi. En iyi uyum, birinci olay için 29 km, ikinci olay için ise 17 km derinlikte sağlanmıştır.*

Figure 17. Observed (red/light grey) and synthetic (blue/dark grey) waveforms for **(a)** the 30.08.2022 earthquake (UTC 20:42:231; Mw= 4.1) and **(b)** the 24.12.2024 earthquake (UTC 18:22:27; Mw= 4.0) are superimposed. Each waveform pair is displayed using the same amplitude scale, with peak values noted to the left of each trace. Time shifts and variance reduction percentages are presented on the right side of each trace, with the time shift as the upper value and variance reduction as the lower. Station codes are listed adjacent to their corresponding waveforms.

Şekil 17. a) *30.08.2022 tarihli deprem (UTC 20:42:23; Mw = 4.1) ve* ***(b)*** *24.12.2024 tarihli deprem (UTC 18:22:27; Mw = 4.0) için gözlemsel (kırmızı/açık gri) ve sentetik (mavi/koyu gri) dalga biçimleri üst üste gösterilmiştir. Her dalga çifti aynı genlik ölçeği kullanılarak sunulmuş olup, tepe değerleri her sinyal izinin sol tarafında belirtilmiştir. Zaman kaymaları ve değişinti (varyans) azaltma yüzdeleri, her izin sağ tarafında gösterilmiştir; üstte zaman kayması, altta ise değişinti azalım değeri yer almaktadır. İstasyon kodları ilgili dalga biçimlerinin yanında listelenmiştir.*

Table 1. Earthquake Focal Parameters and Focal Mechanism Solutions for Major Seismic Events.

Çizelge 1. *Belirli Depremlere Ait Odak Parametreleri ve Odak Mekanizması Çözümleri.*

Earthquake Focal Parameters									Fault Plane Solutions											
#	Date (y.m.d)	Time (GMT) (h:m:s)	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Depth (km)	Mag.	M Type	Ref.	Str1 (°)	Dip1 (°)	Rake1 (°)	Str2 (°)	Dip2 (°)	Rake2 (°)	Pazm (°)	Pplg (°)	Tazm (°)	Tplg (°)	Ref.	Beach ball
215	2022.01.11	01:07:46	34,919	32,1663	5.06	6,4	Mw	AFAD	287	11	86	111	79	91	200	34	22	56	USGS	
216	2022.04.26	19:11:37	34,902	32,7058	7,7	4,6	Mw	AFAD	94	66	92	267	23	83	182	21	8	69	KOERI	
217*	2022.08.30	20:42:31	35,2391	32,0866	5,4	4,1	Mw	AFAD	117	82	114	225	25	20	187	33	52	48	This study	
218	2023.03.11	19:35:16	36,976	35,668	7	4	Mw	AFAD	208	31	27	94	77	118	163	26	36	50	AFAD	
219	2023.07.25	05:44:49	37,634	35,884	10,38	5,5	Mw	AFAD	161	76	177	251	88	14	26	8	117	12	KOERI	
220	2023.08.10	13:16:04	35,804	31.351	12,44	4,5	Mw	AFAD	104	74	82	311	16	115	200	29	3	60	KOERI	
221	2023.08.22	10:17:34	38,435	36,675	7,06	4,7	Mw	AFAD	295	90	128	25	38	0	353	34	237	34	USGS	
222	2024.06.26	20:37:12	36,9511	34,4569	16	4,1	Mw	AFAD	47	80	-61	154	31	-160	347	47	114	29	AFAD	
223*	2024.12.24	18:22:27	34,8603	31,9050	9,81	4,3	Mw	AFAD	269	64	146	15	60	30	323	3	42	56	This study	

Note: The numbering of the earthquakes in this table starts from 215, following the last event (No. 214) listed in the earthquake catalogue of Seyitoğlu et al. (2022a). For the focal mechanism solutions shown in Fig. 3, events numbered 1–214 refer to Seyitoğlu et al. (2022a), while events numbered 215 and onward correspond to the data presented in this study.

Abbreviations: Lat.: Latitude**; Lon.:** Longitude**; Mag:** Magnitude**; Str.:** Strike; **Dip:** Dip; **Rake:** Rake; **Pazm:** Pressure azimuth; **Pplg:** Pressure plunge; **Tazm:** Tension azimuth; **Tplg:** Tension plunge; **Mw:** moment magnitude; **USGS:** U.S. Geological Survey. USGS. USA https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/; **KOERI:** Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center. http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/

zeqdb/; **AFAD;** Republic of Turkey Ministry of Disaster and Emergency Management Authority. http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Veritabani.

Not: *Bu çizelgede depremlerin numaralandırılması, Seyitoğlu vd. (2022a) tarafından deprem kataloğunda listelenen son olay (No. 214) sonrasından, yani 215'ten başlamaktadır. Şekil 3'te gösterilen odak mekanizması çözümleri için 1–214 numaralı olaylar Seyitoğlu vd. (2022a)'ye, 215 ve sonraki numaralı olaylar ise bu çalışmada sunulan verilere karşılık gelmektedir.*

Kısaltmalar: ***Lat.:*** *Enlem****; Lon.:*** *Boylam****; Mag:*** *Magnitude;* ***Str.:*** *Fay doğrultusu (strike);* ***Dip:*** *Eğim (dip);* ***Rake:*** *Kayma açısı;* ***Pazm:*** *Basınç ekseni azimut açısı (pressure azimuth);* ***Pplg:*** *Basınç ekseni dalım açısı (pressure plunge);* ***Tazm:*** *Gerilme ekseni azimut açısı (tension azimuth);* ***Tplg:*** *Gerilme ekseni dalım açısı (tension plunge);* ***Mw:*** *Moment büyüklüğü (moment magnitude);* ***USGS:*** *ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu (U.S. Geological Survey). USA https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/;* ***KOERI:*** *Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme Merkezi. http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/ ;* ***AFAD:*** *T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Veritabani*.

In the hinterland of BZSZ, several rhomboidal cells were described, limited by right- and left-lateral strike-slip faults (Seyitoğlu et al., 2018). In some cases, east-west trending thrusts are located in the middle of the cell (i.e., Van and Ahar rhomboidal cells), which are capable of producing the 2011.10.23 (Mw 7.1) Van earthquake. In other cases, the northern and southern corners of the rhomboidal cells have thrust faults (i.e., Hınıs and Urmiye cells) (Seyitoğlu et al., 2018) (Figure 1).

The rhomboidal cell model in the hinterland of BZSZ contributes to a better understanding of collision-related deformation and helps to define region-wide shear zones, such as the Southeast Anatolian Zagros Fault Zone (SAZFZ). It comprises the southwest margin of Kiğı, Karlıova, Muş, Van and Urmiye cells together with the Main Recent Fault in Iran. This newly-recognised right-lateral shear zone indicates that the NAFZ has a releasing stepover with the SAZFZ, in which the Kiğı, Karlıova and Muş rhomboidal cells developed (Seyitoğlu et al., 2018) (Figure 1).

The rhomboidal cell model (Seyitoğlu et al., 2018) and the Anatolian Diagonal, a broad left-lateral shear zone (Seyitoğlu et al., 2022a), define multiple interaction points between right- and left-lateral faults zones. This is different to the tectonic escape model of Şengör et al. (1985), which suggests a single interaction point.

The first interaction point (#1 in Figure 1) is near Bingöl where the highest strain rates obtained by GNNS data, independent from the structures, are observed in the region (Seyitoğlu et al., 2018; Fig. 10.22B). The SAZFZ cuts the EAFZ, and its previously defined segments between Bingöl and Karlıova (Duman and Emre, 2013) are evaluated as the common margin of the Karlıova and Muş rhomboidal cells. In this case, it can be said that the EAFZ started in Bingöl (Seyitoğlu et al., 2018; 2022a; Fig. 9). This cross-cutting relationship can also be seen in the recently-published tomographic slices of Güvercin (2023; Fig. 6). The EAFZ, the southeast margin of the Anatolian Diagonal, reaches the Cyprus Arc after having two triple junctions with the Dead Sea Fault Zone, which is clearly observed after the earliest releases of surface rupture maps belonging to the recent 2023.02.06 earthquakes (Esat and Seyitoğlu, 2023; Seyitoğlu and Esat, 2023; Özkan et al., 2023; Seyitoğlu et al., 2022a) (TJ-1 and TJ-2 in Figure 1).

The second interaction point (#2 in Figure 1) is west of Tunceli where the left-lateral Ovacık Fault of the Anatolian Diagonal cuts the right-lateral Nazımiye Fault of the SAZFZ. The Ovacık Fault is connected to the Malatya Fault further southwest and several structures such as Sürgü, Barış-Kantarma, Maraş-Yumurtalık, Sarız, and Elbistan-Misis faults accommodate internal deformation of the Anatolian Diagonal (Yusufoğlu, 2013; Acarel et al., 2019; Kaymakçı et al., 2006; Sançar et al., 2020; Seyitoğlu et al., 2022a; Fig. A17 in Appendix A).

The third intersection point (#3 in Figure 1) is located southeast of the Erzincan Plain where the right-lateral NAFZ meets the left-lateral Ovacık Fault of the Anatolian Diagonal. This location, at the same time, constitutes the northern corner of the Kiğı rhomboidal cell (Seyitoğlu et al., 2018; 2022a; Fig. A17).

The fourth intersection point (#4 in Figure 1) is located northwest of the Erzincan Plain where the left-lateral Karaca Fault of the Anatolian Diagonal separates from the right-lateral NAFZ. The semi-parallel left-lateral Karaca Fault and the Kemah-İliç Fault form a restraining bend (i.e., Divriği Thrust) with the Ecemiş-Deliler Fault that constitutes the northwest margin of the Anatolian Diagonal (Seyitoğlu et al., 2022a). This structure reaches the western coast of the Mersin Gulf and its continuation in the Mediterranean Sea, the Biruni Fault, provides a connection to the Cyprus Arc west of Cyprus (Seyitoğlu et al., 2022a and this paper).

The initial definition of the Biruni Fault as an offshore continuation of the Ecemiş-Deliler Fault was based on limited seismic reflection data with poor coordinate system (Seyitoğlu et al., 2022a). In this paper, we provide more reliable coordinate control on the seismic reflection sections obtained from TPAO, more detailed morphological analysis of the onshore continuation around Silifke, and reliable focal mechanism solutions for the earthquakes attributed to the Biruni Fault.

The Biruni Fault's database presented in this paper indicates that the definition of the Kozan Fault zone (Aksu et al., 2014a, b) is doubtful. The Biruni Fault better explains the left-lateral motion between Anatolia and Cyprus because (1) the seismic reflection sections of Aksu et al. (2014a, b) lack solid evidence for a left-lateral fault zone, (2) the position of the Kozan Fault zone, that is distant from the western coast of the Mersin Gulf, cannot explain the southwestern shift of the Göksu River's delta which is better explained by the southwestern end of the EDF lying on the western coast of the Mersin Gulf (Figure 2), and (3) the single and continuous extension of the Kozan Fault zone in the Adana basin and its connection to the EAFZ is unrealistic because the seismic sections of Burton-Ferguson et al. (2005) indicate a restraining stepover south of Adana city between the left-lateral Ecemiş-Deliler and Elbistan-Misis faults of Seyitoğlu et al. (2022a).

When the seismic activity is taken into account, the Ptolemy-Pliny-Strabo Fault Zone is more active relative to the Biruni Fault (Figure 3). This statement is also supported by GNNS-based block modelling, which indicates that the southwest translation of Anatolia is mainly accommodated by the Ptolemy-Pliny-Strabo Fault zone and the Antalya-Kekova Fault Zone where the left-lateral slip rates reach up to 30 mm/yr (Seyitoğlu et al., 2022b). However, the pronounced morphotectonic expression along the Biruni Fault, together with the Pliocene–Quaternary slip rate inferred in this study may indicate a period of higher slip rates during the Quaternary. In contrast, the present-day fault activity, characterised by lower slip rates and reduced seismicity, is consistent with the current lack of significant earthquake activity. As previously noted by Seyitoğlu et al. (2022a), restraining stepovers exist between the Biruni Fault, the Antalya-Kekova Fault Zone, and the Ptolemy-Pliny-Strabo Fault Zone where the Antalya Thrusts, Florence Rise and Fethiye Thrusts developed (Figures 1, 3). This complex relationship is the subject of another paper providing onshore and offshore data from the region.

CONCLUSION

The northwest margin of the Anatolian Diagonal, the Ecemiş-Deliler Fault and its offshore continuation of the Biruni Fault are described in this paper with the help of seismic reflection data from Turkish Petroleum. The position of the

Biruni Fault and the southwest tip of Ecemiş-Deliler Fault better explain the Quaternary shift of the Göksu delta. The focal mechanisms of the recent earthquakes presented in this paper also demonstrate that the Biruni Fault is a left-lateral active structure. Its relationship with the Antalya-Kekova Fault Zone and Ptolemy-Pliny-Strabo Fault Zone implies slip partitioning in the eastern Mediterranean.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Anadolu Çaprazı, Doğu Anadolu Fay Zonu ile Orta Anadolu Fay Zonu arasında yer alan, yaklaşık 170 km genişliğinde ve Erzincan'dan Kıbrıs Yayına kadar uzanan 850 km uzunluğunda sol yanal bir makaslama zonu olarak tanımlanmaktadır (Seyitoğlu vd., 2022). Bu zonun güneybatı ucunda bulunan Ecemiş Deliler Fayı'nın güneybatı kesimine ait jeomorfolojik veriler, fayın kuzeydoğu bölümünde belirgin bir doğrusal gidişin hakim olduğunu; buna karşılık güneybatı bölümünde, kıyı şeridine paralel uzanan, KD-GB doğrultulu, sol yanal aralı aşmalı faylardan oluşan ve 20 km'ye ulaşan genişlikte bir makaslama zonu varlığını ortaya koymaktadır. Fay, güneybatı bölümünde KD-GB uzanımlı doğrusal vadiler ile belirgin olup, güncel akarsu yatakları ve Kuvaterner yaşlı morfolojik birimlerde oluşturduğu ötelenmelerle tanımlanmıştır. Bu kesiminde, Göksu Nehri boyunca ölçülen 18 km'lik ötelenme, akarsuyun yaklaşık 8 My önce oluştuğu kabulüyle değerlendirilmiş ve buna dayanarak fayın uzun dönemli ortalama kayma hızı 2,25 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Anadolu Çaprazı boyunca uzanan sol yanal doğrultu atımlı Ecemiş Deliler Fayı'nın (EDF) denizdeki devamı Biruni Fayı (BRF) olarak tanımlanmıştır. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından sağlanan sismik yansıma kesitlerinde Biruni fayına ait segmentler net bir şekilde izlenmekte ve fayın deniz tabanında meydana getirdiği deformasyonlar takip edilebilmektedir (Şekil 5-14). Kuzeydoğuda, EDF'nin güneybatı ucundan başlayarak güneye doğru takip edilen fay güneyde daralmalı sıçrama yaparak Fuat Sezgin yükselimini oluşturmaktadır (Şekil 9). En güneyde Ptolemy-Pliny-Strabo Fay Zonu ile Biruni Fayı birbirine paralel sol yanal fay sistemler olarak değerlendirilmektedir (Şekil 1,3). Bu faylar arasında, daha önce Akdeniz Sırtı olarak bilinen ve günümüzde Piri Reis Sırtı olarak adlandırılan yapı gelişmiştir (Seyitoğlu vd., 2022a) (Şekil 1, 3).

Çalışma alanı sınırları içerisinde gerçekleşmiş ve moment büyüklüğü 4.5'ten büyük olan depremlerin odak mekanizması çözümleri, güvenilir veri tabanlarından taranmış, ayrıca dış merkezi Biruni fayı üzerinde bulunan iki depremin odak mekanizması çözümleri analiz edilmiştir. (Şekil 15-17 ve Çizelge 1). Biruni Fayı boyunca kaydedilen depremlerin sol yönlü doğrultu atımlı mekanizması ve dağılımı, fayın aktif bir sol yanal fay zonu olduğunu göstermektedir.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is a part of nearly completed PhD thesis of the first author at Ankara University in the Department of Geological Engineering, Tectonics Research Group supervised by the senior author. We thank the Turkish Petroleum Company for the permission to access and publish offshore data. We are also grateful to two anonymous referees for their valuable comments and to Erdinç Yiğitbaş for editorial handling.

ORCID

Nuray Şahbaz https://orcid.org/0009-0007-2738-2335

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

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

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

REFERENCES

Acarel, D., Cambaz M. D., Turhan, F., Kömeç Mutlu A. & Polat, R. (2019). Seismotectonics of Malatya Fault, Eastern Turkey. *Open Geosciences, 11*(1), 1098-11111. https://doi.org/10.1515/geo-2019-0085

Aksu, A. E., Calon, T. J., Hall, J., Mansfield, S. & Yaşar, D. (2005). The Cilicia–Adana basin complex, Eastern Mediterranean: Neogene evolution of an active fore-arc basin in an obliquely convergent margin. *Marine Geology, 221*, 121-159. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.03.011

Aksu, A. E., Calon, T., Hall, J., Kurtboğan, B., Gürçay, S. & Çiftçi, G. (2014a). Complex interactions fault fans developed in a strike-slip system: Kozan Fault Zone, Eastern Mediterranean Sea. *Marine Geology, 351*, 91-107. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.009

Aksu, A.E., Walsh-Kennedy, S., Hall, J., Hiscott, R. N., Yaltırak, C., Coşkun, S. D. & Çiftçi, G. (2014b). The Pliocene-Quaternary tectonic evolution of the Cilicia and Adana basins, eastern Mediterranean: Special reference to the development of the Kozan Fault zone. *Tectonophysics, 622*, 22-43. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.03.025

Aksu, A. E., Hall, J. & Yaltırak, C. (2022). The uppermost Messinian-Quaternary evolution of the Anamur-Kormakiti zone: The transition between the outer Cilicia and Antalya basins, northeastern Mediterranean. *Marine and Petroleum Geology, 136*, Article 105451. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105451

Aktaş, G. & Robertson, A. H. F. (1984). The Maden complex, SE Turkey: evolution of a Neotethyan active margin. *Geological Society, London, Special Publications, 17*, 375-402. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1984.017.01

Akyüz, H. S., Uçarkuş, G., Altunel, E., Doğan, B. & Dikbaş, A. (2012). Paleoseismological investigations on slow-moving active fault in central Anatolia, Tecer Fault, Sivas. *Annals of Geophysics, 55*, 847-857. https://doi.org/10.4401/ag-5444

Alan, İ., Balcı, V. & Elibol, H. (2014). *Geological map of the Silifke-P31 and P32 Quadrangles*. MTA Ankara, Türkiye.

Anastasakis, G. & Kelling, G. (1991). Tectonic connection of the Hellenic and Cyprus arcs and related geotectonic elements. *Marine Geology, 97*, 261-277. https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90120-S

Arvidsson, R., Avraham, Z. B., Ekström, G. & Wdowinski, S. (1998). Plate tectonic framework for the October 9, 1996, Cyprus earthquake. *Geophysical Research Letters, 25*, 2241-2244. https://doi.org/10.1029/98GL01547

Barrier, E., Chamot-Rooke, N. & Giordano, G. (2004). *Geodynamic Maps of the Mediterranean-sheet 1: Tectonics and Kinematics*. Commission for the Geological map of the World (CGMW) and UNESCO.

Blumental, M. M. (1941). *Niğde ve Adana Vilayetleri dolayındaki Toroslar'ın Jeolojisine umumi bir bakış*. General Directorate for Mineral Research and Exploration (MTA), Publication Series B, no 6, Ankara.

Blumental, M. M. (1952). *Torosların yüksek Aladağ silsilesinin coğrafyası, stratigrafisi ve tektoniği hakkında yeni etüdler*. General Directorate for Mineral Research and Exploration (MTA), Publication Series D, no 6, Ankara.

Burton-Ferguson, R., Aksu, A. E., Calon, T. J. & Hall, J. (2005). Seismic stratigraphy and structural evolution of the Adana basin, eastern Mediterranean. *Marine Geology, 221*, 189-222. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.03.009

Calon, T. J., Aksu, A. E. & Hall J. (2005). The Oligocene-Recent evolution of the Mesaria Basin (Cyprus) and its western marine extension, Eastern Mediterranean. *Marine Geology, 221*, 95-120. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.03.012

Cosentino, D., Schildgen, T. F., Cipollari, P., Faranda, C., Gliozzi, E., Hudackova, N., Lucifora, S. & Strecker, M. R. (2012). Late Miocene surface uplift of the southern margin of the Central Anatolian Plateau, Central Taurides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin, 124*(1-2), 133-145. https://doi.org/10.1130/B30466.1

Darin, M. & Umhoefer, P. (2019). Structure and kinematic evolution of the southern Sivas fold-thrust belt, Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences, 28*(6), 834-859. https://doi.org/10.3906/yer-1907-29

Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F. & Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia a young collision zone. In:

Coward MP, Ries AC, (ed). Collision Tectonics. *Geological Society London Special Publications, 19*, 3-36 (Robert M. Shackleton volume). https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1986.019.01.01

Dirik, K. (2001). Neotectonic evolution of the northwestward arched segment of the Central Anatolian Fault Zone, Central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta, 14*, 147-158. https://doi.org/10.1016/S0985-3111(00)01056-1

Dirik, K. & Göncüoğlu, M. C. (1996). Neotectonic Characteristics of Central Anatolia. *International Geology Review, 38*, 807-817. https://doi.org/10.1080/00206819709465363

Duman, T. & Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London, Special Publications, 372*, 495-529. https://doi.org/10.1144/SP372.14

Elmacı, H., Gürboğa, Ş., Özalp, S., Avcı, H. O., Aydoğan, H., Yavuzoğlu, A., Yüce, A. A., Kara, M. & Öztürker, A. R. (2025). Active tectonic characteristics of the Turkish Republic of Northern Cyprus in light of paleoseismological data. Şen, C. & Bak, T. (Eds.), *77th Geological Congress of Türkiye, Abstract Book* (p.: 343). Chamber of Geological Engineers of Türkiye Publications. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/662575e8a4e2055_ek.pdf

Emre, Ö., Duman, T., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. & Şaroğlu, F. (2013). *Active fault map of Turkey with and explanatory text*. Special Publication Series 30. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA). ISBN: 978-605-5310-56-1

Esat, K. & Seyitoğlu, G. (2023). *Surface rupture map of the 2023.02.06 Kahramanmaraş Earthquakes based on high-resolution satellite and aerial imagery*. ResearchGate Technical Report. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36259.32808

Evans, G., Morgan, P., Evans, W. E., Evans, T. R. & Woodside, J. M. (1978). Faulting and halokinetics in the northeastern *Mediterranean between Cyprus and Turkey. Geology, 6,* 392-396. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1978)6<392:FAHITN>2.0.CO;2

Güneş, P., Aksu, A. E. & Hall, J. (2018). Structural framework and deformation history of the western Cyprus Arc. *Tectonophysics, 744*, 438-457. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.023

Güvercin, S.E. (2023). A local earthquake tomography on the EAFZ shows dipping fault structure. *Turkish Journal of Earth Sciences, 32*(3): 294-305. https://doi.org/10.55730/1300-0985.1845

Hall, R. (1976). Ophiolite emplacement and the evolution of the Taurus suture zone, southeast Turkey. *Geological Society of America, 87*, 1078-1088.

Herrmann, R. B. (2013). Computer programs in seismology: An evolving tool for instruction and research. *Seismological Research Letters, 84*, 1081-1088. https://doi.org/10.1785/0220110096

Higgins, M., Schoenbohm, L. M., Brocard, G., Kaymakçı, N., Gosse, J. C. & Cosca, M. A. (2015). New kinematic and geochronologic evidence for the Quaternary evolution of the Central Anatolian fault zone (CAFZ). *Tectonics, 34*, 2118-2141. https://doi.org/10.1002/2015TC003864

Huguen, C., Mascle, J., Chaumillon, E., Woodside, J. M., Benkhelil, J. Kopf, A. & Volkonskaia, A. (2001). Deformational styles of the eastern Mediterranean Ridge and surroundings from combined swath mapping and seismic reflection profiling. *Tectonophysics, 343*, 21-47. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00185-8

İnan, S. ve Ekingen, S. (2007). Namrun Fay Zonu'nun jeolojik – morfotektonik özellikleri: Orta Anadolu Fay Sistemi'nin güneybatı bölümü (Orta Toroslar – Türkiye). *Yerbilimleri, 28*, 147-158.

Jaffey, N. & Robertson, A. H. F. (2001). New sedimentological and structural data from the Ecemiş Fault Zone, southern Turkey: implications for its timing and offset and the Cenozoic tectonic escape of Anatolia. *Journal of the Geological Society, London, 158, 367-378*. https://doi.org/10.1144/jgs.158.2.367

Kaymakçı, N., İnceöz, M. & Ertepınar, P. (2006). 3d-Architecture and Neogene evolution of the Malatya basin: Inferences for the kinematics of the Malatya and Ovacık fault zones. *Turkish Journal of Earth Sciences, 15*, 123-154.

Ketin, İ. (1960). Tectonic units of Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration (MTA), 54*, 20-34.

Koçyiğit, A. & Beyhan, A. (1998). A new intracontinental transcurrent structure: The Central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics, 284*, 317-336. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00176-5

Kuzucuoğlu, C., Çiner, A. & Kazancı, N. (2019). The geomorphological regions of Turkey. In

Kuzucuoğlu, C., Çiner, A. & Kazancı, N (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey*, (p.: 41-178). World Geomorphological Landscapes. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_4

Mansfield, S. L. (2005). *Neogene Tectonic and Sedimentary Evolution of the Outer Cilicia Basin, Eastern Mediterranean Sea* [MSc Thesis]. Memorial University of Newfoundland and Labrador. ISBN: 978-0-494-19380-8.

McKenzie, D. P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International, 30*, 109-185. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x

Metz, K. (1956). Aladağ ve Karanfil Dağı'nın yapısı ve bunların Kilikya Torosu tesmiye edilen batı kenarları hakkında malümat husulü için yapılan jeolojik etüt. *Bulletin of Mineral Research and Exploration (MTA), 48*, 63-76.

Özel, E., Uluğ, A. & Pekçetinöz, B. (2007). Neotectonic aspects of the northern margin of the Adana-Cilicia submarine basin, NE Mediterranean. *Journal of Earth System Science, 116*(2), 113-124. https://doi.org/10.1007/s12040-007-0011-9

Özkan, A., Yavaşoğlu, H. H. & Masson, F. (2023). Present-day strain accumulations and fault kinematics at the Hatay Triple Junction using new geodetic constraints. *Tectonophysics, 854*, Article 229819. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229819

Pavoni, N. (1961). Die Nordanatolische Horizontalverschiebung. *Geologische Rundschau, 51*, 122-139.

Pilidou, S., Priestley, K., Jackson, J. & Maggi, A. (2004). The 1996 Cyprus earthquake: a large, deep event in the Cyprean Arc. *Geophysical Journal International, 158*, 85-97. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02248.x

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., … & Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa - Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research, 111*, Article B05411. https://doi.org/10.1029 / 2005JB004051

Sançar, T., Zabcı, C., Akçar, N., Karabacak, V., Yeşilyurt, S., Yazıcı, M., Akyüz, H.S., Öztüfekçi Önal, A., Ivy-Ochs, S., Christl, M. & Vockenhuber, C. (2020). Geodynamic importance of the strike-slip faults at the eastern part of the Anatolian Scholle: Inferences from the uplift ond slip rate of the Malatya Fault (Malatya-Ovacık Fault Zone, eastern Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences, 188*, Article 104091. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.104091

Sarıkaya, M. A., Yıldırım, C. & Çiner, A. (2015a). No surface breaking on the Ecemiş Fault, central Turkey, since Late Pleistocene (~64.5ka); new geomorphic and geochronologic data from cosmogenic dating of offset alluvial fans. *Tectonophysics, 649*, 33-46. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.02.022

Sarıkaya, M.A., Yıldırım, C. & Çiner, A. (2015b). Late Quaternary alluvial fans of Emli Valley in the Ecemiş Fault Zone, south central Turkey: Insights from cosmogenic nuclides. *Geomorphology, 228*, 512-525. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.008

Schildgen, T. F., Cosentino, D., Bookhagen, B., Niedermann, S., Yıldırım, C., Echtler, H., Wittmann, H. & Strecker, M.R. (2012). Multi-phased uplift of the southern margin of the Central Anatolian plateau, Turkey: A record of tectonic and upper mantle processes. *Earth and Planetary Science Letters, 317-318*, 85-95. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.12.003

Scott, B. (1981). The Eurasian-Arabian and African continental margin from Iran to Greece. *Journal of Geological Society, London, 138*, 7694-7706.

Seyitoğlu, G., Esat, K. & Kaypak, B. (2017). The neotectonics of southeast Turkey, northern Syria and Iraq: the internal structure of the South East Anatolian Wedge and its relationship with the recent earthquakes. *Turkish Journal of Earth Sciences, 26*, 105-126. https://doi.org/10.3906/yer-1605-21

Seyitoğlu, G., Esat, K., Kaypak, B., Toori, M. & Aktuğ, B. (2018). Internal deformation of the Turkish-Iranian Plateau in the hinterland of Bitlis-Zagros Suture Zone. In Farzipour Saein A. (Ed), *Tectonic and Structural Framework of the Zagros Fold-Thrust Belt* (pp.: 161-244). Developments in Structural Geology and Tectonics Volume 3. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815048-1.00010-X

Seyitoğlu, G., Tunçel, E., Kaypak, B., Esat, K. & Gökkaya, E. (2022a). The Anatolian Diagonal: A

left lateral shear zone between East and Central Anatolia and its relationship with both North Anatolian Fault Zone and Aegean Cyprus Arcs. *Geological Bulletin of Turkey, 65*(2), 93-116. https://doi.org/10.25288/tjb.1015537

Seyitoğlu, G., Aktuğ, B., Esat, K. & Kaypak, B. (2022b). Neotectonics of Turkey (Türkiye) and surrounding regions: a new perspective with block modelling. *Geologica Acta, 20*, 1-21. https://orcid.org/0000-0001-7993-898X

Seyitoğlu, G., Esat, K., Kaypak, B. & Koca, B. (2022c). Seismotectonics of the southern branch of North Anatolian Fault Zone along Bolu, Bursa, and İzmir cities and Değirmenlik (Milos) island in the Aegean Sea. *Yerbilimleri-Bulletin for Earth Sciences, 43*(2), 138-159. https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.948130

Seyitoğlu, G. & Esat, K. (2023). Structural relationship between the Dead Sea Fault Zone and East Anatolian Fault Zone: The cross-basin Kadıncık Fault emerged by the 2023.02.06 Kahramanmaraş (M=7.8) earthquake's surface rupture. In Bozkurt, E., Dumanlılar, Ö., Akyıldız, M., Yılmaz, K. K., Coşkun Tunaboylu, B., Cihan, Z. Ö., Yağbasan, Ö. & Şükran Açıkel (Eds.), *75th Geological Congress of Türkiye*, *Abstract Book* (p.: 94). Chamber of Geological Engineers of Türkiye Publications. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/24f25904af8a59f_ek.pdf

Symeou, V., Homberg, C., Nader, F.H., Darnault, R., Lecomte, J-C., & Papadimitriou, N. (2018). Longitudinal and temporal evolution of the tectonic style along the Cyprus Arc system, assessed through 2-D reflection seismic interpretation. *Tectonics, 37*, 30-47. https://doi.org/10.1002/2017TC004667

Şaroğlu, F., Emre, Ö. & Kuşçu, İ. (1992). *Active Fault Map of Turkey. Ankara, Turkey*. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA).

Şengör, A. M. C. (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society, 136*, 269-282. https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.3.0269

Şengör, A. M. C. & Kidd, W. S. F. (1979). Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics, 55*, 361-376. https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90184-7

Şengör, A. M. C. (1980). *Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları [Fundamentals of the Neotectonics of Turkey]*. Publication of Geological Society of Turkey, 1-40.

Şengör, A. M. C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics, 75*, 181-241. https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4

Şengör, A. M. C., Görür, N. & Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip deformation basin formation and sedimentation: Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In Biddle, K.T., Christie-Blick, N., (Eds.), *Strike-slip faulting and basin formation*. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 37*, 227-264. https://doi.org/10.2110/pec.85.37

Şengör, A. M. C., Özeren, S., Genç, T. & Zor, E. (2003). East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters, 30*(24) Article 8045. https://doi.org/10.1029/2003GL017858

Şengör, A. M. C., Özeren, M. S., Keskin, M., Sakınç, M., Özbakır, A. D. & Kayan, İ. (2008). Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens. *Earth-Science Reviews, 90*(1), 1-48. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.05.002

Şengör, A. M. C. (2017). Diversion of River Courses Across Major Strike-Slip Faults and Keirogens. In Çemen, İ. & Yılmaz, Y. (Eds.), *Active Global Seismology: Neotectonics and Earthquake Potential of the Eastern Mediterranean Region* (pp.: 93-101). Geophysical Monograph Series, 225. https://doi.org/10.1002/9781118944998.ch3

Şengör, A. M. C., Zabcı, C. & Natal'in, B. A. (2019). Continental Transform Faults: Congruence and Incongruence with normal plate kinematics. In Duarte, J. C, (Ed.), *Transform Plate Boundaries and Fracture Zones* (pp.: 169-247) Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812064-4.00009-8

Tatar, O., Piper, J. D. A. & Gürsoy, H. (2000). Palaeomagnetic study of the Erciyes sector of the Ecemiş Fault Zone: neotectonic deformation in the southeastern part of the Anatolian Block. In: Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. *Geological Society, London,*

Special Publications, 173, 423-440. https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2000.173.01.20

Woodside, J.M., Mascle, J., Zitter, T.A.C., Limonov, A.F., Ergün, M., Volkonskaia, A. & shipboard scientist of the PRISMED II Expedition. (2002). The Florence Rise, the western bend of the Cyprus Arc. *Marine Geology, 185*, 177-194. https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00194-9

Yetiş, C. (1978). *Çamardı (Niğde ili) yakın ve uzak dolayının jeoloji incelemesi ve Ecemiş yarılım kuşağının Maden Boğazı – Kamışlı arasındaki özellikleri* [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, 151s.

Yıldırım, C., Sarıkaya, M. A. & Çiner, A. (2016). Late Pleistocene intraplate extension of the Central Anatolian Plateau, Turkey: Inferences from cosmogenic exposure dating of alluvial fan, landslide, and moraine surfaces along the Ecemiş Fault Zone. *Tectonics, 35*, 1446-1464. https://doi.org/10.1002/2015TC004038

Yılmaz, Y. (1993). New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. *Geological Society of America Bulletin, 105*(2), 251-271. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1993)105<0251:NEAMOT>2.3.CO;2

Yusufoğlu, H. (2013). An intramontane pull-apart basin in tectonic escape deformation: Elbistan Basin, Eastern Taurides, Turkey. *Journal of Geodynamics, 65*, 308-329, https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.05.012

Türkiye Jeoloji Bülteni
Geological Bulletin of Turkey
69 (2026) 73-88
doi:10.25288/tjb.1740049

Sedimantolojik Proksilere Göre Potansiyel Toksik Element Kaynaklı Ekolojik Risk Seviyesinin Analizi: Gölyazı Litoral Zonu (Uluabat Gölü – Bursa) Örneği

Analysis of Ecological Risk Levels Due to Potential Toxic Elements Based on Sedimentological Proxies: Gölyazı Littoral Zone (Uluabat Lake – Bursa) Example

Buse Öğreten[1], Ahmet Evren Erginal[2*], Şakir Fural[3]
Serkan Kükrer[4], Erdal Öztura[2]

[1] Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Coğrafya Eğitimi Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye
[2] Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi Bölümü, Çanakkale, Türkiye
[3] Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen – Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kırşehir, Türkiye
[4] İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

• Geliş/Received: 11.07.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 01.10.2025 • Kabul/Accepted: 02.10.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 14.11.2025 • Baskı/Printed: 31.01.2026

Araştırma Makalesi/Research Article *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Öz: Biyoçeşitlilik açısından oldukça önemli olan göl ekosistemlerinde son yıllarda hızla artan antropojenik faaliyetlerin yol açtığı degradasyonel değişimler dikkat çekmektedir. Göl ekosistemlerindeki ortam bozulmasında potansiyel toksik element (PTE) kontaminasyonunun rolü oldukça fazladır. Bu çalışma Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biri olan Uluabat (Apolyont) Gölü'nde yer alan ve üzerinde Gölyazı yerleşmesinin yer aldığı tombolo kıyılarındaki ekolojik riske odaklanmıştır. Tombolo kıyısı boyunca göl tabanından alınan sediment örneklerinin organik karbon ve klorofil bozunma ürünleri analizleri yanı sıra ICP-MS ile belirlenen PTE değerlerinden zenginleşme faktörü (EF), kontaminasyon faktörü (CF), modifiye kontaminasyon faktörü (mCD), toksik risk indeksi (TRI), kirlilik yük indeksi (PLI), ekolojik risk indeksi (mER) ve potansiyel ekolojik risk indeksi (PER) hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen verilere göre; göl sedimentlerinde PTE konsantrasyonu açısından Fe (29.200) > Al (21.500) > Mn (962) > Ni (256) > Cr (101) > Zn (90)> As (39) > Pb (37) > Cu (31) > Co (20) şeklinde bir sıralanma söz konusudur. EF verilerine göre PTE'lerin zenginleşme düzeyi Ni (10,31) > As (8,24) > Pb (5.05) > Mn (3,12) > Cr (3,08) > Co (2,81) > Zn (2,58) > Fe (2,30) > Cu (1,88) şeklindedir. PTE kaynaklı ekolojik risk seviyesi Ni (51), Co (41), Pb (25), As (24), Cu (10) olup ortalama potansiyel ekolojik risk seviyesi 161'dir. Gölyazı yerleşmesi çevresindeki litoral zonda Cu hariç diğer tüm PTE'ler belirli miktarda zenginleşmiştir. Göldeki en riskli ekolojik risk kaynağı Ni olarak belirlenmiştir. Orta derecede ekolojik risk tespit edilen göldeki başlıca antropojenik risk kaynakları tarım, endüstri ve yerleşme atıklarıdır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik risk, göl ekolojisi, potansiyel toksik element kontaminasyonu, sedimantoloji, limnoloji, Uluabat Gölü.

Abstract: *Degradational changes caused by rapidly increasing anthropogenic activities in recent years in lake ecosystems, which are crucial for biodiversity, have attracted attention. Potentially toxic element (PTE) contamination plays a significant role in environmental degradation in lake ecosystems. This study focused on the ecological risk along the tombolo shores of Lake Uluabat (Apolyont), one of Turkey's important wetlands, where*

Yazışma / *Correspondence:* aerginal@comu.edu.tr, aerginal@gmail.com

http://tjb.jmo.org.tr
http://dergipark.gov.tr/tjb

Gölyazı settlement is located. Sediment samples taken from the lake bottom along the tombolo shore were analysed for organic carbon and chlorophyll degradation products. Furthermore, the enrichment factor (EF), contamination factor (CF), modified contamination factor (mCD), toxic risk index (TRI), pollution load index (PLI), ecological risk index (mER), and potential ecological risk index (PER) were calculated using PTE values determined by ICP-MS. Based on the obtained data, the PTE concentration in lake sediments is in the following order: Fe (29200) > Al (21500) > Mn (962) > Ni (256) > Cr (101) > Zn (90)> As (39) > Pb (37) > Cu (31) > Co (20). According to EF data, the enrichment level of PTEs is Ni (10.31) > As (8.24) > Pb (5.05) > Mn (3.12) > Cr (3.08) > Co (2.81) > Zn (2.58) > Fe (2.30) > Cu (1.88). The ecological risk level from PTEs is Ni (51), Co (41), Pb (25), As (24), Cu (10) and the average potential ecological risk level is 161. In the littoral zone around Gölyazı settlement, all PTEs except Cu are enriched to a certain extent. Ni was identified as the ecological risk source with highest risk in the lake. The main anthropogenic risk sources in the lake, where a moderate ecological risk was identified, are agricultural, industrial, and settlement wastes.

Keywords: *Ecological risk, lake ecology, potential toxic element contamination, sedimentology, limnology, Uluabat Lake.*

GİRİŞ

Antropojenik etkiler ve litolojik kaynaklar ile zenginleşerek ekosistem ve insan sağlığına zarar verme riskine sahip metaller potansiyel toksik element (PTE) olarak tanımlanmaktadır. PTE'ler yerkabuğunu oluşturan temel bileşenler arasındadır ve doğal konsantrasyon seviyesinde olduklarında canlı yaşamı açısından önemlidir. Ancak, PTE'lerin antropojenik kaynaklar ve başta litolojik özellikler gibi doğal faktörler nedeniyle zenginleşmesi ekosistem üzerinde telafisi oldukça zor olan yıkımlara neden olmaktadır (Fural vd., 2020). İnsanların doğal çevreye verdiği zarar arttıkça potansiyel toksik element (PTE) kaynaklı ekolojik bozulma başta olmak üzere önemli düzeyde çevre sorunları ortaya çıkmaktadır. Bahsi geçen sorunlar doğal biyomların hızla bozulmasına neden olmaktadır.

Ekolojik risk bütün ekosistemleri etkileyen küresel ölçekli bir problemdir. Yapılan araştırmalar PTE'lerin antropojenik etkilerden uzak olduğu düşünülen derin okyanus *(6–10 km derinlik)* sedimentlerinde dahi yüksek konsantrasyon seviyesine ulaşabildiğini göstermiştir (Sanei vd., 2021). Bu durum, PTE kaynaklı ekolojik sorunların yayılış alanları ve ekolojik etki düzeylerinin boyutunu ortaya çıkarmaktadır.

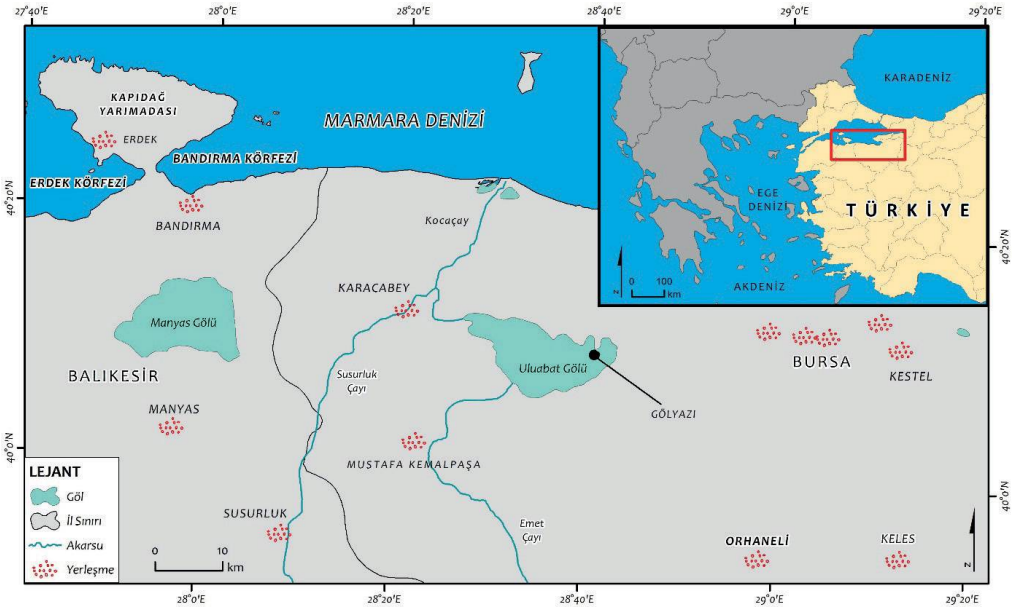
Türkiye'nin içinde yer aldığı Akdeniz havzası, doğal ortam koşulları gereği su zengini değildir (Fural vd., 2020). Su stresi çeken ve su kıtlığına doğru sürüklenen Türkiye'nin mevcut su kaynaklarını en iyi şekilde koruması gerekmektedir. Çünkü; antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan çevre sorunları Türkiye'deki sulak alan sedimentlerinde dikkatle izlenmesi gereken düzeyde bir çevre sorunu haline gelmiştir (Kükrer vd., 2015, 2019; Uludağ vd., 2018; Fural vd.,2020, 2021; Aykır vd., 2023; Ustaoğlu vd., 2022; Tekiner vd., 2025).

Güney Marmara'daki önemli göllerden biri olan Uluabat Gölü 1998 yılında Ramsar alanı olarak ilan edilmiş ve koruma altına alınmıştır (Hacısalihoğlu ve Karaer, 2004). Fakat inceleme alanında yapılan geçmiş araştırmalar gölün PTE bakımından ekolojik riskler taşıdığını rapor etmiştir. Gölyazı kıyıları da dahil olmak üzere gölün 6 farklı kesiminden alınan örneklerde Pb, Cd, Zn ve Fe bakımından yüksek kontaminasyon seviyeleri belirlenmiştir (Barlas vd., 2005). Bunun yanında, göl suyundaki PTE'lerin (Cd, Cr, Pb, Cu, Ni ve Zn) gölde yaşayan baskın zoobentik türlerin bünyelerine geçtiğine dair kayıtlar (Arslan vd., 2010) bulunması Uluabat Gölü'ndeki ekolojik risk seviyesinin belirli periyotlar ile analiz edilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca gölün yakın çevresindeki akarsu havzalarında yapılan bilimsel çalışmalar doğal ve antropojenik kaynaklı PTE kontaminasyonuna dikkat çekmektedir (Aykol vd., 2003; Sarı, 2008).

Uluabat Gölü içindeki bir tombolo konumunda olan Gölyazı Köyü kıyılarında litoral zon sınırları içerisindeki PTE kaynaklı ekolojik risklerin izlenmesi kapsamında hazırlanan bu çalışmanın amacı; Uluabat Gölü'nün Gölyazı köyü kıyılarında sulak alanı tehdit eden PTE içeriklerinin yarattığı ekolojik risk seviyesini belirlemek ve tespit edilen sorunlar için çözüm önerileri sunmaktır.

Çalışma Sahasının Konumu ve Genel Coğrafi Özellikleri

Türkiye'nin yüzölçümü açısından 10. büyük gölü olan Ulubat Gölü tektonik kökenli bir tatlı su gölü olup, Bursa'nın Karacabey ilçesinde yer alır (Şekil 1). Gölün yüzölçümü yaklaşık 134 km^2, deniz seviyesinden yüksekliği 5 metre, derinliği ise ortalama 3, maksimum 4 metredir (Hoşgören, 1994). Doğu-batı yönde 23-24 km uzunluk ve kuzey-güney yönde 12 km kadar genişliğe sahip olan gölün ana besleyeni 10.414 km^2 drenaj alanına sahip olan Mustafakemalpaşa Çayı'dır. Mustafakemalpaşa Çayı göl tabanında 0,20 cm/yıl oranında sediment birikimine neden olmaktadır (Kazancı vd., 2004). Yüksek sayılabilecek siltasyon düzeyi, klimatik kuraklık ve antropojenik faktörlerden dolayı Uluabat Gölü'nün yüzey alanında son yıllarda daralma yaşanmaya başlanmıştır. Bu alan kaybının 1987 ve 2023 yılları arasında 12,60 km² (%6) olduğu belirlenmiştir (Kuşçu, 2024). Gölün çevresinin tarım arazilerinden oluşmasının yanı sıra sanayi ve evsel atıkların göldeki su ve sediment kalitesi üzerinde olumsuz etkileri büyüktür (Çelik, 2000). Özellikle Mustafakemalpaşa Çayı'nın göle ağır bir kirlilik yükü taşıdığı yapılan bilimsel çalışmalar ile tespit edilmiştir. Bahsi geçen çalışma kapsamında; askıda katı madde (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI), amonyum azotu (NH4-N), nitrat azotu (NO3-N), toplam azot (TN), fosfat fosforu (PO4-P) ve toplam fosfor (TP) parametreleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre Mustafakemalpaşa Çayı'nın yan kolu olan Akçalar Deresi'nin göle belirtilen miktarda kirletici yükü taşıdığı (TN:19.6 ton/yıl; TP:0,3 ton/yıl; KOI:74 ton/yıl; BOI:50,5 ton/yıl; AKM:41,4 ton/yıl) belirlenmiştir (Hacısalihoğlu ve Karaer, 2020).



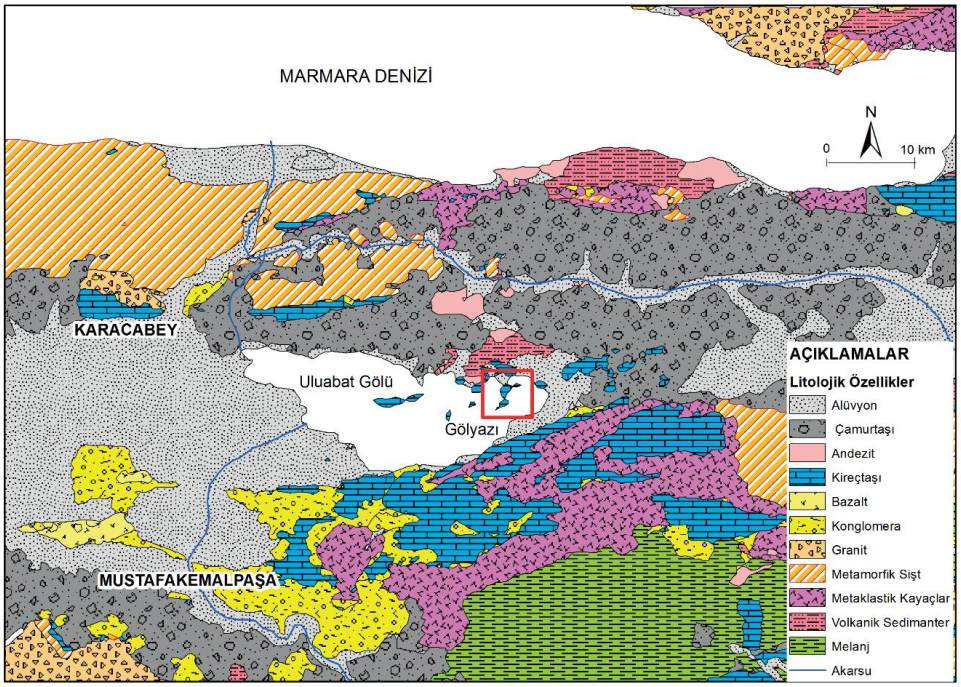
Şekil 1. Araştırma sahasının konumu.
Figure 1. *Location of the study area.*

Yapısal jeoloji bakımından tektonik bir göl olan Uluabat Gölü'nün yakın çevresindeki jeolojik istif tabandan yukarıya doğru Paleozoyik yaşlı Serkedere metamorfitleri, Mesozoyik yaşlı bazik volkanikler, metadetritik radyolaritler, sığ deniz çökelleri ve kireçtaşlarından oluşan sedimanlar, kumtaşı, radyolarit ve çörtle birlikte bazik-ultrabazik kayaç grubu, daha sonra Senozoyik yaşlı Çataldağ graniti ile karasal çökellerden oluşmaktadır (Şekil 2). Uluabat Gölü Miyosen sonrası tektonik aktiviteye bağlı olarak çek-ayır havza tipindeki bir ortamda faylanmaya bağlı olarak oluşmuştur (Çelenli, 2000).

MATERYAL ve METOT

Sediment Örnekleme

Potansiyel toksik element kaynaklı ekolojik risk analizleri için Gölyazı Köyü'nün bulunduğu yarımada boyunca kıyı çizgisini saat yönünde 5 - 10 metre açıktan takip ederek litoral zondan eşit aralıklarla 10 farklı noktadan Van Ven Grap kullanılarak sediment örneği alınmıştır. Örnekler kilitli poşetlere koyularak numaralandırılmış ve +4 ºC saklama koşullarında laboratuvara ulaştırılmıştır. Toplam organik karbon tayini (TOC) Walkley Black Titrasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Walkley ve Black, 1934; Gaudette vd., 1974). Yaş örneklere aseton ekstraksiyonu yapılarak spektrofotometrik metotla Klorofil Bozunma Ürünleri (Chl-A) analizi gerçekleştirilmiştir (Lorenzen, 1971). PTE içerikleri ICP-OES ile Bureau Veritas Ankara Laboratuvarlarında AQ200 paketi kullanılarak analiz edildi.



Şekil 2. Uluabat Gölü ve yakın çevresinde mostra veren birimlerin dağılımını gösterir harita (Kandemir vd., 2013'ten değiştirilerek hazırlanmıştır).
Figure 2. *Distribution of outcropping units around Lake Uluabat (modified from Kandemir et al., 2013).*

Analitik Prosedürler

PTE'lerin antropojenik kaynaklardan ne düzeyde etkilendiğinin tespit edilmesi amacıyla zenginleşme faktörü (EF) hesaplandı. EF hesaplamasında sediment içerisinde tane boyundan kaynaklanan hatanın en aza indirilmesi için yerkabuğunun ana bileşenlerinden olan Fe konservatif element olarak kullanıldı. Fe ise bir diğer konservatif element olan Al ile normalize edildi (Zhang vd., 2016).

EF şu formül ile hesaplanmaktadır (1):

$$EF = \frac{\left(\frac{C_i}{C_{ref}}\right)Örnek}{\left(\frac{B_1}{B_{ref}}\right)ardalan} \quad (1)$$

Formülde; Ci çalışılan PTE'nin sedimentteki konsantrasyonu, C_{ref}, normalizasyon için kullanılan Fe'nin konsantrasyonunu, Bi PTE'nin bölgesel ardalan değerini, B_{ref} ise normalizasyon için Fe'nin ardalan değerini temsil etmektedir.

EF'nin değerlendirilmesinde Sutherland (2000) skalası kullanılmıştır. Bu skalaya göre; EF < 2 minimal zenginleşmeyi, EF = 2-5 orta düzeyli zenginleşmeyi, EF = 5-20 önemli düzeyde zenginleşmeyi, EF = 20-40 çok yüksek düzeyde zenginleşmeyi ve EF > 40 ise aşırı yüksek düzeyde zenginleşmeyi göstermektedir.

Sedimentteki PTE konsantrasyonunda olası insan etkisini belirlemek amacıyla kullanılan Kontaminasyon faktörü (CF) ve aşağıdaki formülle (2) hesaplandı;

$$CF = C_i - C_{ni} \quad (2)$$

CF, mevcut PTE konsantrasyonunun ardalan olarak kullanılan PTE konsantrasyonuna bölünmesiyle hesaplanır. Formülde; Ci, element konsantrasyonu, Cni ise elementin ardalan değerine karşılık gelmektedir. Hakanson (1980)'a göre CF; düşük kontaminasyon (CF<1), orta düzeyli kontaminasyon (1≤CF<3), yüksek kontaminasyon (3≤CF<6) ve çok yüksek kontaminasyon (CF>6) şeklinde değerlendirilir.

CF verilerinin teyit edilmesi için mCd geliştirilmiştir (Abrahim ve Parker, 2008). mCd şu şekilde hesaplanmaktadır (3):

$$mCd = \frac{\sum_{i=l} nCF}{n} \quad (3)$$

Formülde, CF kontaminasyon faktörü; n ise analizde kullanılan element sayısıdır. mCd bulguları şu şekilde değerlendirilmektedir; mCd <1,5 çok düşük, 1,5 <mCd <2 düşük, 2 < mCd <4 orta, 4 < mCd <8 yüksek, 8 < mCd <16 çok yüksek, 16 < mCd < 32 aşırı derece yüksek ve mCd > 32 ultra yüksek kontaminasyon (Abrahim ve Parker, 2008).

Sedimentin PTE kaynaklı kirlilik yükünü belirlemek amacıyla kirlilik yük indeksi (PLI) kullanılmaktadır (Tomlinson vd., 1980). PLI şu şekilde hesaplanmaktadır (4):

$$PLI = (CF1 \times CF2 \times ...CFn)\ 1/n \quad (4)$$

Formülde; CF kontaminasyon faktörünü, n analizde kullanılan PTE sayısını temsil etmektedir. PLI verileri; 0 ise kirlilik riski yok olarak kabul edilmiş, ancak 1 değerinin aşılması durumunda gelecekte kirlilik riski ortaya çıkacağı şeklinde yorumlanmaktadır (Tomlinson vd., 1980).

Sediment bünyesinde biriken PTE'lerin ekosistem üzerindeki potansiyel toksik etkileri hakkında değerlendirme yapmak için ise yine Hakanson (1980) tarafından geliştirilen potansiyel ekolojik risk indeksi kullanılmıştır. Her PTE için ayrı hesaplanan ekolojik risk faktörü (mER) ve tüm PTE'lerin entegre risk seviyesini ifade eden potansiyel ekolojik risk faktörü (PER) aşağıdaki formülle (5) hesaplanmaktadır (Hakanson, 1980; Zhang vd., 2016).

$$mER = E \times T \quad (5)$$

Formülde kullanılan mEri her PTE için ayrı hesaplanan risk faktörünü, E, zenginleşme faktörünü, T ise her PTE için farklı toksisite katsayısına karşılık gelmektedir.

PTE'ler için kullanılan toksisite katsayıları şunlardır: Hg-40, Cd-30, As T-10, Cu-Pb-Ni-Co-5, Cr-V-2 ve Zn-Mn-1 (Hakanson, 1980).

mER verileri Hakanson (1980)'a göre; düşük potansiyel ekolojik risk (mER < 40), orta düzeyli potansiyel ekolojik risk (40 mER < 80), önemli potansiyel ekolojik risk (80 mER< 160), yüksek potansiyel ekolojik risk (160 ≤ mER < 320) ve çok yüksek potansiyel ekolojik risk (mER 320) şeklinde değerlendirilmektedir.

$$PER = \Sigma\, mER \quad (6)$$

Potansiyel ekolojik risk (PER) toplam ekolojik risk seviyesini ifade etmektedir. PER verileri Hakanson (1980)'a göre; düşük ekolojik risk (PER <150), orta düzeyli ekolojik risk (150 PER <300), önemli ekolojik risk (300 PER <600) ve çok yüksek ekolojik risk (PER > 600) şeklinde değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Potansiyel Toksik Element Konsantrasyonu

PTE konsantrasyonları ortalama değerlere göre Fe (29.201 ppm) > Al (22.120 ppm) > Mn (962 ppm) > Ni (256 ppm) > Cr (101 ppm) > Zn (90 ppm) > As (39 ppm) > Pb (37 ppm) > Cu (31 ppm) şeklinde sıralanmaktadır (Çizelge 1).

Gölyazı litoral zonunda tespit edilen PTE konsantrasyonları mevcut literatürden rastgele seçilen bazı doğal göller ile karşılaştırıldığında özellikle As, Cr, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonlarının dikkate değer şekilde yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 2).

Bowen (1979) ve Wedepohl (1978) tarafından yapılan araştırmalarda yerkabuğu Ni ortalaması 80 ppm, sığ su sedimanları Ni ortalaması ise 35 ppm olarak belirtilmektedir. Ultrabazik kayaçlarda 2000 ppm, baziklerde 134 ppm, siyenitlerde 4 ppm, granitlerde 8 ppm seviyelerinde Ni vardır (Çelenli, 2000). Ortalama değerler ile inceleme alanının değerleri karşılaştırıldığında elde edilen bulgular göldeki Ni kontaminasyonuna dikkat çekmektedir. Volkanik kayaç formasyonları önemli derecede Ni kaynağıdır. Bu durumda göldeki Ni kaynağı muhtemelen litojeniktir. Ancak, taşınım fazları belirlenmediği için bu ifade sınırlı bir yorum olarak değerlendirilmelidir.

Çizelge 1. PTE'lerin örnekleme noktalarındaki konsantrasyon seviyesi (ppm).
Table 1. *Concentration levels of PTEs at sampling points (ppm).*

PPM	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Cr	Al
ST 1	33	42	92	263	20	912	29.900	38	103	27.000
ST 2	31	34	90	248	19	983	29.100	46	101	22.200
ST 3	31	34	85	230	18	1035	26.800	49	93	21.300
ST 4	31	36	94	263	20	992	30.200	36	106	23.000
ST 5	32	35	96	277	21	927	31.700	33	111	24.300
ST 6	33	33	97	278	21	932	31.710	34	111	24.500
ST 7	29	33	83	240	18	964	27.600	43	95	19.700
ST 8	28	32	81	239	18	1020	27.000	40	92	18.800
ST 9	28	40	84	248	19	912	27.000	35	93	18.800
ST 10	32	49	93	272	21	945	31.000	33	107	21.600
ORT	31	37	90	256	20	962	29201	39	101	22120

Çizelge 2. PTE'lerin ortalama konsantrasyon seviyelerinin (ppm) diğer sulak alanlar ve kıtasal kabuk değerleri ile karşılaştırılması.

Table 2. *Comparison of average concentration levels of PTEs (ppm) with values from other wetlands and continental crust.*

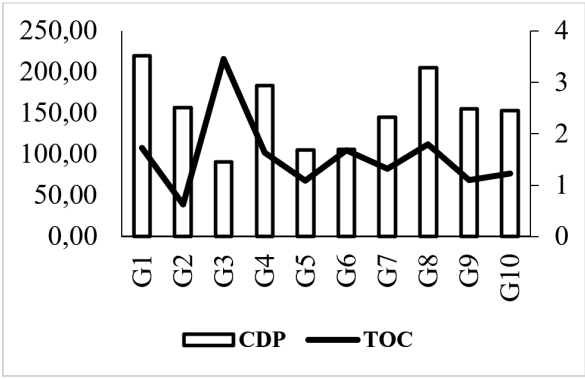
	Kaynak	Al	As	Cu	Cr	Co	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Uluabat Gölü	Bu Çalışma	22.120	38	33	103	20	29.201	912	263	42	92
Uluabat Gölü	Barlas vd., 2005			0,75	2,95					1,42	3,89
Sapanca Gölü	Çalışkan, 2017			26,68	19,09			337,81	26,72	15,20	62,00
Hazar Gölü	Özmen vd., 2004			24	35		18.500	423	41		49
Çıldır Gölü	Kükrer vd., 2015	22.583	3,27	30,11	39,57		21.000	781,50	50,12	18,85	64,52
Turekian	Turekian & Wedepohl, 1961		13	45	90		46.700		68	20	95
Taylor's	Taylor & McLennan, 1995		1,8	55	100		56.300		75	12	70
Kirlilik Yok			< 3		<25		< 17.000		<20	<40	<90
Orta Derecede Kirli	USEPA, 2007		3-8		25-75		1.700–25.000		20-50	40-60	90-200
Kirli			8 >		75>		25000>		50 >	60 >	200 >
TEC	Macdonald vd., 1996		9,79		43,4				22,7	35,8	121
PEC			33		111				48,6	128	459

Çelenli tarafından yapılan araştırmalarda Uluabat Gölü sedimentlerinde ortalama 257 ppm Ni tespit edilmiştir (Çelenli, 2000). Mevcut çalışmada göldeki ortalama Ni konsantrasyonu 263 ppm olarak belirlenmiştir. Bu durum elde edilen bulguların geçerli ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

PTE'lerin kıtasal kabuk değerlerini esas alan bazı indekslere göre karşılaştırma yapıldığında; göldeki As seviyesi tüm sınırları aşarak muhtemel etki seviyesini (PEC) dahi geçmiştir. Cr konsantrasyonu tüm eşik değerleri geçerken muhtemel etki seviyesine yaklaşmıştır. Göldeki Ni seviyesi tüm eşik değerlerden 4 katın üzerinde yüksektir. Pb ve Zn konsantrasyonu ise orta derecede kirliliğe işaret etmektedir.

Klorofil Bozunma Ürünleri (CDP) ve Toplam Organik Karbon'un (TOC) mekânsal dağılımları

CDP, sulak alanlardaki birincil üretim süreçlerinin yoğunluğunu temsil etmekle birlikte PTE'lerin sedimente taşınma ve depolanma süreçlerinde etkin rol oynamaktadır. CDP konsantrasyonu yüzey sedimentinde 91- 219 µg/g arasında tespit edilmiş olup ortalama değer 152 µg/g'dır (Şekil 3). CDP'nin mekânsal dağılışı incelendiğinde; maksimum konsantrasyon ST 1'de, minimum konsantrasyon ST 3'te tespit edilmiştir. CDP konsantrasyonunun mekânsal dağılışı Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Sediment örneklerinde CDP ve TOC dağılımı.

Figure 3. *Distribution of CDP and TOC in sediment samples.*

TOC sulak alandaki organik aktivite yoğunluğunu temsil etmekte olup, miktarının yüksek olduğu sulak alanlarda canlı aktivitesindeki artışa işaret etmektedir. Ayrıca PTE'lerin sediment bünyesine girişi ve depolanması açısından da son derece önemli bir işlevi vardır. Araştırma kapsamında Gölyazı Köyü kıyısının litoral zonundaki TOC konsantrasyonu %0,63 – %3,45 arasında olup ortalama değer 1,56'dır. TOC'un örnekleme istasyonlarındaki dağılışı Şekil 3'te sunulmuştur. Türkiye ve dünyada sulak alanlarının ortalama TOC değeri 2 – 3 arasındadır. TOC değerlerine göre gölde genel bir organik kirlilik söz konusu değildir. Ancak 3. Örnekleme noktası ve yakın çevresindeki TOC konsantrasyonu sonraki çalışmalarda izlenmelidir.

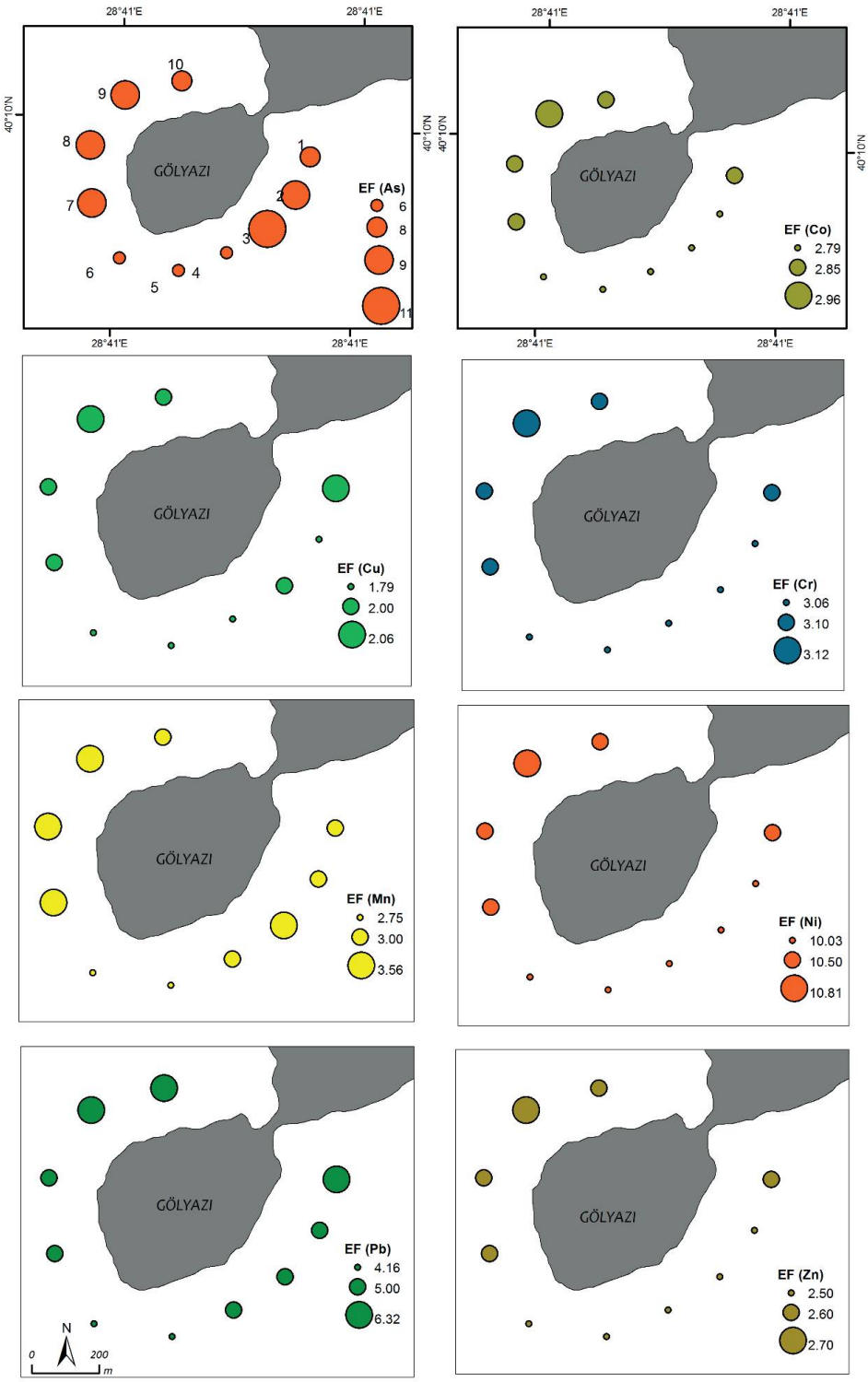
Zenginleşme Faktörünün Mekânsal Dağılışı ve Kontaminasyon Faktörü

PTE'lerin ortalama EF değerleri Ni (10,31) > As (8,24) > Pb (5,05) > Mn (3,12) > Cr (3,08) > Co (2,81) > Zn (2,58) > Fe (2,30) > Cu (1,88) şeklindedir. Ortalama verilere göre inceleme alanında Cu hariç tüm PTE'lerin antropojenik kaynaklardan etkilenerek belirgin düzeyde zenginleştiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Ortalama EF verilerine göre bir değerlendirme yapıldığında; Ni, As, Pb'nin önemli seviyede zenginleştiği, Cu'nun zenginleşmediği, Pb, Mn, Cr, Co, Zn ve Cu'nun orta derecede zenginleştiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Bu veriler Gölyazı kırsal yerleşmesi kıyısında litoral zonda antropojenik kaynakların etkisine işaret etmektedir. PTE zenginleşmesinin mekânsal dağılışı analiz edildiğinde; Gölyazı'nın kuzeyinde belirgin bir zenginleşme artışı gözlenmektedir. Bu durumun nedeni arazi çalışmalarıyla analiz edilmiştir. Arazi çalışmalarından elde edilen bulgulara göre tombolo ve anakaranın kuzeyinde yerleşme faaliyetlerinin daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında tombolonun sap kısmının kuzey ve güneyinde yer alan balıkçı barınakları ve tekneler PTE'lerin zenginleşme seviyesinin artmasına neden olan muhtemel faktörlerdir.

PTE'lerin ortalama CF değerleri Ni (3,76) > As (2,98) > Pb (1,84) > Mn (1,13) > Cr (1,12) > Co (1,03) > Zn (0,94) > Cu (0,68) olarak sıralanmaktadır. Ortalama CF verilerine göre bir değerlendirme yapıldığında; Ni yüksek derecede, As, Pb, Mn, Cr, Co orta derecede, Zn ve Cu düşük derecede kontamine olmuştur. Antropojenik etki değerlendirmesinde kullanılan iki farklı metot konumundaki EF ve CF sonuçları birbiri ile tutarlı durumdadır. PLI değerleri 1,33 – 3,16 arasında değişmekte olup, ortalama 2.18'dir. Ortalama PLI değerine göre Gölyazı kıyıları litoral zon sedimentlerinde PTE kontaminasyonuna bağlı ekolojik risk tespit edilmiştir.

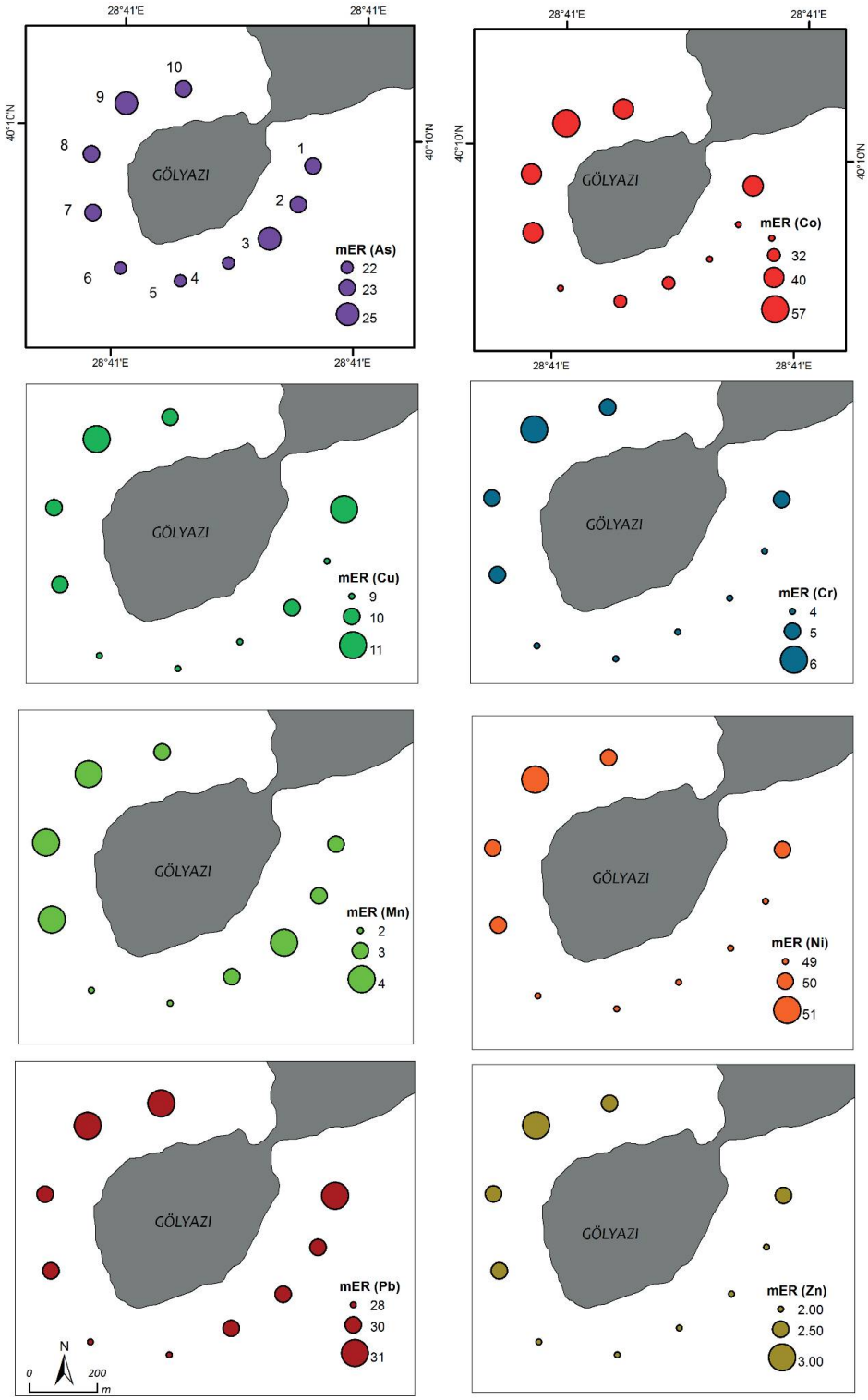
Ekolojik Risk Seviyesinin (mER) Mekansal Dağılışı

mER değerleri Ni (51) > Co (41) > Pb (25) > As (23) > Cu (9) > Cr (5) > Mn (3) > Zn (2) şeklindedir. Bu verilere göre; Ni ve Co önemli derecede ekolojik riskle neden olurken diğer PTE'ler ekolojik riskle neden olmamaktadır (Şekil 5). mER verileri incelendiğinde yüksek risk değerlerinin tıpkı EF değerlerinde olduğu gibi Gölyazı tombolosunun kuzey kıyılarında yoğunlaştığı görülmektedir. Gölün batı kıyılarının nispeten daha derin olması, güney kıyılarında ise anakara tarafından yerleşme baskısının düşük olması ekolojik risk seviyesini azaltan muhtemel nedenler arasındadır.



Şekil 4. PTE zenginleşmesinin mekânsal dağılışı.

Figue 4. *Spatial distribution of PTE enrichment.*



Şekil 5. mER'in mekânsal dağılışı.

Figure 5*. Spatial distribution of mER.*

Modifiye Kontaminasyon Derecesi ve Kirlilik Yük İndeksinin Mekânsal Dağılışı

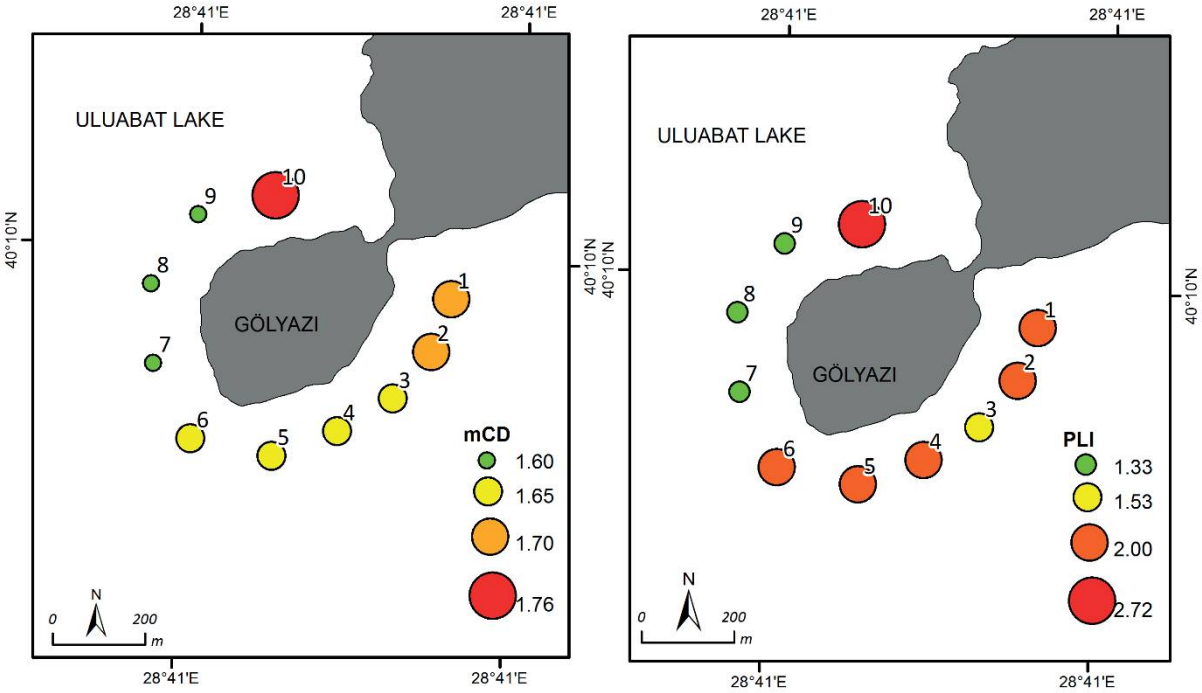
mCD verilerine göre gölde düşük derece PTE kontaminasyonu bulunmaktadır. Ancak 1 – 2 ve 10. örnekleme noktalarındaki nispeten yüksek değerler sonraki çalışmalarda takip edilmelidir. Bahsi geçen örnekleme noktaları balıkçı teknelerinin durduğu alanlardır. Bu nedenle diğer örnekleme noktalarına göre yüksek mCD değerlerinin muhtemel kaynağı teknelerden sızan yağ ve yakıt atıkları olabilir.

PLI değerleri tüm örnekleme noktalarında kirlilik riski olan 1 değerini geçmiş, mCD değerlerinin de maksimuma ulaştığı 10. Örnekleme noktasında pik yapmıştır (Şekil 6). Farklı analitik verilere göre çalışan her iki indeksin de benzer örnekleme noktalarında kirliliğe / kirlilik riskine işaret etmesi dikkat çekicidir. PLI verileri Gölyazı litoral zonunda tüm örnekleme noktalarında PTE kaynaklı kirlilik riski bulunduğuna işaret etmektedir.

Potansiyel Ekolojik Risk (PER) ve Toksik Riskin (TRI) Mekansal Dağılışı

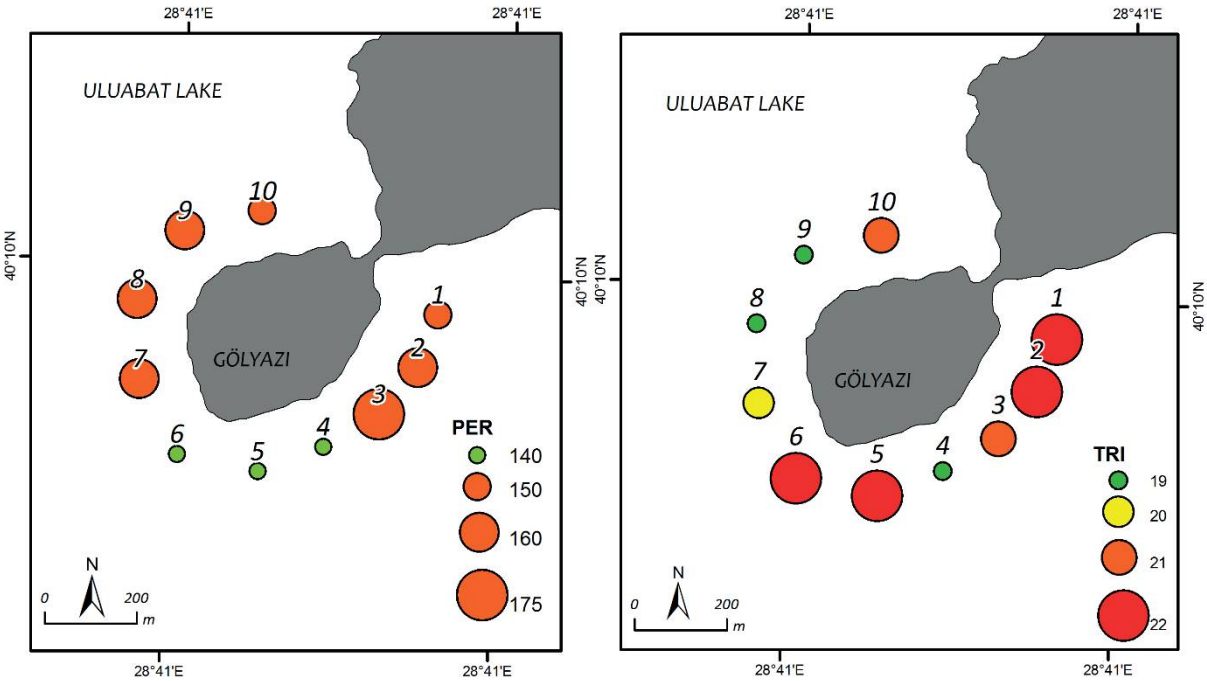
Göldeki ortalama potansiyel ekolojik risk (PER) değeri 161 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular inceleme alanı genelinde ortalama verilere göre orta düzeyde ekolojik risk tehlikesi olduğunu göstermektedir. Potansiyel ekolojik risk seviyesinin mekânsal dağılışı analiz edildiğinde risk seviyesinin tombolonun kuzey ve güneyinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Şekil 7).

TRI değerleri 19,82 - 21,55 arasında değişmektedir. TRI değerlerinin 15-20 arasında olması önemli seviyede toksik riske, 20 ve üzerinde olması ise çok önemli seviyede toksik riske işaret ettiğinden (Zhang vd., 2016) neredeyse tüm örneklerde çok yüksek seviyede toksik risk olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Modifiye Kontaminasyon Derecesi ve Kirlilik Yük İndeksinin mekânsal dağılışı.

Figure 6. *Spatial distribution of the Modified Contamination Degree and Pollution Load Index.*



Şekil 7. Potansiyel Ekolojik Risk ve Toksik Risk İndeksi dağılımları.

Figure 7. *Distributions of Potential Ecological Risk and Toxic Risk Index.*

PTE'lerin toksik riskten sorumluluk sıralaması Ni > As > Cr > Pb > Cu > Zn şeklindedir. Bu durumda doğal kaynaklı olduğu düşünülen Ni ve antropojenik kaynaklı olan As göldeki toksik risk seviyesini arttırmaktadır. Farklı parametrelere göre çalışan ekolojik risk indekslerinin tamamı tombolonun farklı noktalarında, farklı nedenlere bağlı olarak ekolojik sorunların varlığına işaret etmektedir.

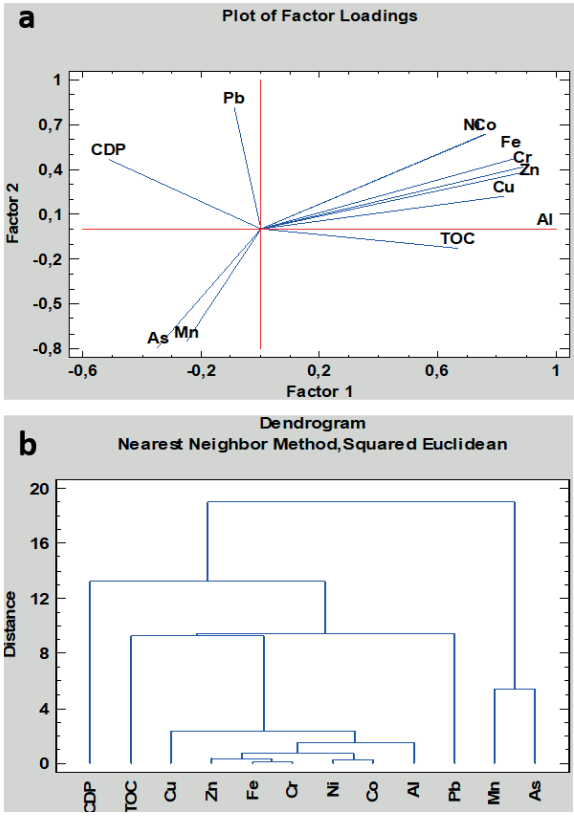
PTE'lerin Taşınma Süreçleri Hakkında İstatistiksel Değerlendirme

Ekolojik risk araştırmalarında potansiyel toksik elementlerin taşınma ve çökelme süreçlerindeki benzerlikleri tanımlamak için temel bileşenler / faktör, cluster ve korelasyon analizi gibi çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılır. PTE'ler iki faktör altında kümelenmiştir. Birinci faktör TOC, Ni, Co, Fe, Cr, Zn, Cu ve Al'den; ikinci faktör ise CDP, Pb, As ve Mn'den oluşmaktadır (Çizelge 3). Bu kümelenme kaynak tanımlamasından çok ortak taşınım süreçlerini ifade etmektedir. Çünkü EF değerleri yüksek PTE'ler farklı kümelerde yer almıştır.

Faktör analizi sonuçları yanı sıra faktör yükleri (Şekil 8a) ve hiyerarşik kümelenme diyagramından (Şekil 8b) şu sonuçlar elde edilmiştir;

- Cu, Zn, Ni, Fe, Co, Cr, Al ortak kaynaklara sahiptir. Bu elementlerin taşınımında organik karbonun rol aldığı düşünülmektedir. Bahsi geçen PTE'ler litojenik kaynaklıdır. Bu elementler genellikle ana kayaçlardan doğal ayrışma süreçleriyle ortama geçer. Ayrıca, Al ve Fe'nin yüksek korelasyon göstermesi, bu faktörün litojenik karakterini desteklemektedir. Dolayısıyla, bu küme, bölgedeki kayaç yapısına bağlı doğal jeokimyasal arka planın bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

- Pb pozitif, As ve Mn ise Pb ile ters yönlü ilişkiye sahip ikinci komponenti oluşturur. Bu elementlerin bitkiler tarafından absorbe edilerek sedimente taşındığı düşünülmektedir.
- Pb ve As gibi elementler genellikle antropojenik kaynaklara bağlı olarak ortamlarda artış gösterir. Göl çevresi önemli bir tarım ve sanayi havzasıdır. Bu kapsamda Pb ve As'nin muhtemel kaynağı tarımda kullanılan pestisitler ve sanayi atıklarıdır.



Şekil 8. a) Faktör yükleri ve (**b**) hiyerarşik kümelenme diyagramı.

Figure 8. a) *Factor loadings and (b) hierarchical clustering dendrogram.*

Çizelge 3. Faktör analizi sonuçları.

Table 3. *Results of factor analysis.*

	Faktör 1	Faktör 2
CDP	-0,51	**0,46**
TOC	**0,66**	-0,12
Cu	**0,82**	0,22
Pb	-0,08	**0,81**
Zn	**0,89**	0,38
Ni	**0,75**	0,63
Co	**0,76**	0,63
Mn	-0,24	**-0,74**
Fe	**0,85**	0,47
As	-0,35	**-0,79**
Cr	**0,88**	0,41
Al	**0,96**	0,02

SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular değerlendirildiğinde; analitik veri ortalamalarına göre (ppm) Gölyazı çevresinde PTE konsantrasyonu Fe (2.920) > Al > (2.150) > Mn (962) > Ni (256) > Cr (101) > Zn (90) > As (39) > Pb (37) > Cu (31) > Co (20) şeklinde sıralanmıştır. Zenginleşme faktörü verilerine göre PTE'lerin antropojenik kaynaklardan etkilenme düzeyi Ni (10,31) > As (8,24) > Pb (5,05) > Mn (3,12) > Cr (3,08) > Co (2,81) > Zn (2,58) > Fe (2,30) > Cu (1,88) şeklindedir. PTE kaynaklı ekolojik risk seviyesi Ni (51) > Co (41) > Pb (25) > As (23) > Cu (9) > Cr (5) > Mn (3) > Zn (2) şeklinde olup ortalama potansiyel ekolojik risk seviyesi 161'dir. Gölyazı tombolosu litoral zonundan elde edilen sedimantolojik kayıtlara göre inceleme alanında belirgin bir ekolojik bozulma söz konusu olmamasına rağmen antropojenik etkiler tespit edilmiştir. Antropojenik etki değerlendirmesi yapan risk indeksleri Ni ve Co PTE'lerinin inceleme alanındaki ekolojik risk seviyesini arttırdığına işaret etmektedir. Sulak alan çevresinde yapılan arazi çalışmaları ve mevcut literatür Co ve Ni kaynağının ise doğal litolojik formasyonlar olabileceğini göstermektedir. Bölgedeki Co yatakları mevcut bulguyu desteklemektedir. Sulak alandaki evsel ve endüstriyel atık kaynaklı olarak

zenginleşen Pb, As ve Mn konsantrasyonları ile muhtemelen litojenik kaynaklı olan Ni ve As konsantrasyonunun artması ekolojik risk seviyesini arttıracağı için gerekli izleme çalışmalarının yapılması şarttır.

EXTENDED SUMMARY

Designated as a Ramsar site in 1998 and granted international protection status, Lake Uluabat and its wetland area are currently facing ecological risks associated with potential toxic elements (PTEs). Along the Gölyazı shores, which are used as a recreational area, visible anthropogenic pressure and pollution are observed, in addition to the deterioration in water and sediment quality at the shallow lake bottom. This study aimed to monitor ecological risks caused by potential toxic elements in the littoral zone located on the tombolo where Gölyazı village is situated. Within the scope of the study, sediment samples were collected from 10 different sampling points along the shoreline using a Van Veen grab sampler. Total organic carbon in sediments was determined by the Walkley–Black titration method, chlorophyll degradation products were analysed with the spectrophotometric method, and PTE contents were measured using ICP–OES.

To determine anthropogenic pollution in the sediment samples, enrichment factor (EF), contamination factor (CF), modified contamination degree (mCd), pollution load index (PLI), and potential ecological risk (PER) indices were calculated. In EF analyses, Fe was used as a conservative reference element, and background values were considered in CF calculations. The obtained data were evaluated according to the scales of Sutherland (2000) and Hakanson (1980). According to the analysis results, PTE concentrations along the Gölyazı shores are ranked as Fe>Al>Mn>Ni>Cr>Zn>As>Pb>Cu>Co. Particularly, Ni, As, Pb, and Cr concentrations were found to be higher than the continental crust and natural lake sediment averages. The Ni concentration, in particular, is at a high level consistent with previous studies, which supports the reliability of the findings.

Based on the obtained data, chlorophyll degradation products (CDP) range between 91–219 µg/g. Total organic carbon (TOC) values range between 0.63% and 3.45%. According to EF values, Ni, As, and Pb are significantly enriched, which can be attributed to settlements and fishing activities concentrated along the northern shores of Gölyazı. CF values similarly indicate that Ni has high contamination level, while As and Pb have moderate contamination levels. The average PLI value is 2.18, indicating a pollution risk at all sampling points.

Ecological risk analyses revealed that Ni and Co elements pose significant ecological risks. According to mER data, the risk increases along the northern shores of the Gölyazı tombolo. The average PER value of 161 indicates a moderate level of ecological risk. Toxic risk index (TRI) values range between 19.82–21.55, demonstrating the presence of a high level of toxic risk in the lake. The effect of PTEs on toxic risk decreases in the following order: Ni>As>Cr>Pb>Cu>Zn.

Statistical analyses indicate that two factor clusters explain the transport processes of PTEs. The first factor consists of Cr, Ni, Co, Fe, Zn, Cu, and Al, representing lithogenic source elements, while the second factor consists of CDP, Pb, As, and Mn, reflecting anthropogenic influences.

KATKI BELİRTME

Bu proje TÜBİTAK 2209-A- Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında gerçekleştirilmiştir. TÜBİTAK'a verdikleri destekten ötürü teşekkür ederiz.

ORCID

Buse Öğreten https://orcid.org/0009-0005-3214-2219

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

Şakir Fural https://orcid.org/0000-0002-1603-2424

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

Erdal Öztura https://orcid.org/0000-0002-3749-1013

KAYNAKLAR / *REFERENCES*

Abrahim, G. & Parker, R. (2008). Assessment of Heavy Metal Enrichment Factors and the Degree of Contamination in Marine Sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment,* 136, 227-238. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9678-2

Arslan, N., Koç, B. & Çiçek, A. (2010). Metal Contents in Water, Sediment, andOligochaeta-Chironomidae of Lake Uluabat,a Ramsar Site of Turkey. *The Scientific World Journal, 10,* 1269–1281. https://doi.org/10.1100/tsw.2010.117

Aykır, D, Fural, Ş., Kükrer, S., Mutlu, Y. E. (2023). Elementbased ecological and human health risk assessment in a lagoon system in a densely populated basin. *Oceanological and Hydrobiological Studies, 52*(1), 1–19. https://doi.org/10.26881/oahs-2023.1.01

Aykol, A., Budakoglu, M., Kumral, M., Gultekin, A. H., Turhan, M., Esenli, V., Yavuz, F. & Örgün, Y. (2003). Heavy metal pollution and acid drainage from the abandoned Balya Pb-Zn sulfide Mine, NW Anatolia. Environmental Geology, 45, 198–208. https://doi.org/10.1007/s00254-003-0866-2

Barlas, N., Ahbab, M. A. & Aydoğan, M. (2005). Assessment of Heavy Metal Residues in the Sediment and Water Samples of Uluabat Lake, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 74*, 286-293. https://doi.org/10.1007/s00128-004-0582-y

Bowen, H. J. M. (1979). *Environmental chemistry of the elements*. Academic, London NY-Toronto.

Çelenli, A. (2000). *Uluabat Gölü Çevre Jeokimyası.* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çelik, G. (2000). *Çevre Yönetiminde Ekolojik Risk Değerlendirmesi ve Uluabat Ramsar Alanı İçin Problem Formülasyonu* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Fural, Ş., Kükrer, S. & Cürebal, İ. (2020). Geographical information systems based ecological risk analysis of metal accumulation in sediments of İkizcetepeler Dam Lake (Turkey). *Ecological Indicators, 119*, Article 106784. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106784

Fural, Ş., Kükrer, S., Cürebal, İ. & Aykır, D. (2021). Spatial distribution, environmental risk assessment, and source identification of potentially toxic metals in Atikhisar dam, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment, 193,* Article 268. https://doi.org/10.1007/s10661-021-09062-6 PMID:33860380 .

Gaudette, H. E., Flight, W. R., Toner, L. & Folger, W. (1974). An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentory Petrology, 44*, 249–253. https://doi.org/10.1306/74D729D7-2B21-11D7-8648000102C1865D

Hacısalihoğlu, S. & Karaer, F. (2004). Ecological Risk Assessment and Problem Formulation for Lake Uluabat, a Ramsar State in Turkey. *Environmental Management, 33,* 899–910.

Hacısalihoğlu, S. & Karaer, F. (2020). Uluabat Gölü Noktasal Kirletici Kaynaklar ve Kirlilik Yükleri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi,* 2, 258-267.

Hakanson, L. (1980). An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: A Sedimentological Approach. *Water Research,* 14, 975-1001. https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8

Hoşgören, M. Y. (1994). Türkiye'nin Gölleri. *Türk Coğrafya Dergisi, 29*, 19-51.

Kandemir, Ö., Pehlivan Ş., Kanar, F.,Tok, T. (2013). *1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Bursa-H21 paftası. No:191*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.

Kazancı, N., Leroy, S., İleri, Ö., Emre, Ö., Kibar, M. & Öncel, S. (2004). Late Holocene erosion in NW Anatolia from sediments of Lake Manyas, Lake Ulubat and the southern shelf of the Marmara Sea, Turkey. *Catena, 57*(3), 277-308. https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.004

Kuşçu, İ. (2024). Uluabat Gölü (Bursa) alansal değişim analizi (1987-2023). *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 10*(2), 87-93.

Kükrer, S., Erginal, A. E., Şeker, S. & Karabıyıkoğlu, M. (2015). Distribution and Environmental Risk Evaluation of Heavy Metal in Core Sediments from Lake Çıldır (NE Turkey). *Environmental MonitoringnAssessment*, *180,* Article 453. https://doi.org/10.1007/s10661-015-4685-1

Kükrer, S., Çakır, Ç., Kaya, H., & Erginal, A. E. (2019). Historical record of metals in Lake Küçükçekmece and Lake Terkos (Istanbul, Turkey) based on anthropogenic impacts and ecological risk assessment. *Environmental Forensics, 20*(4), 385–401. https://doi.org/10.1080/15275922.2019.1657985

Lorenzen, C. J. (1971). Chlorophyll-degradation products in sediments of Black Sea. Degens, E. T. & Ross, D. A. (Eds.), *The Black Sea—Geology, Chemistry, and Biology,* (426–428). *American Association of Petroleum Geologists, Volume 20*. https://doi.org/10.1306/M20377C9

Macdonald, D., Carr, R., Calder, F. & Long, E. (1996). Development and Evaluation of Sediment Quality Guidelines for Florida Coastal Waters. *Ecotoxicology, 5*, 253-278. https://doi.org/10.1007/BF00118995

Özmen, H., Kulahcı, F., Cukurovalı, A. & Dogru M. (2004). Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey). *Chemosphere, 55*, 401–408. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.11.003

Sanei, H., Outridge, P. M., Oguri, K., Stern, G. A., Thamdrup, B., Wenzhöfer, F., Wang, F., & Glud, R. N. (2021). High mercury accumulation in deep-ocean hadal sediments. *Scientific Reports, 11*(1), Article 10970. https://doi.org/10.1038/s41598-021-90459-1 PMID:34040077.

Sarı, E. (2008) Sources and distribution of heavy metals in river sediments from the southern drainage basin of the sea of Marmara, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin, 17*, 2007-2019.

Sutherland, R. A. (2000). Bed Sediment-Associated Trace Metals in an Urban Stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology, 39*, 611- 627. https://doi.org/10.1007/s002540050473

Taylor, S. R. & McLennan, S. M. (1995). The geochemical Evolution of the Continental Crust. *Reviews of Geophysic, 33*(2), 241-265. https://doi.org/10.1029/95RG00262

Tekiner, M., Tunçay, T. & Parlak, M. (2025). Environmental and Ecological Risks Posed by Sediment Heavy Metals in Reservoirs: A Preliminary Study from Northwest Türkiye. *Journal of Agricultural Sciences, 31*(1), 59 – 70. https://doi.org/10.15832/ankutbd.1486524

Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R. & Jeffery, D. W. (1980). Problems in the Assessment of Heavy-Metal Levels in Estuaries and the Formation of a Pollution Index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen, 33*, 566-575. https://doi.org/10.1007/BF02414780

Turekian, K. & Wedepohl, K. (1961). Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *GSA Bulletin, 72*, 175-192. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2

Uludağ, M., Kükrer, S. & Erginal, G. (2018). Anthropogenically-induced ecological risks in Lake Erikli, NW Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics, 5*(3), 273-283. https://doi.org/10.30897/ijegeo.459496

USEPA, (2007). Method 3051a: *Microwave Assisted Acid Dissolution of Sediments, Sludges, Soils, and Oils, Revision 1*. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Ustaoğlu, F., Islam, M. S. & Tokatli, C. (2022). Ecological and probabilistic human health hazard assessment of heavy metals in Sera Lake Nature Park sediments (Trabzon, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences, 15*(7), 1-15. https://doi.org/10.1007/s12517-022-09838-1

Walkley, A. & Black, I. (1934). An Examination of the Degthareff Method far Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science, 37*(1), 29-38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Wedepohl, K. H. (1979). *Handbook of geochemistry*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, NY.

Zhang, G., Bai, J., Zhao, Q., Lu, Q., Jia, J. & Wen, X. (2016). Heavy Metals in Wetland Soils Along a Wetland-Forming Chronose Quence in the Yellow River Delta of China: Levels, Sources and Toxic Risks. *Ecol Indicator, 69,* 331–340. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.042

Türkiye Jeoloji Bülteni
Geological Bulletin of Turkey
69 (2026) 89-102
doi:10.25288/tjb.1748185

Spatial Distribution and Risk Assessment of Microplastics in Surface Sediment: A Case Study in the Gulf of Gemlik, Marmara Sea

Yüzey Sedimentlerinde Mikroplastiklerin Mekansal Dağılımı ve Risk Değerlendirmesi: Marmara Denizi Gemlik Körfezi Örneği

Tuğçe Nagihan Arslan Kaya*

Institute of Marine Science and Management, Istanbul University, Istanbul, Türkiye

• Geliş/Received: 23.07.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 29.09.2025 • Kabul/Accepted: 01.10.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 25.11.2025 • Baskı/Printed: 31.01.2026

Research Article/Araştırma Makalesi *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Abstract: Microplastics have increasingly been recognized as a global pollutant due to their pervasive distribution and potential adverse impacts on marine ecosystems. Microplastics (MPs) were collected from surface sediments at five sites in the Gulf of Gemlik using density separation. The isolated MPs were subsequently identified and characterized with a stereomicroscope and fluorescence microscope. This study provides the first comprehensive assessment of microplastic pollution in the sediments of the Gulf of Gemlik, focusing on their abundance, spatial distribution, and potential ecological risks. The concentration of the MPs ranged from 2,200 to 6,400 items per kilogram of dry weight across the study sites. Fibers were the dominant shape type (58.4%), while black was the most prevalent color (26%). According to the ecological risk assessment, the sediments were classified as moderately to considerably contaminated with MPs. These findings contribute new insights into the occurrence and characteristics of microplastics in the surface sediments of the Gulf of Gemlik and establish a foundation for future research and management strategies aimed at mitigating microplastic pollution.

Keywords: Ecological risk, Gulf of Gemlik, microplastic, microscope examination, Nile Red.

Öz: *Mikroplastikler (MP'ler), yaygın dağılımları ve deniz ekosistemlerine potansiyel zararları nedeniyle giderek artan* şekilde *küresel bir kirletici olarak tanımlanmaktadır. Bu* çalışmada*, Gemlik Körfezi'ndeki beş istasyondan alınan yüzey sedimentlerinden mikroplastikler yoğunluk ayırma yöntemiyle ekstrakte edilmiş; ardından stereomikroskop ve floresan mikroskobu kullanılarak karakterize edilmiştir.* Çalışma*, Gemlik Körfezi sedimentlerindeki mikroplastik kirliliğine ilişkin bolluk, mekânsal dağılım ve potansiyel ekolojik risklere odaklanan ilk kapsamlı değerlendirmeyi sunmaktadır. Araştırma alanında MP miktarı, kuru ağırlık başına 2200 ile 6400 adet/kg arasında değişmektedir. Mikroplastiklerin baskın* şekli *lif (%58,4) ve baskın rengi siyah (%26) olarak belirlenmiştir. Kontaminasyon faktörü (CF) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) esas alındığında, sedimentlerin orta düzeyde ila oldukça kirlenmiş olduğu saptanmıştır. Bu* çalışma*, Gemlik Körfezi yüzey sedimentlerinde mikroplastik varlığına dair yeni bulgular ortaya koymakta olup, gelecekte yapılacak araştırmalar ve mikroplastik kirliliğinin yönetimi ile azaltılmasına yönelik stratejiler için bir temel oluşturmaktadır.*

Anahtar Kelimeler: *Ekolojik risk, Gemlik Körfezi, mikroplastik, mikroskop incelemesi, Nil Red.*

Correspondence / *Yazışma*: tugce.arslan@istanbul.edu.tr

http://tjb.jmo.org.tr
http://dergipark.gov.tr/tjb

INTRODUCTION

Plastic has become a serious environmental issue, realized as a contaminant of emerging concern due to its potential effects on health and biodiversity (Ahmed et al., 2025; Sönmez et al., 2023). MPs are generally classified as plastic pieces or fragments smaller than 5 millimeters in diameter (Hartmann et al., 2019). Owing to their lightweight nature, corrosion resistance, and low cost, plastic materials are widely adopted in various aspects of daily human life (Wang et al., 2019; Sayed et al., 2021). Since the onset of widespread plastic materials in the 1950s, plastics have constituted an increasingly significant portion of marine solid waste, now accounting for up to 80% of ocean plastic observed in various studies (Kershaw, 2016). Microplastics (MPs) in the environment originate from both marine and land-based human activities, including the use of cosmetics, paints, and road materials, as well as inputs from residential areas (Horton et al., 2017), fishing, industrial processes, and the degradation of larger plastic debris (Horton et al., 2017; Kershaw et al., 2019).

Sediments are key repositories for investigating ecological contaminants like microplastics and heavy metals, offering a long-term storage of geochemical properties and structural sediment characteristics (Arslan Kaya et al., 2023). MPs are highly resistant to degradation, and tend to accumulate extensively in sediment layers (Niu et al., 2021), thereby increasing ecological risks (Yin et al., 2023). The deposition of microplastics in bottom sediments is affected by a range of factors, including the distance from contaminants sources, tidal activity, ocean circulation, seabed morphology, coastal landscape features, sediment structure, and water turbidity, among others (Uddin et al., 2021). Consequently, managing MP pollution in sediments is a critical concern that warrants greater research attention.

Numerous studies have investigated microplastic (MP) pollution in the sediments of the Marmara Sea (Yücedağ et al., 2022; Doğruyol et al., 2019; Baysal et al., 2020; Erkan et al., 2021; Belivermiş et al., 2021). Among these, Yücedağ et al. (2022) specifically focused on the Gulf of Gemlik; however, their sampling was limited to the eastern part of the gulf. To date, no comprehensive study has been conducted covering the broader Gulf of Gemlik, which is a densely populated area with significant levels of industrialization and anthropogenic activity, including swimming and camping.

This is the first study to investigate MPs in 5 different stations in the open area of the Gulf of Gemlik. These stations were specifically selected based on the circulation system of the Marmara Sea and the expected accumulation patterns of microplastics (MPs) associated with this system. Hence, this study aimed (1) to determine the abundance and spatial distribution of microplastics (MPs), (2) to identify their shapes, colors, and size ranges, and (3) to assess their potential ecological risks using the pollution load index and contamination factor.

METHODOLOGY

Geology of the Study Area

The southern shores of the Marmara Sea are composed of formations of different ages and characteristics, which are tectonically sutured together (Şengör et al., 1985). In the southern drainage basin of the Marmara Sea, the Pontide and Sakarya zones, the İzmir–Ankara suture belt, and sedimentary rocks presumed to be of Miocene age are present. The tectonic units in the study area and its surroundings include the Istanbul Zone, the Sakarya Zone, the Thrace Basin, the Rhodope-Istranca massif, the Kırşehir massif, and the Tauride block (Yılmaz et al., 1997; Okay et al., 1996). The basement rocks are widely exposed along the coastal region, including areas such as

the Marmara Islands, the Kapıdağ and Armutlu Peninsulas, as well as Karabiga, Kurşunlu, Mudanya, and Gemlik (Vardar et al., 2014). Holocene units, primarily composed of clastic alluvial deposits, are predominantly exposed along the Kocasu River and its tributary system (Figure 1). The Gulf originated as a pull-apart basin during the late Pliocene to early Pleistocene, primarily formed by westward-trending dextral (right-lateral) strike-slip faults along the central segment of the North Anatolian Fault Zone (Yaltırak and Alpar 2002; Yaltırak et al., 2005).

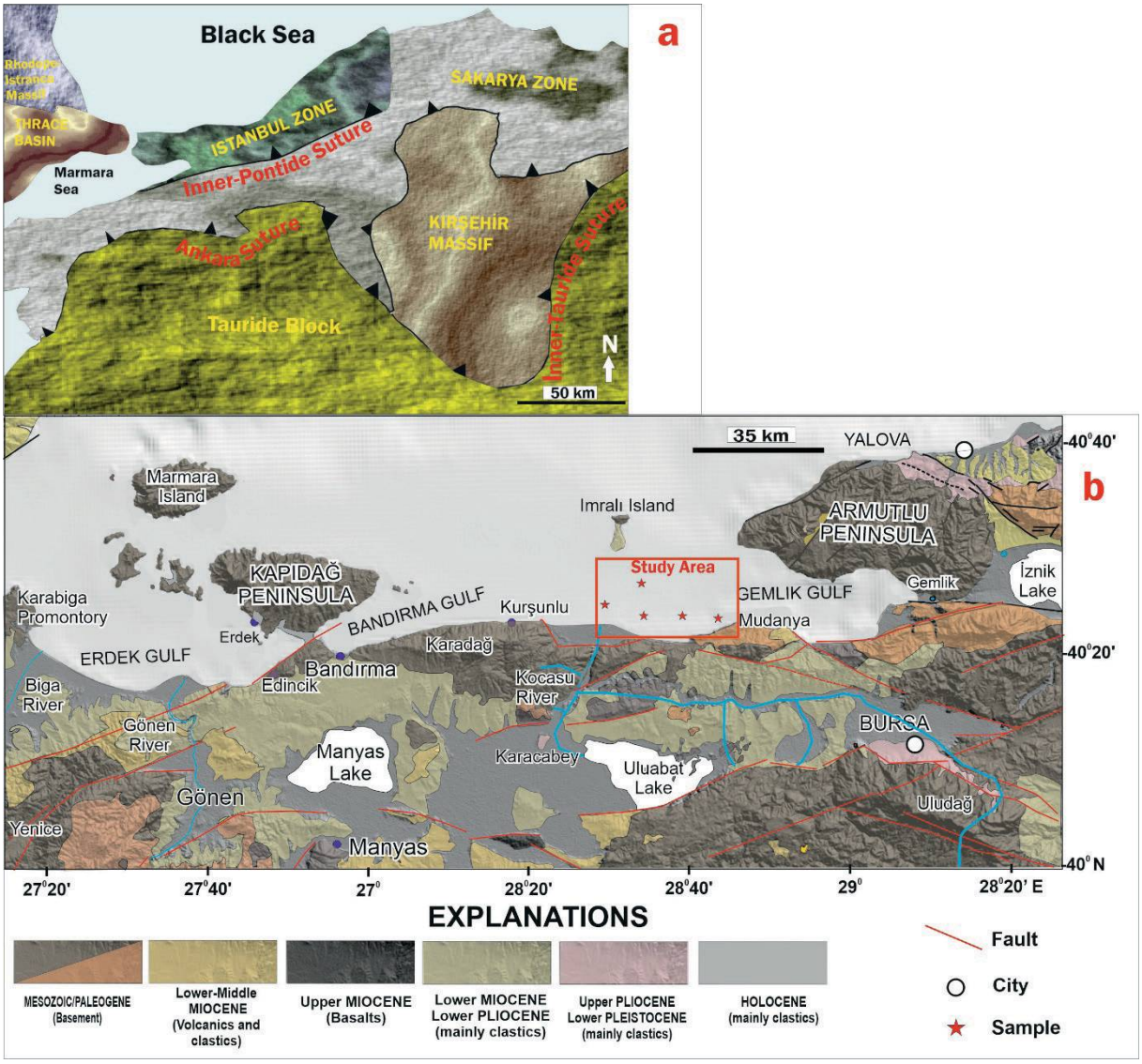


Figure 1. Generalized geological map of the study site and nearby regions (reproduced from; **a)** Okay and Tüysüz, 1999; **b)** Vardar et al., 2014).

Şekil 1. *Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş jeolojik haritası* ***(a)*** *Okay ve Tüysüz, 1999 ve* ***b)*** *Vardar vd, 2014'ten uyarlanmıştır).*

Sampling

The study area is an area of approximately 165 km^2 surrounding from the southeastern to southwestern coasts between Mudanya and Kurşunlu, and from the northeastern to northwestern coasts between Armutlu and Imralı Island (Figure 2). Samples were collected from five distinct sites within the study area using a van Veen grab of R/V Alemdar II of Istanbul University. The sediments were collected in May 2019 from stations S1 (-32 m), S2 (-52 m), S3 (-34 m), S5 (-39 m), and S8 (-51 m) (Figure 2, Table 1).

Table 1. Sample depth and location coordinates.

Çizelge 1. *Örnek derinliği ve konum koordinatları.*

Station	Depth (m)	Coordinate
S1	-32 m	40°25'30.95"N 28°31'57.54"E
S2	-52 m	40°27'15.26"N 28°36'22.53"E
S3	-34 m	40°24'14.64"N 28°36'12.64"E
S5	-39 m	40°24'30.00"N 28°40'39.90"E
S8	-51 m	40°24'53.00"N 28°44'58.85"E

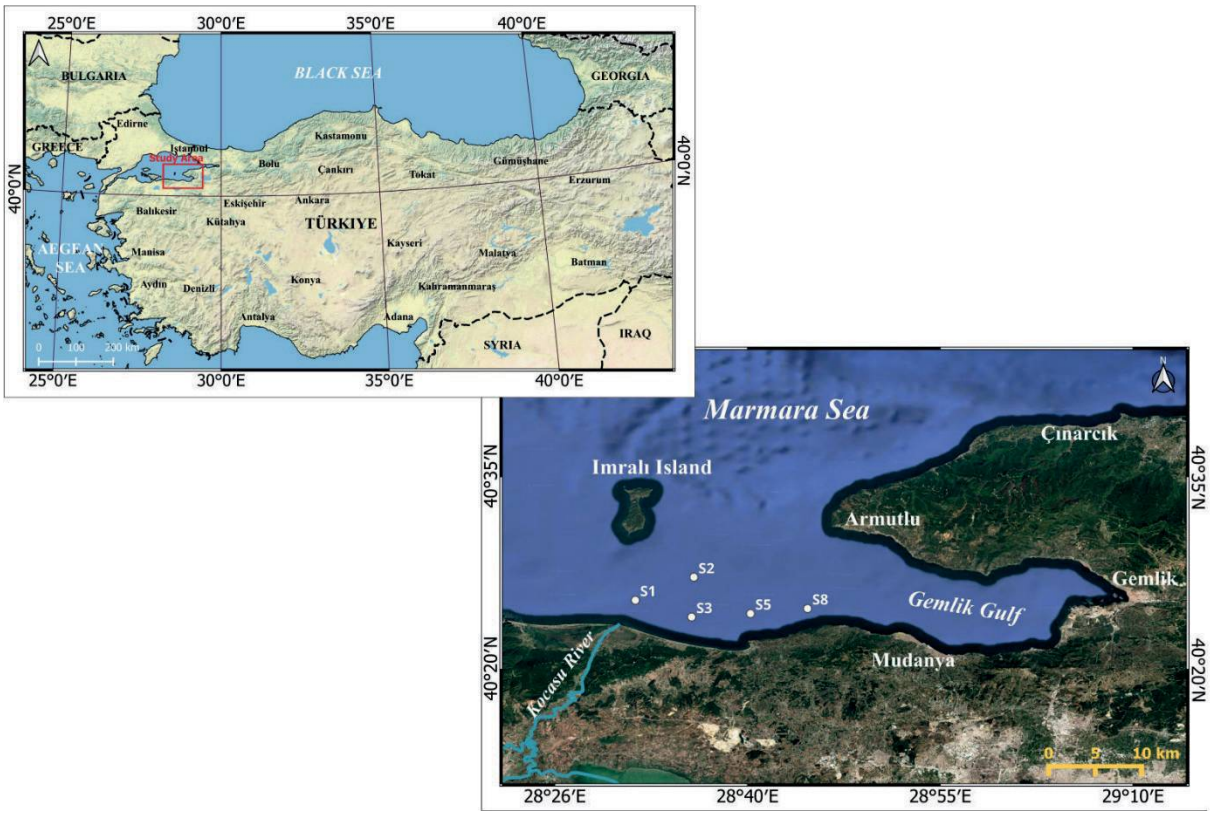


Figure 2. Map showing the geographic location and sampling sites of the surface sediments.

Şekil 2. *Yüzey sedimentlerinin coğrafi konumunu ve örnekleme noktalarını gösteren harita.*

Approximately 300 grams of each sample were obtained from each sampling site using stainless spoons and placed into pre-cleaned and labelled glass bottles to avoid contamination. Subsequently, the sediments were transferred to the Marine Geology Laboratory at the Institute of Marine Sciences and Management, Istanbul University, for further analysis. The study area is characterized by two water stratifications: a bottom layer with high salinity and density (36 ppt), and an upper layer with lower salinity and density (22 ppt) (Çağatay et al., 2003).

Total Organic Carbon (TOC), Grain Size

The coarse-grained fraction (gravel and sand) of the samples was analyzed using dry sieving, following the procedure outlined by McManus (1988). The sieve mesh sizes used in this analysis ranged from 2 mm to 0.063 mm, with an additional pan used to collect particles smaller than 0.063 mm.

Total organic carbon (TOC) was examined using the Walkley-Black method. This technique involves oxidizing the organic matter with potassium dichromate and titrating with ferrous ammonium sulphate, as described by Loring and Rantala (1992).

Microplastic Extraction and Analysis

Using an oven set at 60º C, the samples were dried until their weight stabilized. To remove macroplastic particles, the dried samples were filtered through a 5-millimeter sieve. Microplastics were then isolated using a density separation technique. For each sample, 5 grams of the sieved material were placed into a glass beaker, and 50 mL of a saturated sodium chloride solution (35 g/100 mL) was added. The mixture was stirred for 5 minutes to ensure homogenization and then sealed and left to settle overnight, following the approach explained by Erni-Cassola et al. (2017).

The following day, the supernatant was carefully transferred to a clean beaker, and 20 mL of 30% hydrogen peroxide was added to break down organic matter. The use of H_2O_2 for organic matter digestion is a standard step in microplastic research (Erni-Cassola et al., 2017). The solution was then warmed on a hot plate at 95 °C for 2 hours to aid the digestion process. To improve the recovery of microplastics, this entire extraction process was performed in triplicate for each sample, as recommended by Besley et al. (2017).

Pollution Load Index (PLI) and Contamination Factor (CF) of MPs

The Contamination Factor is defined as the ratio of the measured concentration of microplastics (MPs) in a sample (Ci) to a reference concentration (Co) (Equation 1). The reference values used in this study were derived from project FBA-2023-40344 (Standard Research Project funded by Istanbul University) and were determined from the uncontaminated or minimally contaminated sediment samples collected from core layers at depths greater than approximately 60 cm.

The Pollution Load Index describes the overall level of pollutants released into the environment and serves as an indicator of environmental contamination (Xu et al., 2018). Both CF and PLI were proposed by Tomlinson et al. (1980) to determine contamination levels in natural ecosystems. The PLI is a standardized tool commonly used to assess and compare pollution levels across different regions (Tomlinson et al., 1980). The PLI values in this study were calculated using Equations (2) and (3).

$$CFi = Ci/Co \quad (1)$$

$$PLIi = \sqrt{CFi} \quad (2)$$

$$PLI = \sqrt[n]{(PLI1 * PLI2 * PLI3 * \ldots * PLIn)} \quad (3)$$

Pollution levels were evaluated based on both the Contamination Factor (CF) and the Pollution Load Index (PLI). According to the CF classification, values of CF < 1 indicate low contamination, 1 ≤ CF < 3 indicate moderate contamination, 3 ≤ CF < 6 indicate considerable contamination, and CF ≥ 6 represent very high contamination. Similarly, PLI values less than 1 indicate no pollution, 1 ≤ PLI < 2 correspond to unpolluted to moderately polluted conditions, 2 ≤ PLI < 3 indicate moderate pollution, 3 ≤ PLI < 4 represent moderate to high pollution, 4 ≤ PLI < 5 indicate high pollution, and PLI > 5 denote severe pollution (Jafarabadi et al., 2017).

Statistical Analysis

Pearson's correlation coefficient was calculated to assess the linear relationship between grain size and microplastic abundance. The analysis was conducted using SPSS Statistics 21 for Windows (SPSS Inc., USA) after verifying that the data approximately followed a normal distribution. Pearson's correlation was chosen over Spearman's rank correlation due to the continuous nature of the variables. The resulting correlation coefficients were interpreted based on the direction and strength of the relationship. Statistical examination was applied by SPSS Statistics 21 for Windows (SPSS, Inc., USA).

RESULTS AND DISCUSSION

Grain Size Distribution and Total Organic Carbon (TOC)

The sediments at all study sites were predominantly composed of clayey mud. Grain size analysis revealed that the samples contained 0.1–1.2% gravel, 0.6–2.8% sand, 20.9–48.1% silt, and 51.1–77.6% clay (Table 2).

The lithology of the study area is generally characterized by massive greyish-green mud. The organic carbon content of the surface sediments at stations S1, S2, S3, S5, and S8 were 1.9%, 1.8%, 1.7%, 2.0%, and 2.0%, respectively (Table 2).

Table 2. Grain size value and TOC content of samples.

Çizelge 2. *Örneklerin tane boyu değerleri ve organik karbon içerikleri.*

Station	Gravel %	Sand %	Silt %	Clay %	TOC
S1	0.2	2.2	35.3	62.3	1.9
S2	1.2	1.6	21.5	75.6	1.8
S3	0.1	1.4	20.9	77.6	1.7
S5	0.4	2.8	32.0	64.9	2
S8	0.1	0.6	48.1	51.1	2
Mean	0.4	1.7	31.6	66.3	1.8

Distribution and Abundance of Microplastics

In this study, the abundance of MPs in surface sediment samples collected from the southwestern part of the Gulf of Gemlik is shown in Figure 3. Microplastic concentrations varied among samples from the open area of the gulf. The abundance of MPs ranged from 3,800 to 8,600 items per kilogram of dry weight (d.w.) under the stereomicroscope, while under the fluorescence microscope it ranged from 2,200 to 6,400 items/kg d.w. (Table 3). The mean MP abundance across all sites was 4,320 items/kg d.w. Among the sampling stations, MP concentrations (in items/kg d.w.) decreased in the following order: S1 (6,400) > S3 (6,000) > S5 (4,000) > S2 (3,000) > S8 (2,200).

In the case of sampling points, the lowest value was observed at S8 (2200 MPs/kg), whereas the highest value was observed at S1 (6400 MPs/kg; close to the Kocasu River) (Figure 3). Sample sites S1 and S3, collected near the Kocasu River, had the highest number of MPs. In contrast, sites S5 (4000 MPs/kg) and S8, which are the farthest from the river, had the lowest MP count

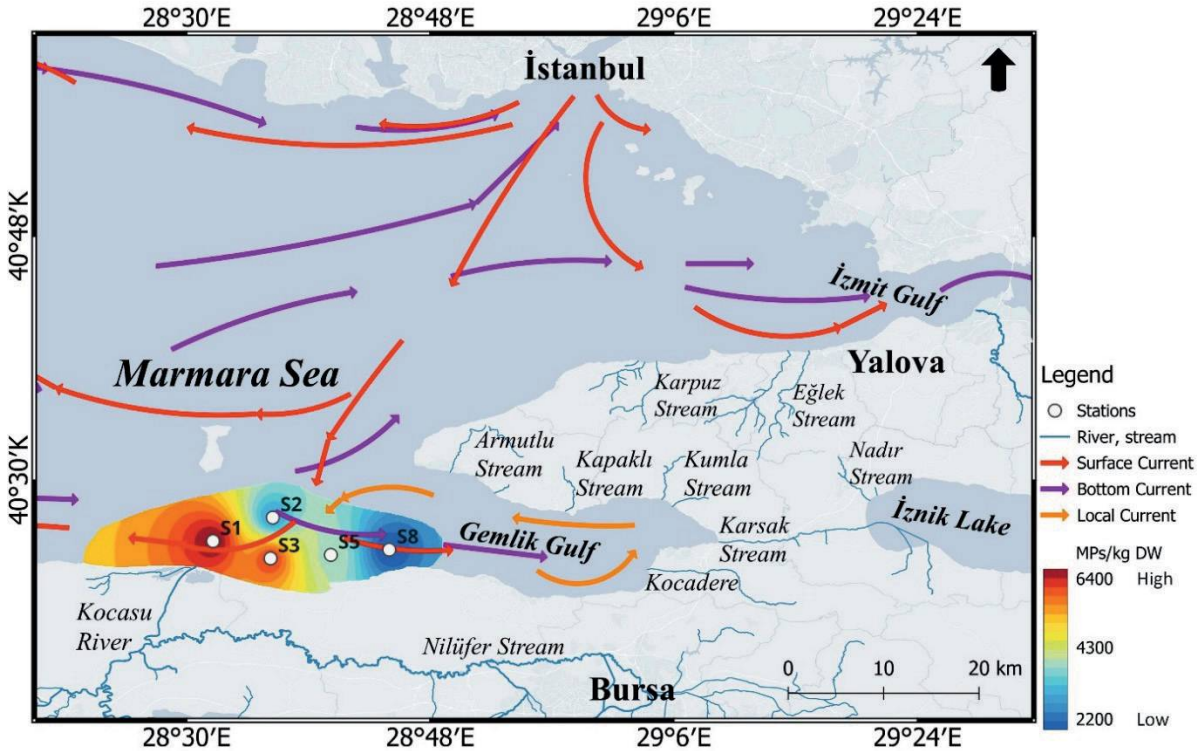


Figure 3. Spatial distribution of microplastic abundance and the current circulation system in the Marmara Sea (modified from Beşiktepe et al., 1994).

Şekil 3. *Marmara Denizi'ndeki mikroplastik bolluğunun mekânsal dağılımı ve akıntı sistemi (Beşiktepe et al., 1994 den uyarlanmıştır).*

Table 3. Abundance of MPs in surface samples from the study area.

Çizelge 3. *Çalışma alanındaki yüzey örneklerinde mikroplastik bolluğu.*

Sample no	Stereomicroscope examination			Fluorescence microscope examination		
	Item/kg	Percentage of fragment	Percentage of fiber	Item/kg	Percentage of fragment	Percentage of fiber
S1	3800	52.6	47.4	6400	61.9	38.1
S2	6400	71.9	28.1	3000	26.7	73.3
S3	6000	73.3	26.7	6000	20.0	80.0
S5	8600	79.1	20.9	4000	35.0	65.0
S8	4600	65.2	34.8	2200	27.3	72.7
Total	29400			21600		
Mean	5880	68.4	31.6	4320	34.2	65.8

Human actions and agricultural practices can contribute to the presence of plastic debris and other pollutants in rivers (Uddin et al., 2021). A gradual increase in microplastic abundances is observed as the sampling site approaches the Kocasu River. Accordingly, the lower concentration of microplastics farther from the river could be linked to a decreased flow rate and the sea current system, which facilitated the accumulation of plastic particles.

Compared with the several sediments from the Marmara Sea, the MP abundance in the study area was comparatively high. Belivermiş et al. (2021) reported 2867 particles/kg in sediments from the Golden Horn. Other studies conducted in the Marmara Sea reported varying microplastic (MP) concentrations. For example, Erkan et al. (2021) reported 1,957 MPs/kg, Baysal et al. (2020) found concentrations ranging from 13 to 5,100 particles/kg, and Mutlu et al. (2024) reported values between 195 and 226 MPs/kg.

MPs Shape

According to the MPs shapes in the study area, we categorized the collected MPs into two types: fragment and fiber. MPs were observed under a fluorescent microscope using the Nile Red staining technique. The images of microplastics shapes were examined (Figure 4). Fiber has the appearance of being slim and long, whereas fragment is irregular in shape and has a certain thickness. The fibers were from 0.05 mm to 4 mm, whereas the fragments ranged from 0.05 mm to 1 mm in length.

Regarding the shape of microplastics, previous studies (Belivermiş et al., 2021; Matsuguma et al., 2017) reported that fragments are the dominant form, followed by fibers, films, and spherical particles in decreasing order. However, there appears to be some inconsistency in the literature concerning the predominant microplastic shape. While several studies (Brandon et al., 2019; Xue et al., 2020) identified fibers as the most common type, others (this study; Belivermiş et al., 2021; Matsuguma et al., 2017) reported a dominance of fragments.

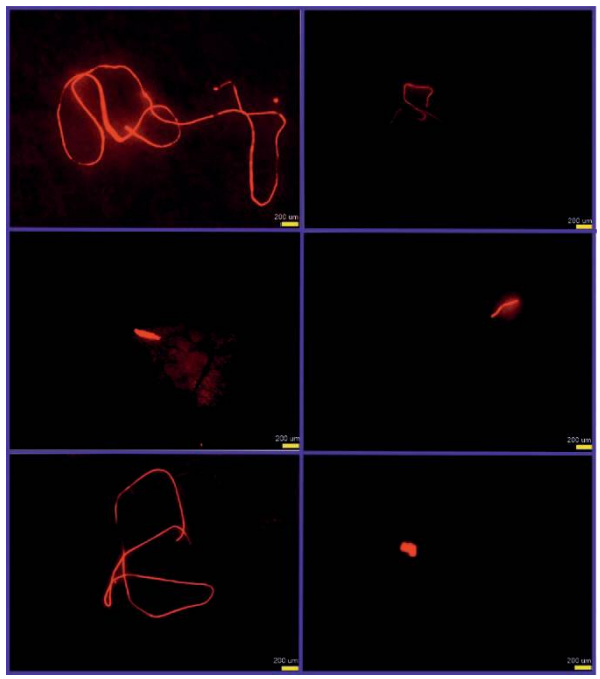


Figure 4. Images of microplastics under a fluorescence microscope.
Şekil 4. *Mikroplastiklerin floresans mikroskop altında görüntüleri.*

In this study, fiber-shaped microplastics (58.4%) were the dominant type at all stations except for station S1 (Figure 5). At station S1, fragments were the most abundant MP form, accounting for 3,960 items/kg. The higher proportion of fragments compared to fibers at this site is likely related to the influence of the Kocasu River, which transports larger plastic debris through its drainage system. Nevertheless, fibers were also present in considerable amounts at S1, with a concentration of 2,440 items/kg. Film and foam particles were not observed under the stereomicroscope, probably due to their low density, which prevents them from settling and accumulating in sediments.

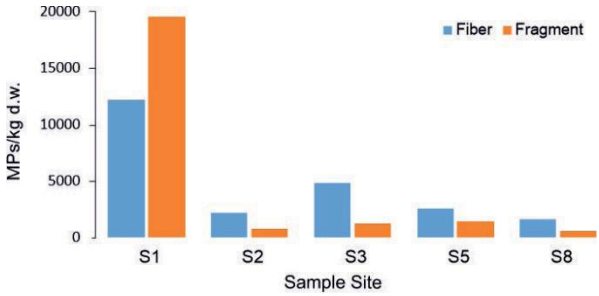


Figure 5. Abundance of MP shapes among sampling sites.

Şekil 5. *Örnekleme noktaları arasında MP'lerin şekilsel bolluğu.*

The identified MPs were transparent, black, gray, navy, brown, blue, and other in color (Figure 6). The predominant colors of the microplastics were black, gray, and transparent, comprising 26%, 24%, and 23%, respectively, in descending order of abundance.

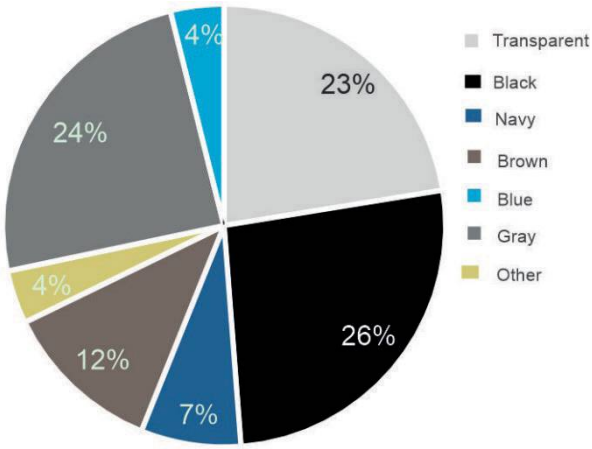


Figure 6. The overall percentage of MP colors in the study area.

Şekil 6. *Çalışma alanındaki mikroplastik renklerinin yüzdesel dağılımı.*

Pollution and Sources

According to Pearson's correlation, a strong positive correlation was observed between fine-grain sediment (silt and clay) and MP abundance (Table 4). These results support previous studies (Enders et al., 2019, Mendes et al., 2021), which also reported a similar relationship. However, contrasting results were reported by other studies (Martins and Sobral, 2011; Alomar et al., 2016; Blaskovic et al., 2017), which found no significant correlation between fine sediment fractions and MP concentrations. The main factor contributing to the elevated microplastic (MP) pollution observed at sites S1 and S3 is the influence of the Kocasu River, as evidenced by the substantial spatial variation in MP concentrations. According to Arslan Kaya et al. (2022), the primary terrestrial inputs to the Gulf of Gemlik originate not only from human activities but also from the Kocasu River, which flows into the gulf from the south. This finding is consistent with, and reinforces, the results of the present study.

Table 4. Pearson correlation matrix showing the relationship between sediment grain size and microplastic content.

Çizelge 4. *Sediment tane boyu ile mikroplastik içeriği arasındaki ilişkiyi gösteren Pearson korelasyon matrisi.*

	Clay	Silt	Sand	Gravel	MP
Clay	1				
Silt	-1.00	1			
Sand	0.24	-0.31	1		
Gravel	0.46	-0.5	0.15	1	
MP	0.42	0.39	-0.39	-0.38	1

The Kocasu River comprises of numerous tributaries, the most prominent of which is the Nilüfer Stream (Arslan Kaya et al., 2022). This tributary transports substantial volumes of domestic and industrial wastewater from the city of Bursa, thereby contributing to the contamination of the southern shelf region of the Marmara Sea (Sarı, 2008). Bursa hosts extensive industrial zones, with key sectors including leather production, textiles, metal processing, rubber manufacturing, and plastics (Arslan Kaya et al.,

2022). The presence of fibers is likely largely due to the breakdown of agricultural materials and the discharge of wastewater containing textile fibers from clothing (Claessens et al., 2011). Moreover, plastic fibers may also originate from fishing gear, airborne deposition, and surface water runoff (Browne et al., 2011). Therefore, the high content of microplastics at site S1 is not surprising, given that it reached up to 6400 MPs/kg.

The CF values indicated low to considerable levels of microplastic contamination across all sampling sites in the Gulf of Gemlik (Figure 7). A descending trend in CF values was observed in the following order: S1 > S3 > S5 > S2 > S8. Moderate MP pollution was commonly detected in sediments from sites S2, S5, and S8, likely associated with beach-related activities such as swimming and camping, as well as inputs from nearby urban areas, agricultural runoff, household waste, and small-scale fishing operations (e.g., nets, ropes, and ship debris). The higher MP concentrations and considerable contamination observed at sites S1 and S3 are strongly influenced by the discharge of the Kocasu River. According to Arslan Kaya et al. (2022), the Kocasu River transports approximately 614,000 tons of suspended particles per year (Ergin et al., 2008), representing a substantial pollution load derived from agricultural and industrial regions entering the Gulf of Gemlik.

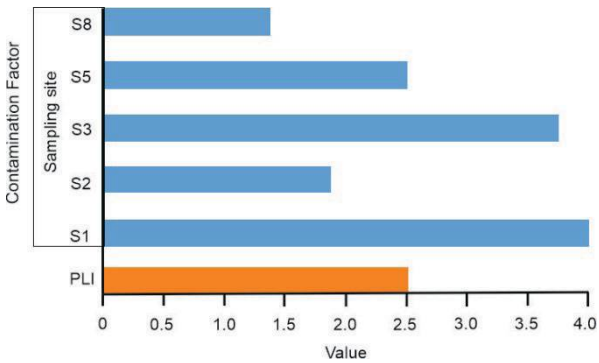


Figure 7. CF and PLI values of surface sediments.

Şekil 7. *Yüzey sedimentlerin CF ve PLI değerleri.*

The Pollution Load Index (PLI) for the study area was calculated as 2.5, falling within the range of 2 < PLI < 3, which corresponds to a moderate level of MP pollution. Microplastic contamination in sediments is of concern because these particles can be ingested by fish and other aquatic organisms, potentially causing adverse effects on their health and bioaccumulating through the food web.

CONCLUSIONS

This study presents the first comprehensive assessment of microplastic pollution in the southwestern part of the Gulf of Gemlik, covering the coastal area from Kurşunlu to Mudanya. Fibers were identified as the most dominant shape (58.4%), followed by fragments (42.6%). A positive relationship was observed between MP abundance and sediment grain size. The calculated Contamination Factor (CF) values clearly indicated that all sampling locations in the study area were contaminated with MPs. Overall, this research provides essential baseline data on MP abundance and characteristics in the region, offering a valuable reference for future monitoring programs and management strategies aimed at mitigating microplastic pollution.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu araştırma, Marmara Denizi'nin güneybatısında yer alan Gemlik Körfezi'nde seçilen beş farklı noktadan alınan yüzey sedimanlarındaki mikroplastik (MP) kirliliğini değerlendirmiştir. Sedimanlar ağırlıklı olarak killerden oluşan çamurlardan meydana gelmekte olup, tane boyutu analizleri %0,1-1,2 çakıl, %0,6-2,8 kum, %20,9-48,1 silt ve %51,1-77,6 kil oranlarında değişiklik göstermektedir. Organik karbon içeriği ise %1,7 ile %2,0 arasında değişmektedir. Mikroplastiklerin yoğunluğu kuru sediman kilogramı başına 2200 ile 6400 adet arasında bulunmuş olup, en yüksek yoğunluk Kocasu Nehri'ne yakın bölgelerde tespit

edilmiştir. Bu durum, nehir kaynaklı kirliliğin Gemlik Körfezi'ndeki mikroplastik birikimini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Mikroplastikler şekil açısından iki ana gruba ayrılmıştır: lifler ve parçacıklar. Genel olarak lifler (%58,4) hakimken, nehir kenarındaki S1 örneklemesinde parçacıklar daha fazla görülmüştür. Lifler 0,05 mm ile 4 mm arasında uzunlukta olup, parçacıklar ise 0,05 mm ile 1 mm arasında değişmektedir. Renk dağılımında siyah, gri ve şeffaf mikroplastikler en yaygın olanlardır. Yapılan korelasyon analizleri, ince taneli sediman (silt ve kil) oranı ile mikroplastik yoğunluğu arasında pozitif ve güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu da ince taneli sedimanların mikroplastik birikimi için uygun ortam sağladığını göstermektedir.

Mikroplastik kirliliğinin yüksek olduğu S1 ve S3 örneklerinde Kocasu Nehri ve onun önemli kollarından biri olan Nilüfer Deresi'nin endüstriyel ve evsel atıklarla birlikte önemli bir kirlilik kaynağı olduğu belirlenmiştir. Bursa kentinin deri, tekstil, metal işleme, plastik ve kauçuk gibi yoğun endüstriyel faaliyetleri, bölge sularına önemli ölçüde kirlilik taşımaktadır. Ayrıca, tarımsal faaliyetler ve kentsel atıklar da mikroplastik kirliliğine katkıda bulunmaktadır.

Kirlilik faktörü (CF) analizleri, Gemlik Körfezi'nde düşük ile yüksek arasında değişen kirlilik seviyelerini göstermiştir. CF değerlerine göre kirlilik sıralaması S1 > S3 > S5 > S2 > S8 şeklindedir. Bölgedeki Kirlilik Yük Endeksi (PLI) ise 2,5 olarak hesaplanmış ve bu da orta seviyede mikroplastik kirliliğine işaret etmektedir.

Bu çalışma, Gemlik Körfezi güneybatısında mikroplastik kirliliği üzerine yapılan ilk detaylı araştırma olma özelliğini taşımakta olup, bölgedeki mikroplastik yoğunluğuna dair temel veri sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, mikroplastiklerin sucul ekosistemler üzerindeki olası olumsuz etkilerini vurgulamakta ve gelecekte yapılacak izleme ve yönetim çalışmaları için önemli referans niteliği taşımaktadır.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study received funding from the Research Projects Coordination Unit of Istanbul University, Türkiye. Project number: FBA-2023-40344.

ORCID

Tuğçe Nagihan Arslan Kaya https://orcid.org/0000-0003-2655-1436

REFERENCES

Ahmed, Q., Öztekin, A., Ali, Q. M. & Bat, L. (2025). Microplastic Contamination of Holothuria (Thymiosycia) arenicola Semper, 1868, Holothuria pardalis Selenka, 1867, Sediments and Seawater From Karachi Coast, Northern Arabian Sea, Pakistan. *Marine Science and Technology Bulletin, 14*(1), 10-19. https://doi.org/10.33714/masteb.1641715

Alomar, C., Estarellas, F. & Deudero, S. (2016). Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research, 115*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005

Arslan Kaya, T. N., Sari, E. & Kurt, M. A. (2022). Sedimentary records of trace elements contamination in sediment core from the Gulf of Gemlik, Marmara Sea, Turkey: history, contamination degree, and sources. *Turkish Journal of Earth Sciences, 31*(5), 452-466. https://doi.org/10.55730/1300-0985.1813

Arslan Kaya, T. N., Sarı, E., Çağatay, M. N., Kurt, M. A., Kösesakal, T., Kılıç, Ö. & Acar, D. (2023). The effects of the 1999 Gölcük earthquake (Mw 7.4) on trace element contamination of core sediments from İzmit Gulf, Turkey. *Natural Hazards, 116*(1), 1189-1208. https://doi.org/10.1007/s11069-022-05717-w

Baysal, A., Saygin, H. & Ustabasi, G. S. (2020). Microplastic occurrences in sediments collected from Marmara Sea-Istanbul, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 105*(4), 522-529. https://doi.org/10.1007/s00128-020-02993-9

Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Sezer, N., Sıkdokur, E., Güngör, N. D. & Altuğ, G. (2021). Microplastic inventory in sediment profile: A case study of Golden Horn Estuary, Sea of Marmara. *Marine pollution bulletin, 173 Part B*, Article 113117. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113117

Besiktepe, S. T., Sur, H. I., Ozsoy, E., Latif, M. A., Oguz, T. & Unluata, U. (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography, 34*(4), 285-334. https://doi.org/10.1016/0079-6611(94)90018-3

Besley, A., Vijver, M. G., Behrens, P. & Bosker, T. (2017). A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin, 114*(1), 77-83. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.055

Blašković, A., Fastelli, P., Čižmek, H., Guerranti, C. & Renzi, M. (2017). Plastic litter in sediments from the Croatian marine protected area of the natural park of Telaščica bay (Adriatic Sea). *Marine Pollution Bulletin, 114*(1), 583-586. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.018

Brandon, J. A., Jones, W. & Ohman, M. D. (2019). Multidecadal increase in plastic particles in coastal ocean sediments. *Science Advances, 5*(9), Article eaax0587. https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0587

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines woldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology, 45*(21), 9175-9179. https://dx.doi.org/10.1021/es201811s

Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K. & Janssen, C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin, 62*(10), 2199-2204. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030

Çağatay, M. N., Görür, N., Polonia, A., Demirbağ, E., Sakınç, M., Cormier, M. H., ... & Eriş, K. (2003). Sea-level changes and depositional environments in the Izmit Gulf, eastern Marmara Sea, during the late glacial–Holocene period. *Marine Geology, 202*(3-4), 159-173. https://doi.org/10.1016/S0025-3227(03)00259-7

Doğruyol, P., Şener, M. & Balkaya, N. (2019). Determination of microplastics and large plastics in the sediments of the Golden Horn Estuary (Halic), Istanbul, Turkey. *Desalination and Water Treatment, 172*, 344-350. https://doi.org/10.5004/dwt.2019.25067

Enders, K., Käppler, A., Biniasch, O., Feldens, P., Stollberg, N., Lange, X., ... & Labrenz, M. (2019). Tracing microplastics in aquatic environments based on sediment analogies. *Scientific Reports, 9*(1), Article 15207. https://doi.org/10.1038/s41598-019-50508-2

Ergin, M., Bodur, M. N. & Ediger, V. (1991). Distribution of surficial shelf sediments in the northeastern and southwestern parts of the Sea of Marmara: strait and canyon regimes of the Dardanelles and Bosporus. *Marine Geology, 96*(3-4), 313-340. https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90154-V

Erkan, H. S., Turan, N. B., Albay, M. & Engin, G. O. (2021). Microplastic pollution in seabed sediments at different sites on the shores of Istanbul-Turkey: Preliminary results. *Journal of Cleaner Production, 328*, Article 129539. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129539

Erni-Cassola, G., Gibson, M. I., Thompson, R. C. & Christie-Oleza, J. A. (2017). Lost, but found with Nile red: a novel method for detecting and quantifying small microplastics (1 mm to 20 μm) in environmental samples. *Environmental Science & Technology, 51*(23), 13641-13648. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04512

Hartmann, N. B., Huffer, T., Thompson, R. C., Hassellov, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., ... & Wagner, M. (2019). Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environmental Science & Technology 53*(3), 1039-1047. http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.8b05297

Horton, A. A. & Dixon, S. J. (2018). Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 5*(2), Article e1268. https://doi.org/10.1002/wat2.1268

Jafarabadi, A. R., Bakhtiyari, A. R., Toosi, A. S. & Jadot, C. (2017). Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Chemosphere, 185*, 1090-1111. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.110

Kershaw, P. J. (2016). *Marine plastic debris and microplastics–Global lessons and research to inspire action and guide policy change*. United Nations Environment Programme, Nairobi.

Kershaw, P. J., Turra, A. & Galgani, F. (2019). Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean. London, UK, GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 130pp. (GESAMP Reports and Studies, No. 99). http://dx.doi.org/10.25607/OBP-435

Loring, D. H. & Rantala, R. T. (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews, 32*(4), 235-283. https://doi.org/10.1016/0012-8252(92)90001-A

Martins, J. & Sobral, P. (2011). Plastic marine debris on the Portuguese coastline: a matter of size?. *Marine Pollution Bulletin, 62*(12), 2649-2653. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.028

Matsuguma, Y., Takada, H., Kumata, H., Kanke, H., Sakurai, S., Suzuki, T., ... & Newman, B. (2017). Microplastics in sediment cores from Asia and Africa as indicators of temporal trends in plastic pollution. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 73*(2), 230-239. https://doi.org/10.1007/s00244-017-0414-9

McManus, J. (1988). Grain size determination and interpretation. In M. Tucker (Ed.), *Techniques in Sedimentology* (pp. 63-85). Blackwell Scientific Publ.

Mendes, A. M., Golden, N., Bermejo, R. & Morrison, L. (2021). Distribution and abundance of microplastics in coastal sediments depends on grain size and distance from sources. *Marine Pollution Bulletin, 172*, Article 112802. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112802

Mutlu, T., Minaz, M., Baytaşoğlu, H. & Gedik, K. (2024). Microplastic pollution in stream sediments discharging from Türkiye's eastern Black sea basin. *Chemosphere, 352*, Article 141496. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141496

Niu, L., Li, Y., Li, Y., Hu, Q., Wang, C., Hu, J., ... & Zhang, H. (2021). New insights into the vertical distribution and microbial degradation of microplastics in urban river sediments. *Water Research, 188*, Article 116449. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116449

Okay, A.I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications, 156*(1), 475-515. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22

Okay, A. I., Satir, M., Maluski, H., Siyako, M., Monié, P., Metzger, R. & Akyüz, S. (1996). Paleo-and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints. 420-441. In A. Yin & T.M. Harrison (Eds.), *The Tectonic Evolution of Asia*, (pp.: 420-441). Cambridge University Press

Sarı, E. (2008). Source and distribution of heavy metals in river sediments from the southern drainage basin of the sea of Marmara, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin, 17*(12), 2007-2019.

Sayed, A. E. D. H., Hamed, M., Badrey, A. E., Ismail, R. F., Osman, Y. A., Osman, A. G. & Soliman, H. A. (2021). Microplastic distribution, abundance, and composition in the sediments, water, and fishes of the Red and Mediterranean seas, Egypt. *Marine Pollution Bulletin, 173 Part A*, Article 112966. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112966

Sönmez, V. Z., Akarsu, C. & Sivri, N. (2023). Impact of coastal wastewater treatment plants on microplastic pollution in surface seawater and ecological risk assessment. *Environmental Pollution, 318*, Article 120922. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120922

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. In Biddle, K. & Christie-Blick, N. (Eds.), *Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation, Special Publications, SEPM Society for Sedimentary Geology, Tulsa, 37*, 227-264.

Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R. & Jeffrey, D. W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen, 33*(1), 566-575.

Uddin, S., Fowler, S. W., Uddin, M. F., Behbehani, M. & Naji, A. (2021). A review of microplastic distribution in sediment profiles. *Marine Pollution Bulletin, 163*, Article 111973. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111973

Vardar, D., Öztürk, K., Yaltırak, C., Alpar, B. & Tur, H. (2014). Late Pleistocene–Holocene evolution of the southern Marmara shelf and sub-basins: middle strand of the North Anatolian fault, southern Marmara Sea, Turkey. *Marine Geophysical Research, 35*(1), 69-85. https://doi.org/10.1007/s11001-013-9210-8

Wang, T., Li, B., Zou, X., Wang, Y., Li, Y., Xu, Y., ... & Yu, W. (2019). Emission of primary microplastics in mainland China: invisible but not negligible. *Water Research, 162*, 214-224. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.042

Xu, P., Peng, G., Su, L., Gao, Y., Gao, L. & Li, D. (2018). Microplastic risk assessment in surface waters: A case study in the Changjiang Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin, 133*, 647-654. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.020

Xue, B., Zhang, L., Li, R., Wang, Y., Guo, J., Yu, K. & Wang, S. (2020). Underestimated microplastic pollution derived from fishery activities and "hidden" in deep sediment. *Environmental Science & Technology, 54*(4), 2210-2217. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04850

Yaltırak, C. & Alpar, B. (2002). Evolution of the middle strand of North Anatolian Fault and shallow seismic investigation of the southeastern Marmara Sea (Gemlik Bay). *Marine Geology, 190*(1-2), 307-327. https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00352-3

Yaltirak, C., Yalcin, T., Bozkurtoğlu, E. & Yüce, G. (2005). Water-level changes in shallow wells before and after the 1999 Izmit and Düzce earthquakes and comparison with long-term water-level observations (1999–2004), NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences, 14*(3), 281-309.

Yilmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C. & Şengör, A. M. C. (1997). Geology and tectonic evolution of the Pontides. In A. G. Robinson (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology*. https://doi.org/10.1306/M68612C11

Yin, Z. (2023). The pollution of microplastics in sediments: The ecological risk assessment and pollution source analysis. *Science of The Total Environment, 859 Part 2*, Article 160323. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160323

Yücedağ, E., Mülayim, A. & Gündüz, S. K. (2022). Investigation of Microplastic Pollution in the Sediment and Commercial Fish Species of Gemlik Bay (Marmara Sea) by Microscopic and Spectroscopic Methods. *Research Square*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1802703/v1

Türkiye Jeoloji Bülteni
Geological Bulletin of Turkey
69 (2026) 103-120
doi:10.25288/tjb.1767998

Estimation of Basement Relief in the Isparta Basin by Applying Spectral Filtering and Local Optimisation-Based Inversion Techniques to Gravity Data

Gravite Verilerine Spektral Filtreleme ve Lokal Optimizasyon-Tabanlı Ters Çözüm Teknikleri Uygulayarak Isparta Baseninde Temel Kaya Topografyasının Tahmini

Rezzan Pekcan Ekinci[1,*], Çağlayan Balkaya[2]

[1] *Muş Alparslan University, Program of Emergency and Disaster Management, Muş, Türkiye*
[2] *Süleyman Demirel University, Department of Geophysical Engineering, Isparta, Türkiye*

• Geliş/Received: 18.08.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 20.10.2025 • Kabul/Accepted: 23.10.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 04.01.2026 • Baskı/Printed: 31.01.2026

Araştırma Makalesi/Research Article *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Abstract: The Isparta Basin is a tectonically complex depression situated at the junction between the Western Anatolian extensional province and the Tauride orogenic belt. It lies near the intersection of the Hellenic and Cyprus arcs, forming the Isparta Angle. This transitional zone is characterised by intense crustal deformation, complex fault systems, and active seismicity, making it a key area for geophysical investigation. Microgravity anomalies were analysed to assess the thickness of the basin's sedimentary deposits. A 2-D Fourier transformation-based procedure was used to decompose the gravity data into regional and residual components. This spectral filtering step isolated shallow subsurface signals from broader tectonic influences, thereby providing a robust foundation for depth modelling by enhancing the resolution of near-surface features that are often masked by deeper structural trends. Residual gravity anomalies were further examined using both 2-D and 3-D local optimisation-based inversion techniques. These complementary methods allowed for cross-validation of results mathematically and improved confidence in the derived structural interpretations. The resulting basement depth estimates demonstrate consistency and align well with the established geological framework of the Isparta Basin, including known fault geometries and stratigraphic boundaries, with the inversion results indicating maximum sedimentary fill thickness of approximately 0.53 km. This result has practical implications for disaster management, particularly in assessing the potential for seismic amplification. Thick sedimentary sequences can substantially affect ground-motion characteristics during earthquakes, especially within basin environments. Therefore, mapping the spatial distribution of sedimentary accumulation contributes to more informed regional risk assessments and supports the development of targeted mitigation strategies. These findings are expected to provide valuable input for land-use planning and infrastructure resilience in the Isparta Basin, offering essential baseline information for authorities and engineers involved in seismic hazard mitigation.

Keywords: Basement relief, inversion, Isparta basin, microgravity, spectral filtering.

Öz: *Isparta Havzası, Batı Anadolu genişleme bölgesi ile Toros orojenik kuşağının birleşim noktasında yer alan tektonik olarak karmaşık bir çöküntü alanıdır. Helen ve Kıbrıs yaylarının kesişimine yakın konumuyla Isparta Açısını oluşturmaktadır. Bu geçiş zonu, yoğun kabuksal deformasyon, karmaşık fay sistemleri ve aktif sismisite ile karakterize edilmekte olup, jeofiziksel araştırmalar açısından önemli bir çalışma sahasıdır. Bu kendine özgü tektonik ortamda sedimanter dolgu kalınlığını belirlemek amacıyla mikrogravite anomalileri analiz edilmiştir. Gravite verileri, 2-B Fourier dönüşümüne dayalı bir yöntem kullanılarak bölgesel ve rezidüel bileşenlerine ayrıştırılmıştır. Bu spektral filtreleme aşaması, yüzeye yakın sinyalleri daha geniş tektonik etkilerden etkin bir şekilde ayırarak, genellikle daha*

Correspondence / *Yazışma*: r.ekinci@alparslan.edu.tr

http://tjb.jmo.org.tr
http://dergipark.gov.tr/tjb

derin yapılar tarafından maskelenen sığ özelliklerin çözünürlüğünü artırmış ve derinlik modellemesi için sağlam bir temel oluşturmuştur. Rezidüel gravite anomalileri, hem 2-B hem de 3-B lokal optimizasyon-tabanlı ters çözüm teknikleriyle incelenmiştir. Bu tamamlayıcı yöntemler, sonuçların matematiksel olarak doğrulanmasına olanak tanımış ve elde edilen yapısal yorumların güvenilirliğini arttırmıştır. Elde edilen temel kaya derinliği tahminleri, Isparta Havzası'nın bilinen jeolojik yapısıyla, özellikle fay geometrileri ve stratigrafik sınırlarla uyum göstermektedir ve ters çözüm sonuçları maksimum sedimanter dolgu kalınlığının yaklaşık 0,53 km olduğunu göstermektedir. Tahmin edilen sedimanter dolgu kalınlığı, afet yönetimi açısından pratik önem taşımaktadır. Özellikle havza ortamlarında, kalın sedimanter birikimler deprem sırasında yer hareketi özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle, sedimanter birikimin uzamsal dağılımının haritalandırılması, daha bilinçli bölgesel risk değerlendirmelerine katkıda bulunmakta ve hedefli azaltma stratejilerinin geliştirilmesini desteklemektedir. Bu bulguların, Isparta Havzası'nda arazi kullanım planlaması ve altyapı dayanıklılığı için değerli çıktılar oluşturacağı ve sismik tehlike azaltma çalışmalarına katılan yetkililer ve mühendisler için temel bilgi kaynağı sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Isparta baseni, mikrogravite, spektral filtreleme, temel kaya topografyası, ters çözüm.*

INTRODUCTION

Sedimentary basins are the primary continental settings where prolonged subsidence creates depressional terrains at lower altitudes than the surrounding regional uplands, facilitating the accumulation of sedimentary deposits (Onajite, 2014; Weismann et al., 2015). Sedimentary basins evolve through subsidence and sedimentation driven by a variety of tectonic processes. In extensional regimes, crustal stretching forms grabens that accommodate rapid clastic infill, whereas flexural loading adjacent to growing orogens induces broad, regional down-warping and basin development (Allen and Allen, 2005). Thermal subsidence occurs due to lithospheric cooling and isostatic readjustment. This process increases accommodation space and promotes gradual thickening of the sedimentary sequence over geological time (Allen and Allen, 2005). The composition of basin fills provides a record of key aspects of palaeoenvironments. Fluvial, lacustrine, deltaic and shallow-marine depositional systems deliver sediments of varying grain size and mineralogy, generating complex, multi-storey stratigraphy that archive palaeogeographic evolution and climatic shifts (Catuneanu, 2006). Subsequent deformation (e.g. faulting, folding or compaction) of these sequences preserves a chronicle of tectonic pulses and structural maturation (Allen and Allen, 2005). Global sea-level fluctuations exert decisive control on sedimentation patterns. Marine transgressions inundate continental shelves with siliciclastic and carbonate deposits, while regressions concentrate terrigenous influx (Catuneanu, 2006). Distinct basin types (e.g. continental rifts, passive margins, intra-cratonic sag basins) display characteristic fill architectures. Rift basins commonly exhibit rapid, asymmetric sedimentation, whereas passive margins develop extensive, gently dipping clastic wedges. Such architectural differences reflect the interplay of subsidence rate, sediment supply and basin geometry (Catuneanu, 2006). Sedimentary fills also form vital groundwater reservoirs (Hunt et al., 2022). Porous and fractured sedimentary formations comprise major aquifer systems supplying irrigation and potable water, especially in arid and semi-arid zones where surface water is limited. Aquifer yield and water quality are governed by the depositional and diagenetic characteristics of the basin fill (Todd and Mays, 2004). The geothermal energy potential of sedimentary sequences has attracted increasing interest. Thick, high-heat-flux basins may yield hot water or steam for district heating and power generation, with reservoir performance dependent on porosity, permeability and thermal conductivity of the fill (Wu et al., 2025).

In seismically active regions, basin geometry and fill properties intensely influence ground-motion characteristics. The natural resonance frequency of a sedimentary basin depends on sediment thickness and shear-wave velocity. This can lead to significant seismic-wave amplification and increased damage to overlying structures (Borcherdt, 1970). Variations in a sedimentary basin's geometry and internal architecture can markedly influence seismic wave amplification and transmission, which result in differences in ground shaking intensity and distinct propagation patterns (Ghose et al., 2023). Moreover, water-saturated, low-density sediment layers elevate liquefaction potential during strong ground-motions, a factor critical to seismic design and risk mitigation (Seed and Idriss, 1982). Integrating seismic studies with complementary microgravity surveys enhances characterisation of basin architecture and fault networks beneath sedimentary layers (Pamuk et al., 2017; Büyüksaraç et al., 2023, Bektaş et al., 2025). This integration improves the accuracy of ground-motion modelling and underpins more effective disaster-risk-reduction strategies in tectonically active basins.

Despite the critical importance of accurately characterising sedimentary deposit thickness for urban seismic hazard assessment, an inadequate number of studies have been conducted to quantify sedimentary fill thickness beneath the city in the Isparta Basin. In addition, the Isparta Basin has remained largely underexplored in terms of gravity-based inversion studies. In contrast, most geophysical research has concentrated on the western Anatolian extensional regime, particularly the Büyük Menderes and Gediz grabens within the Aegean Graben System, which have attracted considerable attention due to their pronounced tectonic activity and well-defined subsurface geometries (e.g. Sari and Şalk, 2006; Işık and Şener, 2009; Lima and Silva, 2014; Timur et al., 2019; Ekinci et al., 2021, 2023; Roy et al., 2025). This study aims to fill that gap by providing new insights into the basin's subsurface configuration and the sedimentary architecture of the Isparta region, with a specific focus on the densely populated and seismically active urban area. The 2-D Fourier-based anomaly separation technique was applied to microgravity anomalies to isolate residual signals tied to shallow subsurface structures. These residual anomalies were then inverted using both 2-D and 3-D approaches. By integrating these methodologies, we produced reasonable estimates of basement relief depth, which provide sedimentary fill thickness in the Isparta Basin.

STUDY AREA and DATA

Tectonic and Geological Setting of the Isparta Basin

Türkiye is located at the convergence zone of several major tectonic plates, namely the African, Arabian, and Eurasian plates (Figure 1). This geodynamic interaction gives rise to a highly active tectonic regime that governs much of the deformation across the Anatolian plate (McKenzie, 1972; Bozkurt, 2001). Western Anatolia is shaped by extensional tectonics due to westward movement of the Anatolian plate, which escapes the collision between the Arabian and Eurasian plates through strike-slip and normal faulting (Şengör and Yılmaz, 1981; Reilinger et al., 2006). Within this broader tectonic framework, two significant subduction-related arc systems play critical roles: the Hellenic (Crete) Arc to the southwest and the Cyprus Arc to the south (Figure 1). Both arcs represent subduction zones where the African plate is descending beneath the Eurasian margin (Barka and Reilinger, 1997). These arcs not only accommodate plate convergence but also influence crustal deformation, seismicity, and magmatism across the eastern Mediterranean region (Barka and Reilinger, 1997; Robertson et al., 2003).

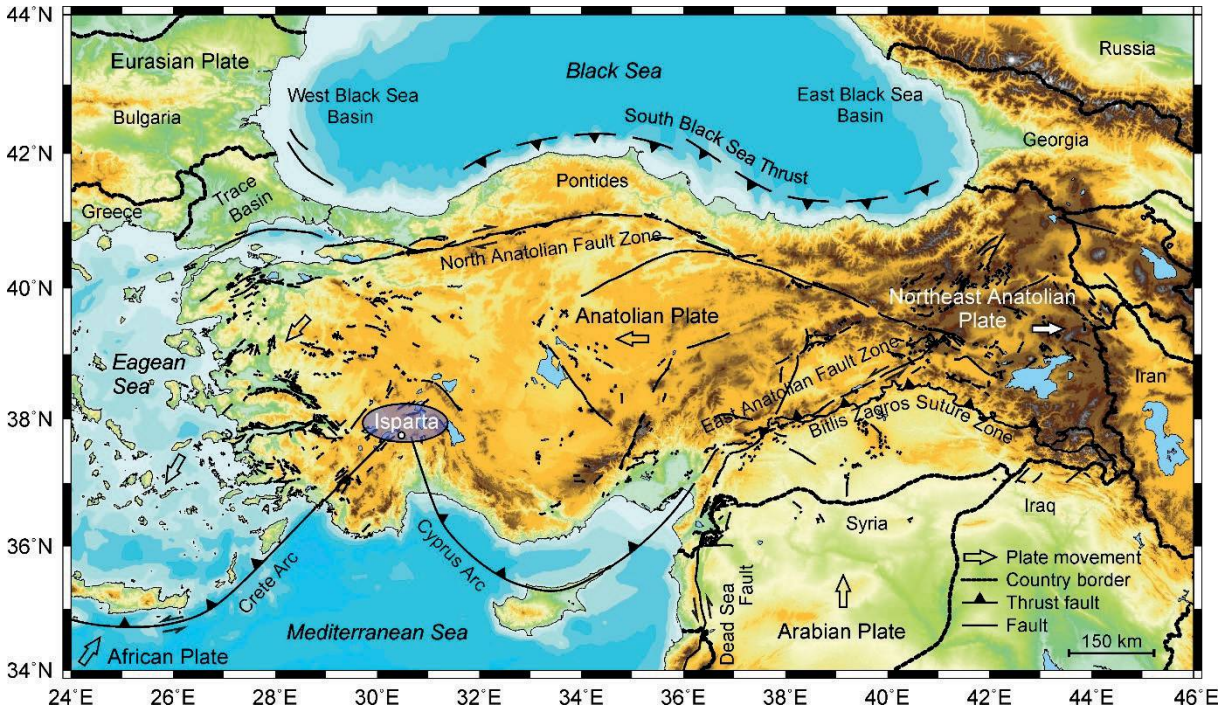


Figure 1. Simplified neotectonic map of Türkiye (compiled from Okay & Tüysüz 1999; Yiğitbaş *et al.* 2004; Ekinci & Yiğitbaş, 2012, 2015; Ekinci *et al.* 2013, 2020). GMT software (Wessel & Smith 1995) was used to produce the map.

Şekil 1. *Türkiye'nin basitleştirilmiş neotektonik haritası (Okay & Tüysüz, 1999; Yiğitbaş¸et al., 2004; Ekinci ve Yiğitbaş, 2012, 2015; Ekinci vd., 2013 ve 2020'den derlenmiştir). Haritayı üretmek için GMT yazılımı (Wessel ve Smith, 1995) kullanılmıştır.*

At the intersection of these two arcs lies a geologically intricate area known as the Isparta Angle, which marks a transition between compressional and extensional tectonic domains. This structurally unique zone is shaped by the interplay of arcuate fault systems and varying stress regimes, and it serves as a key area to understand the tectonic evolution of southwestern Anatolia (Şengör and Yılmaz, 1981). The Isparta Basin is located at the apex of this angle, acting as a structurally controlled sedimentary depression influenced by both local and regional tectonic forces. There is consensus that the Isparta Angle attained its present position during the neotectonic period. Based on paleomagnetic data, Kissel and Poisson (1986) and Piper et al. (2002) suggest that the Beydağları carbonate massif forming the western limb of the Isparta Angle may have experienced counterclockwise rotation throughout the Miocene.

The basin is delineated by two prominent fault systems: the Fethiye-Burdur Fault Zone trending northwest along its western margin, and the Akşehir Fault Zone trending northeast on its eastern flank. These fault systems converge in the north with the Sultandağı Fault, outlining a triangular tectonic setting (Koçyiğit and Özacar, 2003). The structural geometry of the basin promotes localised subsidence and accumulation of thick sedimentary sequences. Seismological data confirm that these faults are seismically active, with multiple moderate-to-large earthquakes occurring over the past century (Taymaz and Price, 1992; Wright et al., 1999; Emre et al., 2003). The Isparta region also contains local-scale structures,

such as the Davraz and Kayı Faults, which further influence the seismic behaviour within the basin. Instrumental earthquake recordings show clusters of microseismicity near the urban centre and surrounding areas. These patterns correlate with local fault lines, which indicate ongoing deformation even within the sedimentary basin interior (Koçyiğit and Özacar, 2003).

Isparta Basin has a diverse stratigraphy consisting of sedimentary, volcanic, and volcaniclastic units from the Mesozoic to the Quaternary. The stratigraphic succession in the study area is grouped into autochthonous and allochthonous units (Şenel, 2007a & b; Demer, 2008). The autochthonous sequence comprises the Menteşe Formation (Msm), Davras Limestone (Msd), Söbüdağ Limestone (Krüds, member of Davras Limestone), Çiğdemtepe Limestone (Krüç), Koçtepe Formation (Tk), Kayıköy Formation (Ti), and Gölcük Volcanics (pyroclastics as PQgp and volcanic lavas as PQgv), all of which are unconformably overlain by slope debris (Qy) and alluvial fan deposits (Figure 2). The allochthonous assemblage consists of the Gökçebağ Complex (Mg) and the Akdağ Limestone (Ma). The Menteşe Formation consists of grey to greyish-black, medium- to thick-bedded, densely vuggy dolomitic limestones that form the basal unit of the Davras Limestone and contain abundant megalodontid moulds (Demer, 2008). The Davras Limestone has extensive outcrops in the eastern part of the study area. The unit is dated to the Upper Triassic Turonian (Görmüş and Özkul, 1995). The Söbüdağ Limestone constitutes the Late Cretaceous carbonate section of the Davras Limestone (Demer, 2008). The rudist-bearing carbonates of the Late Cretaceous Çiğdemtepe Formation unconformably overlie the Davras Limestone unit (Karaman et al., 1988; Yıldız and Toker, 1991). Based on its lithological and faunal characteristics, the unit is interpreted to have been deposited in a shallow lagoonal setting, with locally restricted lagoonal conditions (Görmüş and Özkul, 1995). The Çiğdemtepe Limestone is represented by pelagic limestones and is predominantly composed of light-cream to whitish-grey, platy pelagic limestone (Demer, 2008). Based on its faunal and lithological characteristics, the unit is interpreted to have been deposited in a pelagic environment (Karaman et al., 1988; Görmüş and Özkul, 1995). The Koçtepe Formation begins with a conglomeratic-breccia basal layer and this is succeeded by thin- to medium-bedded pelagic marls that range in colour from red and reddish-pink to wine-red, locally exhibiting kidney-shaped weathering (Yalçınkaya, 1989). The flysch-character Kayıköy Formation comprises interbedded claystone, siltstone, sandstone, and conglomerate. The dominant lithologies are claystone and sandstone (Karaman et al., 1988; Görmüş and Özkul, 1995). The pyroclastics largely consist of weakly consolidated interbedded tuff, tuffite, and pumice layers (Demer, 2008). Volcanic lavas occur as subvolcanic stocks and dikes composed of trachyandesite and trachyte, and these volcanic stocks are locally overlain by pyroclastic deposits derived from the Gölcük volcano (Demer, 2008). Slope debris typically developed in front of steep slopes where high hills descend into the plain. They consist of clay, silt, sand, gravel, and blocks (Demer, 2008). The alluvial fan deposits provide the most extensive outcrops in the study area. Within the plain, the deposit consists of unconsolidated sand, gravel, clay, and silt-sized materials, with grains predominantly composed of limestone, chert, tuff, and volcanic clasts (Demer, 2008). The Gökçedağ Complex comprises basic to ultrabasic lithologies containing blocks of variable size. It exhibits a multi-coloured appearance, predominantly green, and locally displays olistostromal features (Yalçınkaya, 1989). The Akdağ Limestone, which overlies the rock units in the study area together with ophiolitic mélanges, comprises white, medium- to thick-bedded recrystallised limestones whose bedding is completely disrupted, and which are highly fractured and jointed (Demer, 2008).

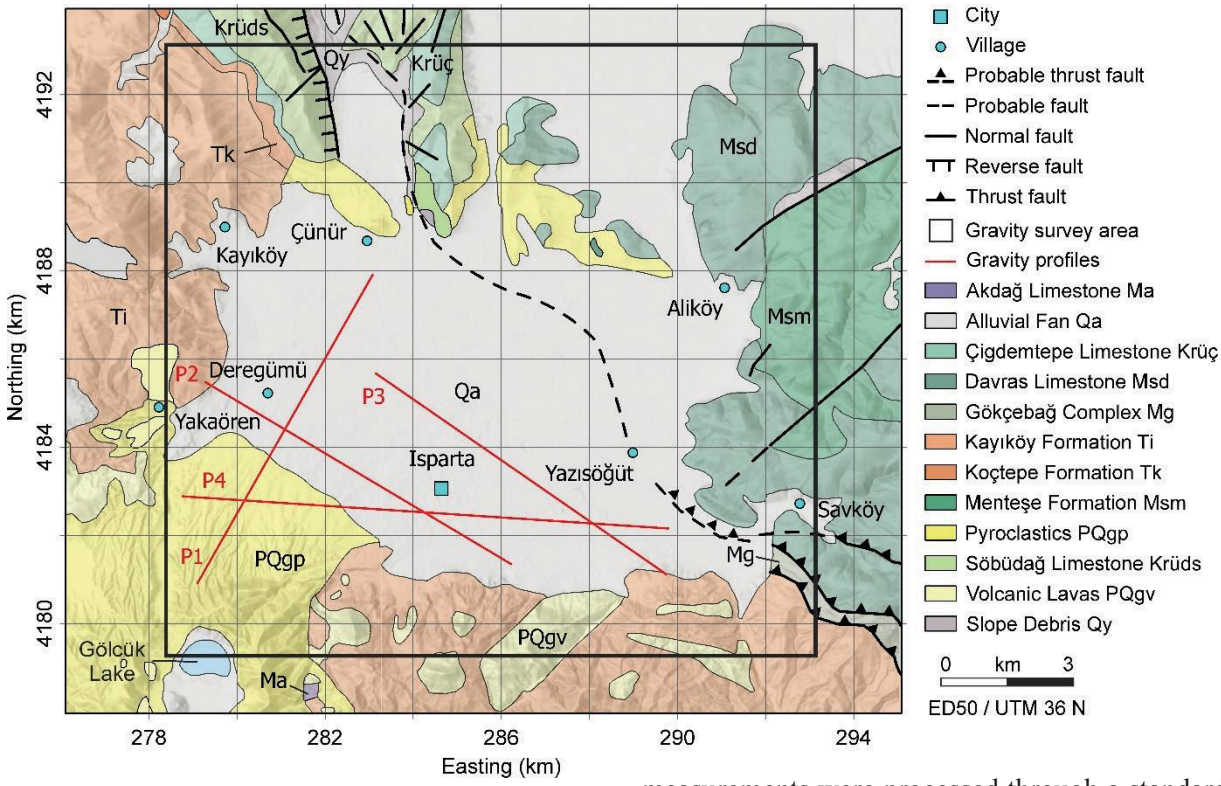


Figure 2. Geologic map of Isparta Basin (compiled from Şenel, 2007a & b; Demer, 2008).

Şekil 2. *Isparta Baseninin jeoloji haritası (Şenel, 2007a ve b ve Demer, 2008'den derlenmiştir).*

Microgravity data

The microgravity data were acquired using a CG-5 Scintrex gravimeter, which provides high-precision measurements and includes internal correction systems for temperature, tilt, and tidal effects (Beyhan et al., 2017; Silahtar et al., 2020). A total of 108 gravity stations were measured across an area approximately 14 km south to north and 14.8 km west to east (Beyhan et al., 2017). While the survey targeted a gridded layout, practical constraints such as terrain and road access led to minor deviations from the planned grid (Silahtar et al., 2020). To control for instrumental drift, a fixed base station was established, and readings were taken at regular two-hour intervals throughout the survey. After fieldwork, the raw gravity measurements were processed through a standard sequence of corrections to isolate the geological signal from external influences (Beyhan et al., 2017; Silahtar et al., 2020). These corrections included instrumental drift adjustments, tidal corrections, latitude corrections, and free-air corrections. The last step was the Bouguer correction, which modelled the gravitational effect of the rock mass between the station and sea level, using a reduction density of 2.4 g/cm³ based on regional rock properties (Dolmaz, 2007). The data set used here was digitised from Beyhan et al. (2017).

METHODOLOGY

Regional and Residual Separation via 2-D Fourier Transform

To separate the microgravity anomalies into regional and residual components, a 2-D Fourier-based spectral filtering method was applied. This method decomposes gravity anomalies into their

components to distinguish shallow from deep crustal effects. It identifies regional and residual contributions in the wave-number domain. The microgravity data set *G(x,y)*, was transformed into the wave number domain via fast Fourier transform (FFT), and its spectral representation was calculated using the following equation (Buttkus, 2000).

$$\hat{G}(k_x,k_y) = \sum_{x=0}^{N_{x-1}} \sum_{y=0}^{N_{y-1}} G(x,y) \,.\, e^{\left(-2\pi i\left(\frac{k_x x}{N_x}+\frac{k_y y}{N_y}\right)\right)} \quad (1)$$

In this equation, N_x and N_y represent the number of samples (or data points) in the x and y directions of the microgravity data grid, respectively. In Fourier space, the energy density of each component is defined by the following equation.

$$E(k_x,k_y) = \left[\hat{G}(k_x,k_y)\right]^2 \quad (2)$$

These energy values were grouped at specific intervals based on the magnitude of the radial wavelength, as given below (Blakely, 1996).

$$r_{k_x,k_y} = \sqrt{{k_x}^2+{k_y}^2} \quad (3)$$

Thus, the resulting 1-D energy spectrum was calculated, and the average energy values for each radial wavelength band were obtained via the following equation.

$$E(r) = \left(\frac{1}{N_r}\right) \sum_{r_{k_x,k_y} \in [r,r+\Delta r)} \left|\hat{G}(k_x,k_y)\right|^2 \quad (4)$$

The first derivative of the spectral energy curve, $\partial E/\partial r$, indicates the variation in energy distribution. At the point of the steepest negative derivative on this curve, the abrupt drop in energy density is identified as the critical threshold radius, R_{opt}. This value is used as an optimal threshold in the wave number domain to separate regional and residual components. With this approach, instead of selecting a fixed threshold, the separation is performed based on the data-specific spectral behaviour, which allows for effective isolation of shallow anomalies in the microgravity data. The obtained spectrum is separated into regional and residual components according to this threshold value, using the equations given below (Buttkus, 2000).

$$\hat{G}_{rej}(k_x,k_y) = \hat{G}(k_x,k_y) \,.\, \mathbb{1}\left[r_{k_x,k_y} \le R_{opt}\right] \quad (5)$$

$$\hat{G}_{rez}(k_x,k_y) = \hat{G}(k_x,k_y) \,.\, \mathbb{1}\left[r_{k_x,k_y} > R_{opt}\right] \quad (6)$$

Through this process, a masking operation was applied, followed by an inverse Fourier transform to transition into the spatial domain. Both components were then obtained in the spatial domain using the following expressions.

$$G_{rej}(x,y) = F^{-1}\left[\hat{G}_{rej}(k_x,k_y)\right] = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{k_x=-\frac{N_x}{2}}^{\frac{N_x}{2}-1} \sum_{k_y=-\frac{N_y}{2}}^{\frac{N_y}{2}-1} \hat{G}_{rej}(k_x,k_y) \,.\, e^{\left(2\pi i\left(\frac{k_x x}{N_x}+\frac{k_y y}{N_y}\right)\right)} \quad (7)$$

$$G_{rez}(x,y) = F^{-1}\left[\hat{G}_{rez}(k_x,k_y)\right] = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{k_x=-\frac{N_x}{2}}^{\frac{N_x}{2}-1} \sum_{k_y=-\frac{N_y}{2}}^{\frac{N_y}{2}-1} \hat{G}_{rez}(k_x,k_y) \,.\, e^{\left(2\pi i\left(\frac{k_x x}{N_x}+\frac{k_y y}{N_y}\right)\right)} \quad (8)$$

2-D inversion of gravity anomalies

The gravity anomaly at any point caused by 2-D rectangular blocks is expressed by the following equation (Rao and Murty, 1978).

$$\Delta g(k) = \sum_{i=2}^{N-1} [F_k(z)]_{ZT(i)} \quad (9)$$

Here, *Δg(k)* is the observed gravity anomaly at point x_k, $F_k(z)$ is the gravity effect of the block located below station *i*, *ZT(i)* is the depth to the top of the block below *i*. The derivation with respect to the depth parameter is given below.

$$\frac{\partial F_{k(z)}}{\partial z} = -2G\Delta\rho \left[\arctan\left(\frac{x_k+\frac{dx}{2}}{z}\right) - \arctan\left(\frac{x_k-\frac{dx}{2}}{z}\right)\right] \quad (10)$$

Here *G,* is the gravitational constant, *Δρ* is the density contrast and *dx* denotes the station interval. The normal equations are given as follows (Murty and Rao, 1989).

$$\sum_{i=1}^{N} \left(\sum_{k=1}^{M} \left(\frac{\partial \Delta g(k)}{\partial a_i}\right)\left(\frac{\partial \Delta g(k)}{\partial a_j}\right) + \lambda\delta_{ij}\right) \Delta a_i = \sum_{k=1}^{M} \Delta g(k) \left(\frac{\partial \Delta g(k)}{\partial a_j}\right), \; j = 1,2,\ldots,N \quad (11)$$

Here $\Delta g(k)$, is the misfit at the kth data point Δa_i, represents the parameter update, $\left(\frac{\partial \Delta g(k)}{\partial a_i}\right)$ is the partial derivative of the misfit with respect to the ith parameter, δ_{ij} denotes the Kronecker delta, λ is the damping factor, N is the number of the parameters and M represents the number of observations. According to this inversion scheme, the algorithm begins with the Marquardt damping factor set to $\lambda = 0$, corresponding to a diagonal coefficient multiplier of $(1 + \lambda) = 1.0$ in the normal equations. This means that the first iteration proceeds with a standard Gauss-Newton step. If the objective function does not improve, the damping factor is adaptively increased using the control parameter NLAMDA, which serves as an iteration index for adjusting λ. The relationship between these variables is given by this equation.

$$\lambda = \frac{1}{2}\,(2^{\,\mathrm{NLAMDA}-1} - 1), \tag{12}$$

This results in successive λ values (0.5, 1.5, 3.5, etc). When convergence is achieved, NLAMDA is reduced and λ returns to zero. The iteration terminates when λ becomes excessively large (typically greater than 15.0), or when the objective function reaches the predefined tolerance. To provide a normalised measure of data fit, we used the root mean square error (RMSE), calculated after each iteration, as follows.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=2}^{N-1}[g_{\mathrm{obs}}(x_i) - g_{\mathrm{cal}}(x_i)]^2} \tag{13}$$

Here, $g_{obs}(x_i)$ and $g_{cal}(x_i)$ represent the observed and calculated gravity anomalies at station i, respectively, and N denotes the total number of observation points. In this formulation, the first and last observation points are excluded because they correspond to artificially extended boundary nodes added for numerical stability at the profile ends. The details of the inversion algorithm are given in Murty and Rao (1989).

3-D inversion of gravity anomalies

The method presented by Rao et al. (1990) focuses on the 3-D inversion of gravity anomalies caused by subsurface geological structures, modelled as a juxtaposition of rectangular prisms. We used a constant density contrast between the sedimentary fill and the underlying basement. The forward modelling step computes the vertical gravity anomaly at a surface point caused by such a prism. The exact expression of the anomaly is derived by integrating Newton's law over the volume of the prism. For a single prism, the expression is given below (Rao et al., 1990).

$$\Delta g(x,y) = G\Delta\rho\left[Z_2B_1 - Z_1B_2 + \frac{X_2}{2}B_3 + \frac{X_1}{2}B_4 + \frac{Y_2}{2}B_5 + \frac{Y_1}{2}B_6\right] \tag{14}$$

Here G, is the gravitational constant, X_1, X_2 and Y_1, Y_2 are the horizontal offsets from the prism centre to its edges in the x-and y-directions, respectively. B_1 to B_6 are composite terms involving arctangent and logarithmic functions of the distances from the observation point to the corners (vertices) of the prism as given in Rao et al. (1990). To invert the gravity data, the depth to the base of each prism is estimated such that the calculated anomalies match the observed ones. The procedure begins with an initial depth estimate based on a linear approximation of the Bouguer slab formula, adapted from Bott's method as given below

$$Z(x,y) = \frac{\Delta g_{obs}(x,y)}{2\pi G\rho} \tag{15}$$

This provides a rough starting model for the basement interface. Following this, the inversion proceeds iteratively. At each iteration, the gravity anomaly is calculated by summing the contributions from all prisms. The discrepancy between the observed and calculated values is then used to update the basement depth (Rao et al., 1990).

$$Z^{new}(x,y) = Z^{old}(x,y) + \frac{\Delta g_{obs}(x,y) - \Delta g_{cal}(x,y)}{2\pi G\rho} \quad (16)$$

The iterative correction continues until residual anomalies fall below a set tolerance or the iteration limit is reached. We used the same RMSE function given previously, serving as a diagnostic measure of convergence. The process yields a 3-D basement relief model that explains the gravity data under constant density contrast. This method is particularly well suited for modelling basin structures where lateral density variations are negligible. It offers a practical compromise between interpretational accuracy and computational efficiency. The details of the inversion algorithm are given in Rao et al. (1990).

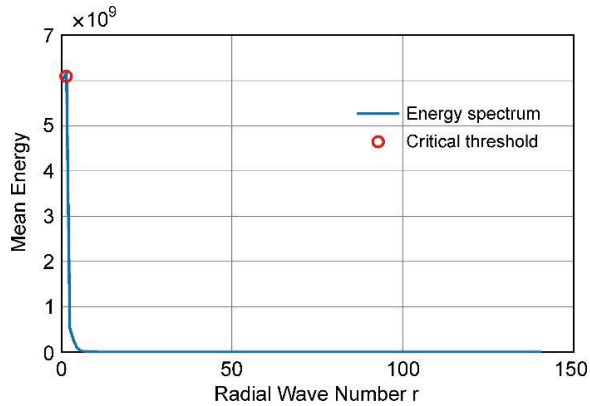


Figure 3. Spectral energy distribution and critical threshold radius.

***Şekil 3**. Spektral enerji dağılımı ve belirlenen kritik eşik yarıçapı.*

ANALYSES and FINDINGS

In the applications, the critical threshold radius R_{opt} was determined as 1 (Figure 3). This value represents a very small circular region in the spectral domain, located very close to the origin, which includes only the components with the longest wavelengths. Mathematically, this implies that only the components with a radius value of at most one are classified as regional, while the rest are included in the residual component. In this case, the regional component becomes highly simplified, and shallow structures located at shorter wavelengths become more pronounced in the residual component. The threshold value of 1 is not a ratio or percentage, but rather a unit of radial distance defined in wave number space, which is related to the data dimensions according to the definition of the Fourier transform. Such low threshold values can enable clearer observation of the residual signal, especially in regions where crustal trends are weak and local anomalies are dominant.

Figure 4 presents a sequential analysis of the Bouguer gravity data through spectral decomposition. Figure 4a shows the complete Bouguer gravity anomaly, reflecting the combined effects of both deep and shallow density variations. The regional component obtained via 2-D Fourier transform, highlighting long-wavelength features that likely correspond to deeper crustal structures or broader isostatic trends, is shown in Figure 4b. The residual component, which isolates short-wavelength anomalies associated with shallow subsurface features such as sedimentary fill variations and fault-controlled basement relief is shown in Figure 4c. When compared with the geological map in Figure 2, a notable spatial correlation emerges between the residual gravity anomalies and the mapped sedimentary-volcaniclastic sequences in the central Isparta Basin. Areas of relatively negative residual anomaly values coincide with the known extent of thick sedimentary and volcaniclastic deposits, while positive anomalies generally correspond to the outcropping or shallowly buried basement units. This spatial agreement confirms that the residual gravity component effectively captures geologically meaningful variations in subsurface

density and validates the use of spectral filtering techniques in this context. The coherence between residual anomaly patterns and surface geology supports the reliability of the applied procedures. This consistency indicates that the gravity-based interpretations are geologically sound.

Here, we used a density contrast of -0.58 g/cm^3 (Silahtar et al., 2020) in the 2-D and 3-D inversion procedures. The 2-D inversion results obtained from four gravity profiles are shown in Figure 5. Figure 6 illustrates the convergence behaviour of the 2-D inversion algorithm, shown here for the P4 profile since the inversions performed for the other profile data sets exhibited nearly identical convergence characteristics. The outcomes reveal a consistent pattern of sedimentary deposit thickness and basement topography across the Isparta Basin. The sedimentary fill reaches a maximum thickness of approximately 0.52 km, indicating significant accommodation space within the basin interior.

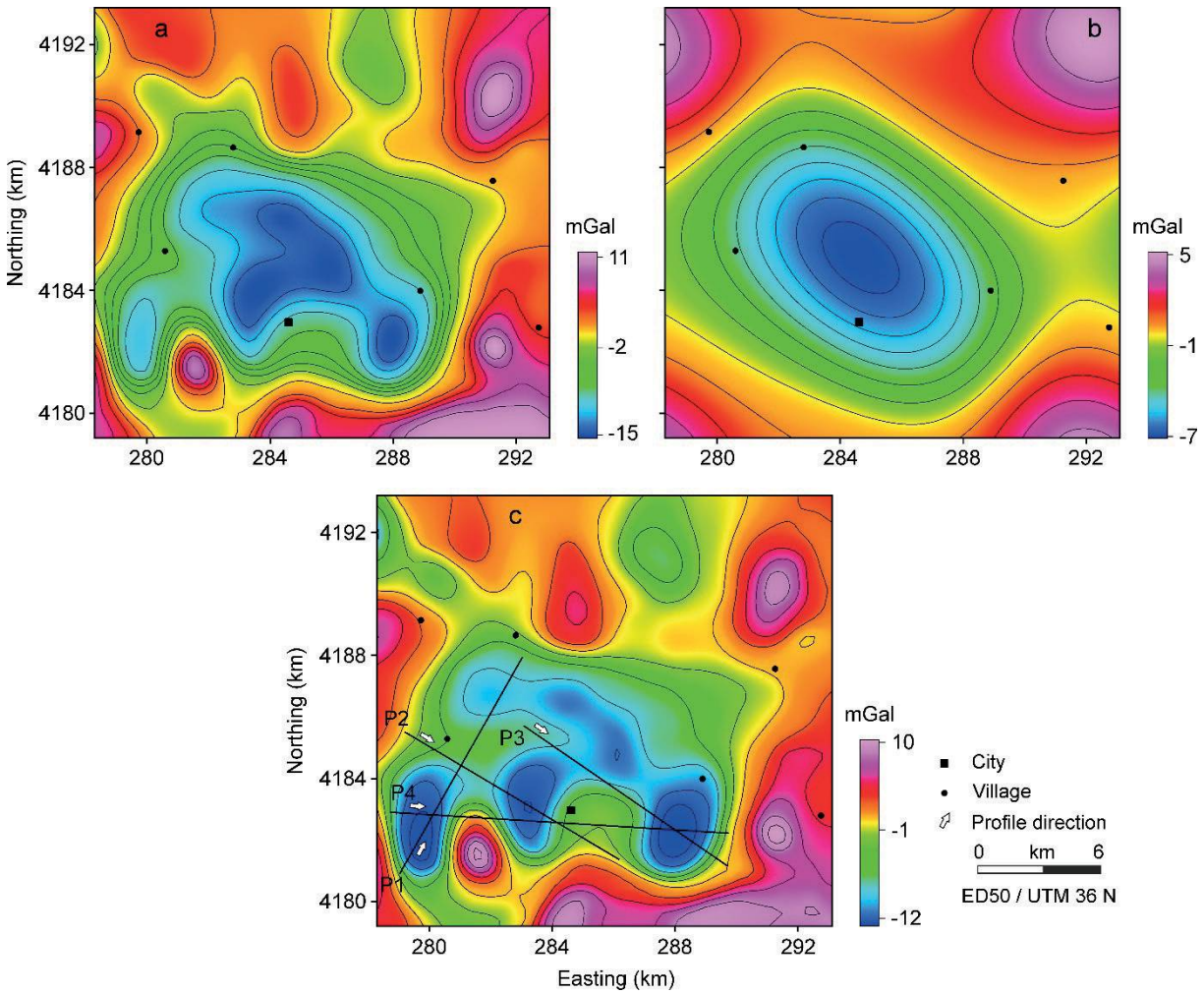


Figure 4. a) Bouguer gravity anomaly, **(b)** regional anomaly and **(c)** residual anomaly for the Isparta Basin. The profiles used for 2-D inversion are shown in **(c)**. Black square and dots show settlements given in Figure 2.

Şekil 4. a) *Isparta Baseni Bouguer gravite anomalisi,* ***(b)*** *bölgesel anomali ve* ***(c)*** *rezidüel anomali. 2-B ters çözüm için kullanılan profiler* ***(c)*** *de verilmiştir. Siyah kare ve noktalar Şekil 2'de verilen yerleşim yerlerini göstermektedir.*

The basement surface exhibits an undulatory (wavy) morphology characterised by alternating highs and lows, which suggest a tectonically controlled structural configuration rather than a purely depositional subsidence pattern. This undulation likely results from block faulting mechanisms associated with extensional tectonics, as well as superimposed deformation due to compressional reactivation. The structural irregularity is consistent across all profiles, which highlights a high degree of internal coherence and strengthens the reliability of the inversion results. The geological map of the Isparta Basin (Figure 2) supports these interpretations. The basin is bounded by major fault zones such as the Fethiye-Burdur Fault Zone and the Akşehir Fault Zone, which converge in the north to define a triangular tectonic depression. These active fault systems, along with smaller-scale faults like the Davraz and Kayı Faults, likely contribute to the observed relief of the basement. Furthermore, the presence of unconsolidated Quaternary alluvial fans, slope debris, and volcaniclastic sequences in the central part of the basin corresponds spatially with areas of maximum accumulation inferred from gravity inversion. The abrupt basement depth changes at short lateral distances may reflect fault-controlled subsidence zones or tilted fault blocks, supporting the interpretation of a tectonically segmented basement structure.

Geologically, the Isparta Basin lies within a complex transition zone between the compressional Tauride belt and the extensional Western Anatolian domain. The undulatory basement relief observed in this study likely reflects these dual tectonic influences. The basement highs may correspond to relatively uplifted blocks of Mesozoic carbonates (e.g., Davras Limestone), while the lows align with graben-like structures infilled by younger Neogene-Quaternary clastic sediments and volcanics. This interpretation is consistent with the mapped stratigraphy, where older autochthonous carbonate and flysch sequences are unconformably overlain by thick basin-fill deposits.

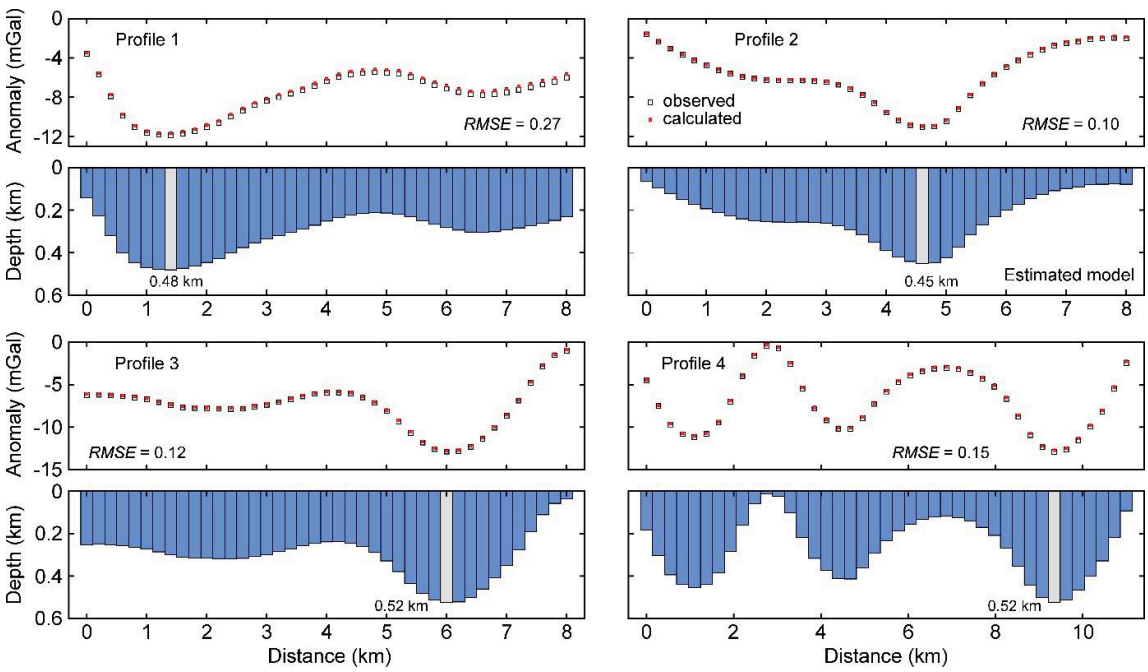


Figure 5. 2-D inversion results of selected four profiles.

Şekil 5*. Seçilen dört profile ait 2-B ters çözüm sonuçları.*

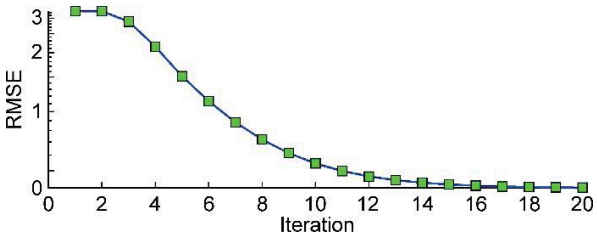


Figure 6. Convergence behaviour of the 2-D inversion algorithm.

Şekil 6*. 2-B ters çözüm algoritmasının yakınsama davranışı.*

The 3-D inversion results presented in Figure 7a illustrate the detailed spatial distribution of basement topography across the Isparta Basin, with the sedimentary fill thickness effectively visualized as the vertical distance between the modelled basement and the surface. The model reveals that the thickest sedimentary accumulations (>0.5 km) occur predominantly in the central and southwestern parts of the basin, forming an arcuate zone that aligns well with the mapped extents of alluvial fan deposits and volcaniclastic units shown on the geological map (Figure 2). This sedimentary wedge appears to taper toward the northeast and southeastern flanks of the basin, where basement highs are more prominent and shallow carbonate rocks (e.g., Davras and Çiğdemtepe Limestones) crop out or lie close to the surface. The deposit thickness pattern suggests structurally controlled deposits, possibly bounded and shaped by major fault systems such as the Fethiye-Burdur Fault Zone to the west and the Akşehir Fault Zone to the east. The observed asymmetry in sedimentary fill distribution may reflect tilted fault blocks or syn-depositional subsidence linked to extensional tectonics.

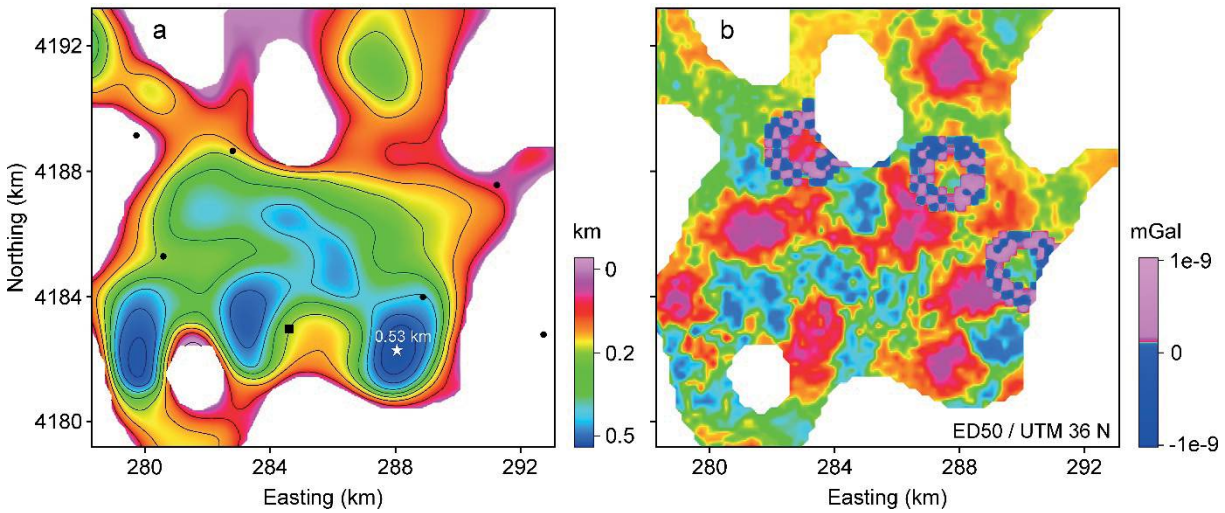


Figure 7. a) The basement depth obtained from 3-D inversion and **(b)** the difference between observed and calculated anomalies. Black square and dots show settlements given in Figure 2.

Şekil 7*. **a)** 3-B ters çözüm ile elde edilen temel kaya derinliği **(a)** ve **(b)** ölçülen ile hesaplanan anomali arasındaki fark. Siyah kare ve noktalar Şekil 2'de verilen yerleşim yerlerini göstermektedir.*

The inversion algorithm excluded positive gravity anomalies to avoid contamination from high-density basement outcrops or volcanic intrusions. Because sedimentary deposits are less dense than the basement rocks, they generate negative gravity anomalies. Therefore, to ensure the 3-D inversion accurately represents the sedimentary thickness distribution, only these negative anomalies were used. This exclusion led to localised blank zones in the deposit thickness map, particularly over areas dominated by high-density lithologies. Despite this, the calculated infill distribution closely corresponds with the 2-D inversion results, indicating high internal consistency across different inversion methodologies. The misfit map (Figure 7b) further supports the reliability of the 3-D inversion, showing minimal discrepancy between the observed and calculated gravity anomalies. Thus, the forward model adequately captures the basin's subsurface density structure. These findings, when considered alongside the regional tectonic framework of the Isparta Angle, where compressional and extensional regimes converge, emphasise the complex interplay between basin infill patterns and active fault systems. The agreement between geophysical models and geological observations supports the validity of the inversion methodologies and confirms that the resulting sedimentary fill thickness distribution is both geologically plausible and geophysically robust. Figure 8 presents the variation of RMSE values with iteration number for the 3-D inversion. A clear convergence trend is observed, which indicates that the optimisation process effectively minimised the misfit between the observed and calculated gravity data. In addition, to explicitly assess the internal consistency between the 2-D and 3-D inversions, the P4 profile was extracted from the 3-D basement model along the same trace used for the 2-D inversion (Figure 9). The 3-D-derived P4 section closely repeats the 2-D solution (Figure 6), including the position of basement highs and lows and the peak sedimentary thickness within the central part of the basin. Very minor discrepancies are confined to the margins and are attributable to methodological differences between the two schemes, rather than substantive mismatch. This cross-sectional agreement corroborates the strong 2-D/3-D coherence and provides additional confidence in the basin-scale interpretations presented here.

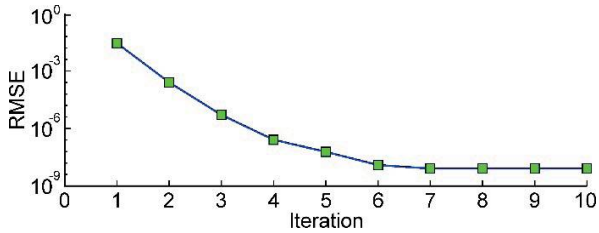


Figure 8. Convergence behaviour of the 3-D inversion algorithm.

***Şekil 8**. 3-B ters çözüm algoritmasının yakınsama davranışı.*

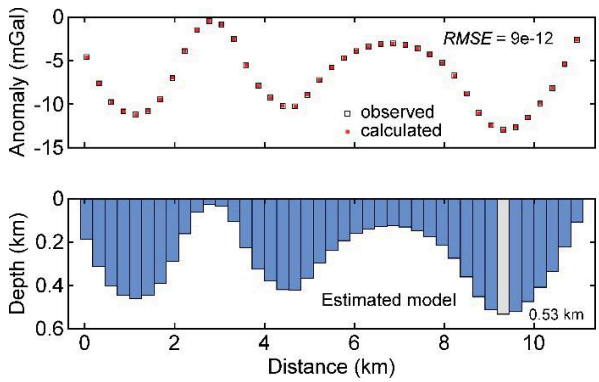


Figure 9. P4 profile extracted from 3-D inversion results.

***Şekil 9**. 3-B ters çözüm sonuçlarından elde edilen P4 profili.*

The spatial variability of sediment thickness revealed by the gravity inversion provides fundamental insights into the local dynamic behaviour of the Isparta Basin. This information is

particularly relevant for seismic microzonation and urban planning, as variations in sediment thickness directly control site response parameters such as fundamental resonance frequency, amplification potential, and the impedance contrast between the sedimentary package and underlying bedrock. Areas characterised by thicker sedimentary accumulations are expected to have lower resonance frequencies and stronger amplification of long-period ground-motions, while shallower zones tend to respond at higher frequencies. These relationships enable the gravity-derived sediment thickness model to serve as a first-order dataset for delineating microzonation zones and guiding future site-specific investigations, including shear-wave velocity profiling and ambient noise analyses. Therefore, the proposed approach offers a cost-effective and regionally consistent framework for identifying areas with distinct dynamic characteristics, which can support engineering design, seismic hazard assessment, and disaster-risk mitigation strategies within the Isparta Basin.

CONCLUSIONS

The application of a 2-D Fourier-based spectral filtering method, followed by both 2-D and 3-D local optimisation-based inversions, produced a reasonable model of the Isparta Basin's basement relief and sedimentary fill. By selecting a data-specific threshold radius in the wave number domain, shallow residual anomalies, those most directly tied to sedimentary fill thickness and fault-controlled relief, were successfully isolated from deeper regional trends. Geologically, the Isparta Basin occupies the apex of the Isparta Angle, where the extensional regime of Western Anatolia converges with the compressional Tauride orogen and intersects the Hellenic and Cyprus subduction arcs. Its stratigraphy spans Mesozoic carbonates and flysch through Neogene-Quaternary volcanics and clastics, all unconformably overlain by thick alluvial-fan and slope-debris deposits. Two principal fault systems, the northwest-trending Fethiye-Burdur Fault Zone and the northeast-trending Akşehir Fault Zone, frame the basin and drive block-faulted subsidence. These structures are mirrored in the gravity anomalies: long-wavelength regional trends trace deep crustal flexure and subduction-related loading, while short-wavelength residual anomalies sharply define block-faulted basement highs and sedimentary fills. Residual anomalies highlight zones where sedimentary accumulations reach up to 0.53 km. The undulatory basement topography, marked by alternating uplifted highs and subsiding lows spaced roughly 2-5 km apart, closely follows the trace of the Fethiye-Burdur and Akşehir Fault segments. The highs coincide with outcropping Mesozoic carbonates, whereas the deepest lows align with thick Neogene-Quaternary clastic and volcaniclastic infill. This pattern implies that block-fault rotations and differential subsidence have shaped the basin architecture. Moreover, the amplitude of the residual gravity signal scales with the density contrast between rigid carbonate blocks and softer sedimentary fills, strengthening the idea that gravity anomalies faithfully map both structural and depositional features. These patterns indicate a history of episodic extensional faulting driven by the westward escape of the Anatolian block. Localised compressional reactivation at fault intersections produced the wavy basement relief and variable sedimentary thickness in the Isparta Basin. 2-D inversion along four profiles revealed an undulating basement surface with highs corresponding to uplifted Mesozoic limestone blocks and lows marking Neogene-Quaternary graben-infills. The 3-D inversion further delineated an arcuate deposit in the central and southwestern basin where sedimentary fills exceed 0.5 km in thickness, tapering toward basement highs in the northeast and southeast. The strong agreement between the 2-D and 3-D inversion models, further confirmed by the P4

profile extracted from the 3-D basement surface (Figure 9), and their close correspondence with both residual gravity patterns and mapped geology, collectively attest to the robustness and reliability of the integrated workflow applied to the Isparta Basin. This consistency across different inversion dimensions strengthens the credibility of the derived basement relief and sediment thickness distributions, enhancing confidence in the overall geological interpretation of the basin.

From a seismic-hazard perspective, the mapped sedimentary thickness and fault-controlled undulations are crucial. They strongly influence ground-motion amplification, basin resonance, and liquefaction risk in the densely populated central part of the Isparta Basin. The combined spectral-filtering and inversion approaches for gravity data therefore provide essential data for seismic microzonation and targeted land-use planning, offering a practical framework for identifying zones with differing site-response characteristics and for designing resilient infrastructure throughout the Isparta Basin within this dynamic extensional-compressional transition zone.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu çalışmada, Isparta Havzası'nın jeodinamik evrimine bağlı olarak gelişen havza içindeki sedimanter dolgu kalınlığını ile temel kaya üst yüzeyinin uzaysal değişimini belirlemek amacıyla mikrogravite anomalileri, 2-B Fourier dönüşümü tabanlı spektral filtreleme ve 2-B ile 3-B ters çözüm algoritmalarının kullanımına dayanan bir metodolojiyle analiz edilmiştir. İlk aşamada gravite verisi, dalga sayısı uzayında veri odaklı bir kritik eşik yarıçapı belirlenerek bölgesel eğilimler ile sığ yapı sinyalleri birbirinden ayrılmış, derin kabuksal eğilimi temsil ettiği düşünülen uzun dalga boylu bileşenlerle yerel blok-fay kontrollü anomaliler izole edilmiştir. Bu yaklaşım, dalga sayısı uzayında tanımlanan kritik yarıçapının yalnızca uzun dalga boylu bileşenleri bölgesel eğilim olarak kabul edilmesine dayanmaktadır ve böylece zayıf kabuksal eğilimlerin etkisinde, sığ anomalilerin daha net biçimde ayırt edilmesi sağlanmıştır. Ardından rezidüel anomaliler üzerinde dört ayrı 2-B profil ve tüm çalışma alanını kapsayan 3-B modelleme adımları gerçekleştirilmiş, iteratif güncellemelerle hem gözlenen hem de hesaplanan gravite anomalileri arasındaki çakışmazlık ölçütü minimize edilerek yaklaşık 0,53 km'lik maksimum sedimanter dolgu kalınlığı ve blok-fay segmentasyonu sonucunda oluşmuş dalgalı bir temel kaya topoğrafyası elde edilmiştir. Jeolojik olarak havza, Batı Anadolu'nun genişleme rejimi ile Toros kuşağının sıkışma etkilerinin kesiştiği, Hellen ve Kıbrıs alt dalma zonlarının yakınında yer alan "Isparta Açısı" içinde konumlanmış ve Mezozoik karbonatları ile Neojen-Kuaterner volkanoklastik ve klastik birimleri, kalın alüvyon yelpazeleri ve yamaç molozlarıyla üst üste gelmiştir. Kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu Fethiye-Burdur ve kuzeydoğu-güneybatı yönlendirmeli Akşehir Fay Zonu, havzanın iki ana sınırını oluşturarak blok-fay kontrollü yükselme ve çöküntü alanlarının şekillenmesine neden olmuş, bu yapısal kontrol spektral ayrıştırma sonrasında elde edilen rezidüel anomalilerde negatif anomalilerin kalın sedimanter birikimiyle, pozitif anomalilerin ise sığ karbonat ve ofiyolitik bloklarla örtüşmesiyle doğrulandığı düşünülmüştür. Elde edilen dalgalı temel kaya yüzeyi, 2-5 km ölçeğinde birbirini izleyen yükseltiler ve çukurluklar formunda ortaya çıkmış, bu özellik Anadolu plakasının batıya kaçışıyla tetiklenen faylanma aşamalarının, lokal olarak sıkışmaya uğrayan segmentlerde yeniden etkinleşme göstergesi olarak yorumlanmıştır. Hem 2-B hem de 3-B çözümler arasında sağlanan yüksek uyumluluk ile gravite anomalileri arasındaki tutarlı korelasyon, spektral filtreleme ve lokal optimizasyon yöntemlerinin jeolojik ve jeofiziksel verilerle güçlü bir örtüşme sergilediğini kanıtlamıştır.

Uygulama açısından, haritalanan maksimum 0,53 km civarındaki sedimanter dolgu kalınlıkları, depreme duyarlı mikrobölgeleme çalışmalarına kritik girdi sağlamaktadır ve rezonans frekansına ve yer hareketi büyütme potansiyeline bağlı olarak zemin tepki davranışının ve sıvılaşma riskinin değerlendirilmesinde doğrudan kullanılabilecek derinlik profilleri sunmaktadır. Sedimanter dolgu kalınlığındaki uzaysal değişim, yerel zemin tepkisi ve dolgu-temel kaya empedans kontrastı hakkında birinci dereceden bilgi sağlayarak mühendislik tasarımı, kentsel planlama ve afet risk azaltımı süreçlerine ön bilgi oluşturur. Ayrıca, blok-fay kontrolündeki kalın birikimlerin konumu, kritik altyapı tesislerinin ve yoğun nüfus alanlarının güvenli bölgelerde konumlandırılması için arazi kullanımı planlamasında rehber olma potansiyeline sahiptir. Sonuç olarak, kullanılan veri işleme aşamaları, Isparta Havzası gibi dinamik bir genişleme-sıkışma geçiş zonunda hem bölgesel tektonik segmentasyonu hem de yerel çökelme alanlarının yeraltı yapısını ortaya koymuştur. Böylece gravite verisinin, jeotektonik yorumlardan mühendislik ve afet yönetimi uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede temel ön bilgi kaynağı olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

ACKNOWLEDGEMENTS

We gratefully acknowledge Can Ertekin for his technical expertise in digitising the Bouguer gravity anomaly map and compiling the geological map. We also sincerely thank the three anonymous reviewers for their constructive comments and valuable suggestions, which greatly helped to improve the clarity, quality, and overall presentation of the manuscript. This paper forms part of the PhD dissertation conducted by the corresponding author (RPE) at the Graduate School of Natural and Applied Sciences, Süleyman Demirel University, under the supervision of the co-author (ÇB).

ORCID

Rezzan Pekcan Ekinci https://orcid.org/0000-0002-5367-8857
Çağlayan Balkaya https://orcid.org/0000-0002-0191-8564

REFERENCES

Allen, P. A. & Allen, J. R. (2005). *Basin analysis: principles and applications*. 2nd edition. Blackwell, Oxford, 549 pp.

Barka, A. & Reilinger, R. (1997). Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Annals of Geophysics*, *40*(3), 587–610. https://doi.org/10.4401/ag-3892

Bektaş, Ö., Büyüksaraç, A., Sarıtepe, H. E., Önal, K. M., Canbaz, O., Eyisüren, O., Pamuk, E., Akın, Ö., Akar, F. & Koşaroğlu, S. (2025). Shear-wave velocity model of the Sivas City (inner eastern, Türkiye) using Rayleigh wave ellipticity inversion controlled by 2D microgravity modeling. *Acta Geophysica*, 1-19. https://doi.org/10.1007/s11600-025-01682-7

Beyhan, G., Kanbur, M.Z., Selim H.H., Utkucu, M., Silahtar, A. & Budakoğlu, E. (2017). *Isparta havza yapısının jeofizik yöntemler ile modellenmesi ve senaryo deprem sismik tehlike haritalarının hazırlanması* (Proje No: 114Y836). Project Report, TÜBİTAK.

Blakely, R.J. (1996). *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge University press.

Borcherdt, R.D. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *60*, 29–61. https://doi.org/10.1785/BSSA0600010029

Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodinamica Acta*, *14*(1–3), 3–30. https://doi.org/10.1016/S0985-3111(01)01066-X

Buttkus, B. (2000). *Spectral Analysis and Filter Theory in Applied Geophysics*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Büyüksaraç, A., Eyisüren, O., Bektaş, Ö. & Karaca, Ö. (2023). Bedrock depth calculation of Çanakkale (Turkey) basin using Rayleigh ellipticity and microgravity survey. *Geofísica Internacional*, *62*, 387–401. https://doi.org/10.22201/igeof.2954436xe.2023.62.1.1447

Catuneanu, O. (2006). *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam, 375 pp.

Demer, S.A. (2008). *Isparta ve yakın çevresi yeraltısularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal incelenmesi ve içme suyu kalitesinin izlenmesi* [PhD Thesis]. Süleyman Demirel Üniversitesi.

Dolmaz, M. N. (2007). An aspect of the subsurface structure of the Burdur-Isparta area, SW Anatolia, based on gravity and aeromagnetic data, and some tectonic implications. *Earth, Planets and Space*, *59*, 5–12. https://doi.org/10.1186/BF03352016

Ekinci, Y. L. & Yiğitbaş, E. (2012). Geophysical approach to the igneous rocks in the Biga Peninsula (NW Turkey) based on airborne magnetic anomalies: geological implications. *Geodinamica Acta, 25*, 267–285. https://doi.org/10.1080/09853111.2013.858945

Ekinci, Y.L., Ertekin, C. & Yiğitbaş, E. (2013). On the effectiveness of directional derivative based filters on gravity anomalies for source edge approximation: synthetic simulations and a case study from the Aegean Graben System (Western Anatolia, Turkey). *Journal of Geophysics and Engineering, 10*(3), Article 035005. https://doi.org/10.1088/1742-2132/10/3/035005

Ekinci, Y. L. & Yiğitbaş, E. (2015). Interpretation of gravity anomalies to delineate some structural features of Biga and Gelibolu peninsulas, and their surroundings (north–west Turkey). *Geodinamica Acta, 27*, 300–319. https://doi.org/10.1080/09853111.2015.1046354

Ekinci, Y. L., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö. & Ertekin, C. (2020). Geophysical investigation of Mount Nemrut Stratovolcano (Bitlis, Eastern Turkey) through aeromagnetic anomaly analyses. *Pure and Applied Geophysics, 172*, 3243–3264. https://doi.org/10.1007/s00024-020-02432-0

Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G. & Ai, H. (2023). 3-D gravity inversion for the basement relief reconstruction through modified success-history-based adaptive differential evolution. *Geophysical Journal International*, *235*(1), 377–400. https://doi.org/10.1093/gji/ggad222

Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G. & Özyalın, Ş. (2021). Gravity data inversion for the basement relief delineation through global optimization: a case study from the Aegean Graben System, western Anatolia, Turkey. *Geophysical Journal International*, *224*(2), 923–944. https://doi.org/10.1093/gji/ggaa492

Emre, O., Duman, T. Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. & Kuşçu, I. (2003). Surface faulting associated with the Sultandağı earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey. *Seismological Research Letters*, *74*(4), 382–392. https://doi.org/10.1785/gssrl.74.4.382

Ghose, R., Persaud, P. & Clayton, R.W. (2023). Basin structure for earthquake ground motion estimates in urban Los Angeles mapped with nodal receiver functions. *Geosciences*, *13*, 320. https://doi.org/10.3390/geosciences13110320

Görmüş, M. & Özkul, M. (1995). Gönen-Atabey (Isparta) ve Ağlasun (Burdur) Arasındaki Bölgenin Stratigrafisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *1*, 43–64.

Hunt, J. D., Nascimento, A., Guzman, O. J. R., Furtado, G. C. d. A., ten Caten, C. S., Tomé, F. M. C., Leal Filho, W., Durin, B., Lopes, M. & Wada, Y. (2022). Sedimentary basin water and energy storage: a low environmental impact option for the Bananal Basin. *Energies*, *15*, Article 4498. https://doi.org/10.3390/en15124498

Işık, M. & Şenel, H. (2009). 3D gravity modeling of Büyük Menderes basin in Western Anatolia using parabolic density function. *Journal of Asian Earth Sciences*, *34*(3), 317–325. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2008.05.013

Karaman, M. E., Meriç, E. & Tansel, İ. (1988). Çünür (Isparta) dolaylarında Kretase-Tersiyer geçişi. *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 4*, 80–100.

Kissel, C. & Poisson, A. (1986). Etude paléomagnétique préliminaire des formations néogènes du bassin d'Antalya (Taurides occidentales, Turquie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, *302*, 711–716.

Koçyiğit, A. & Özacar, A. (2003). Extensional neotectonic regime through the NE edge of the outer Isparta Angle, SW Turkey: new field and seismic data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *12*(1), 67–90.

Lima, W.A. & Silva, J.B. (2014). Combined modeling and smooth inversion of gravity data from a faulted basement relief. *Geophysics*, *79*(6), F1–F10. https://doi.org/10.1190/geo2013-0357.1

McKenzie, D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, *30*(2), 109–185. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x

Murthy, I. R. & Rao, S. J. (1989). A Fortran 77 program for inverting gravity anomalies of two-dimensional basement structures. *Computers & Geosciences, 15*(7), 1149-1156. https://doi.org/10.1016/0098-3004(89)90126-X

Okay, A.I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey, in The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen. In Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F. & Seranne, M.(Eds.), *Geological Society of London, Special Publications*, *156,* pp. 475–515.

Onajite, E. (2014). Understanding seismic interpretation methodology. In Seismic Data Analysis Techniques in Hydrocarbon Exploration, pp. 177–211, Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420023-4.00013-7

Pamuk, E., Akgün, M., Özdağ, Ö. C. & Gönenç, T. (2017). 2D soil and engineering-seismic bedrock modeling of eastern part of Izmir inner bay/Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, *137*, 104–117. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.12.016

Piper, J. D. A., Gürsoy, H. & Tatar, O. (2002). Palaeomagnetic evidence for the Gondwanian origin of the Taurides and rotation of the Isparta Angle, southern Turkey. *Geological Journal*, *37*(4), 317–336. https://doi.org/10.1002/gj.920

Rao, B. S. R. & Murthy. I. V. R. (1978). *Gravity and magnetic methods of prospecting*: Arnold-Heinemann (India) Pvt. Ltd., AB, 9 Safdar jang Enclave. New Delhi, 390 p.

Rao, D. B., Prakash, M. J. & Babu, N. R. (1990). 3D and 2½ D modelling of gravity anomalies with variable density contrast. *Geophysical Prospecting*, *38*(4), 411–422. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1990.tb01854.x

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R. … & Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *111*(B5), Article B05411. https://doi.org/10.1029/2005JB004051

Robertson, F., Poisson A. H. A. & Akinci, Ö. (2003). Developments in research concerning Mesozoic–Tertiary Tethys and neotectonics in the Isparta Angle, SW Turkey. *Geological Journal*, *38*(3-4), 195–234. https://doi.org/10.1002/gj.953

Roy, A., Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç. & Ai, H. (2025). Deep learning-based inversion with discrete cosine transform discretization for two-dimensional basement relief imaging of sedimentary basins from observed gravity anomalies. *Geophysical Prospecting*, *73*(1), 113–129. https://doi.org/10.1111/1365-2478.13647

Sari, C. & Şalk, M. (2006). Sediment thicknesses of the western Anatolia graben structures determined by 2D and 3D analysis using gravity data. *Journal of Asian Earth Sciences*, *26*(1), 39–48. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.09.011

Seed, H. B. & Idriss, I. M. (1982). *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, 243 pp.

Silahtar, A., Kanbur, M. Z. & Beyhan, G. (2020). Investigation of a sedimentary basin by using gravity and seismic reflection data in the Isparta basin, southwestern Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *79*(8), 3971–3988. https://doi.org/10.1007/s10064-020-01804-z

Şenel, M. (2007a). *1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Isparta M24 (J10)*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

Şenel, M. (2007b). 1*:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Isparta M25 (J11)*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3–4), 181–241. https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4

Taymaz, T. & Price, S. (1992). The 1971 May 12 Burdur earthquake sequence, SW Turkey: a synthesis of seismological and geological observations. *Geophysical Journal International*, *108*(2), 589–603. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1992.tb04638.x

Timur, E., Kaftan, I., Sari, C. & Şalk, M. (2019). Structure of the Büyük Menderes Graben systems from gravity anomalies. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *28*(4), 544–557. https://doi.org/10.3906/yer-1809-31

Todd, D. K. & Mays, L. W. (2004). *Groundwater hydrology*, third edition. Wiley, New York, 656 pp.

Weissmann, G. S., Hartley, A. J., Scuderi, L. A., Nichols, G. J., Owen, A., Wright, S., Felicia A.L., Holland, F. & Anaya, F. M. L. (2015). Fluvial geomorphic elements in modern sedimentary basins and their potential preservation in the rock record: a review. *Geomorphology*, *250*, 187–219. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.09.005

Wessel, P. & Smith, W. H. (1995). New version of the generic mapping tools. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *76*(33), 329–329.

Wright, T. J., Parsons, B. E., Jackson, J. A., Haynes, M., Fielding, E. J., England, P. C. & Clarke, P. J. (1999). Source parameters of the 1 October 1995 Dinar (Turkey) earthquake from SAR interferometry and seismic bodywave modelling. *Earth and Planetary Science Letters*, *172*(1-2), 23–37. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00186-7

Wu, M., Liu, Z., Qin, Y., Su, K. & Yu, Z. (2025). Thermal property of reservoir rocks at thermal-mechanical coupled conditions and resultant impact on performance of geothermal systems. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, *58*, 8773–8798. https://doi.org/10.1007/s00603-025-04587-5

Yalçınkaya, S. (1989). *Isparta-Ağlasun (Burdur) Dolaylarının Jeolojisi* [PhD Thesis]. İstanbul Üniversitesi.

Yıldız, A. & Toker, V. (1991). Çünür Köyü yöresindeki (Isparta kuzeyi) Üst Kretase-Eosen yaşlı birimlerin planktik foraminiferler ile biyostratigrafik incelemesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni, 34*(2), 43–58. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/5409b2c82d5925a_ek.pdf

Yiğitbaş, E., Elmas, A., Sefunç, A. & Özer, N. (2004). Major neotectonic features of eastern Marmara region, Turkey: development of the Adapazari–Karasu corridor and its tectonic significance. *Geological Journal, 39*, 179–198. https://doi.org/10.1002/gj.962

Türkiye Jeoloji Bülteni
Geological Bulletin of Turkey
69 (2026) 121-168
doi:10.25288/tjb.1765110

Facies Evolution and Lake-Type Variability Related to Climatic Cycles in the Late Triassic Çakrazboz Formation, Western Pontides, Türkiye

Geç Triyas Yaşlı Çakrazboz Formasyonu'nda Fasiyes Evrimi ve İklimsel Döngülere Bağlı Göl Tipi Değişkenliği, Batı Pontidler, Türkiye

Gül Şen[1, *], İsmail Ömer Yılmaz[2]

[1] *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080, Tuşba, Van, Türkiye*
[2] *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800, Çankaya, Ankara, Türkiye*

• Geliş/Received: 16.08.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 24.11.2025 • Kabul/Accepted: 07.12.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 13.01.2026 • Baskı/Printed: 31.01.2026

Araştırma Makalesi/Research Article *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Abstract: The Çakrazboz Formation, located in the Amasra–Kastamonu region of the Western Pontides (NW Türkiye), represents the only known Triassic continental sedimentary succession in Türkiye. This study integrates sedimentological, petrographic, and stratigraphic data from six measured sections to reconstruct depositional environments and evaluate paleoclimatic controls. Field and thin-section analyses reveal a complex facies mosaic comprising three major lithofacies groups: lacustrine, palustrine, and fluvial. Lacustrine facies are represented by carbonate-rich successions, including micrite, wackestone, and packstone, indicating low-energy profundal to sublittoral settings. Palustrine facies, occurring predominantly in marginal lake environments, are characterized by pedogenic overprinting, fenestral fabrics, root traces, and desiccation features, with the Bozköy and Başköy-1 sections showing more pronounced development of these features. Başköy-2 and Başköy-3 exhibit fluvial point-bar deposits with upward-fining successions and pedogenically modified mudstones, representing meandering river systems deposited during overfilled lake stages. Stratigraphic and sedimentological evidence indicates that the basin experienced repeated shifts between underfilled, balanced-fill, and overfilled lake stages. Carbonate-rich successions in the Çakrazboz and lower İncigez sections represent low-energy profundal lacustrine conditions typical of underfilled stages. The upper İncigez and Başköy-1 sections preserve features of balanced-fill conditions, with fining-upward transgressive intervals overlain by progradational littoral facies. Overfilled conditions are locally recorded in Bozköy and in the upper parts of Başköy-1, as evidenced by laterally extensive successions that thicken and coarsen upward, reflecting sustained freshwater inflow. These vertical facies transitions, stacking patterns, and diagenetic overprints are indicative of orbitally forced lake-level fluctuations under subhumid to semi-arid climate regimes, contributing to a broader understanding of Late Triassic continental basin evolution, facies architecture, and climate-controlled sedimentation.

Keywords: Çakrazboz Formation, facies evolution, lake-type variability, orbital cycles, oaleoclimate, Western Pontides

Öz: *Çakrazboz Formasyonu, Türkiye'de bilinen tek Triyas yaşlı kıtasal tortul istif olarak Batı Pontidler'in (Kuzeybatı Türkiye) Amasra–Kastamonu yöresinde yüzeylenmektedir. Bu çalışmada, altı stratigrafik kesitten elde edilen sedimantolojik, petrografik ve stratigrafik veriler birleştirilerek depolanma ortamları yeniden yapılandırılmış ve paleoiklimsel kontrol mekanizmaları değerlendirilmiştir. Saha ve ince kesit analizleri, üç ana litofasiyes grubundan*

Correspondence / *Yazışma:* gul.sen@yyu.edu.tr

http://tjb.jmo.org.tr
http://dergipark.gov.tr/tjb

oluşan karmaşık bir fasiyes mozaiğini ortaya koymaktadır: göl, bataklık (palustrin) ve akarsu (flüviyal). Gölsel istifler, çamurtaşı (mikrit), vaketaşı ve tanetaşı gibi karbonatça zengin fasiyeslerden oluşmakta ve düşük enerjili derin göl-sublitoral (profundal–sublittoral) ortamlara işaret etmektedir. Palustrin fasiyesler, göl kenarı ortamlarında yaygın olup pedojenik alterasyon, fenestral dokular, kök izleri ve kuruma çatlakları ile karakterizedir; Bozköy ve Başköy-1 kesitlerinde bu özellikler daha belirgin şekilde gelişmiştir. Başköy-2 ve Başköy-3 kesitleri, yukarıya doğru incelen kumtaşı-çamurtaşı ardalanmaları ve pedojeneze uğramış çamurtaşlarından oluşan menderesli akarsu sistemlerine ait nokta bar istiflerini içerir ve bu istifler, gölün aşırı dolduğu (overfilled) evrelerde çökelmiştir. Stratigrafik ve sedimantolojik veriler, havzanın tekrar eden şekilde yetersiz dolu (underfilled), dengeli dolu (balanced-fill) ve aşırı dolu (overfilled) göl evreleri arasında geçtiğini göstermektedir. Çakrazboz ve alt İncigez kesitlerindeki karbonatça zengin istifler, yetersiz dolu evrelere özgü düşük enerjili profundal göl koşullarını temsil eder. Üst İncigez ve Başköy-1 kesitleri, üste doğru incelen transgresif istiflerin progradasyonlu litoral fasiyeslerle örtülmesiyle karakterize olan dengeli dolu koşulları yansıtır. Aşırı dolu koşullar, Bozköy ve Başköy-1'in üst seviyelerinde yer yer görülür ve bunlar, sürekli tatlı su girişiyle ilişkili yanal olarak genişleyen, üste doğru kalınlaşan ve tane boyu artan istiflerle tanımlanır. Dikey fasiyes geçişleri, istiflenme desenleri ve diyajenez izleri, yarı nemli ile yarı kurak iklim rejimleri altında yörüngesel zorlamalı göl seviyesi değişimlerini yansıtarak Geç Triyas kıtasal havza evrimi, fasiyes mimarisi ve iklim kontrollü sedimantasyon hakkında daha geniş bir anlayış sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Batı Pontidler, Çakrazboz Formasyonu, fasiyes evrimi, göl tipi değişkenliği, paleoiklim, yörüngesel döngüler.*

INTRODUCTION

Terrestrial sedimentary successions of the Triassic period are rare in Türkiye. These successions, however, offer critical insights into the recovery of continental ecosystems following the end-Permian mass extinction, as well as into the evolution of interior basins under varying climatic and tectonic regimes. The Çakrazboz Formation, exposed in the Amasra–Kastamonu region of the Western Pontides, represents the only known Triassic nonmarine succession in Türkiye. This establishes it a key stratigraphic unit for reconstructing Late Triassic paleogeography, paleoclimate, and depositional dynamics within the Anatolian domain.

During the Mid–Late Triassic, the İstanbul–Zonguldak Terrane occupied a proximal position along the southern margin of Eurasia and experienced early rifting associated with the opening of the Neotethys Ocean (van Hinsbergen et al., 2020). The Western Pontides, located along the northern margin of the Neotethys, recorded the tectonic transition from Gondwanan to Laurasian paleolatitudes during the Late Triassic (Şengör, 1979; Scotese et al., 1979). As continental conditions prevailed across the region, sedimentation became predominantly nonmarine, culminating in the deposition of the Late Triassic Çakrazboz Formation – one of the most complete records of fluvio-lacustrine sedimentation within the Western Pontides.

Detrital zircon U–Pb and Lu–Hf isotopic analyses from Çakrazboz sandstones (Akdoğan et al., 2021) indicate derivation mainly from Carboniferous magmatic sources of the Sakarya Zone, suggesting that the İstanbul–Zonguldak Terrane had already amalgamated with an Armorican-type continental block prior to Late Triassic sedimentation. These results highlight the continuity between the magmatic and sedimentary evolution of the region and demonstrate that this terrane forms the easternmost segment of the Avalonian continental domain, accreted to Baltica during the late Neoproterozoic to early Cambrian interval (Yılmazer et al., 2025). Collectively, these findings provide a refined pre-Triassic basement framework for the subsequent development of the Western Pontides.

Palynological and sedimentological evidence indicates that deposition within the Çakrazboz

basin occurred during the Late Ladinian to Carnian, possibly extending into the earliest Norian (Şen, 2021), contemporaneous with widespread lacustrine sedimentation along the northern Neotethyan margin. Despite its significance, sedimentological data on the Çakrazboz Formation remain limited, and previous interpretations of its depositional environment are inconsistent. Biostratigraphic resolution is hindered by poor fossil preservation, and systematic sedimentological and petrographic analyses have not been undertaken. Consequently, key questions remain regarding the paleohydrology, climatic forcing, and tectonic influences that governed sedimentation in this intracontinental basin.

This study aims to address these gaps through integrated sedimentological and petrographic analyses across six measured stratigraphic sections of the Çakrazboz Formation. The primary objectives are to (1) document vertical and lateral lithofacies variations and reconstruct the spatial and temporal organization of depositional environments, and (2) establish a high-resolution facies architecture model elucidating interactions among fluvial channels, floodplains, ephemeral lakes, and palustrine wetlands. By directly linking lake-level fluctuations to climate oscillations, this research provides a concise yet original perspective on the cyclic nature of sedimentation in Triassic continental basins.

A key methodological advance of this work lies in the systematic and comparative analysis of six stratigraphic successions, integrating field-scale sedimentological data with petrographic characterization of 130 thin sections. This multi-site approach enables recognition of spatially variable facies patterns, diagenetic overprints, and climatically driven stacking motifs, offering a more comprehensive reconstruction of depositional dynamics than previously available for this formation.

To place these depositional patterns in their regional context, the geological and biostratigraphic framework of the Western Pontides is outlined below.

GEOLOGICAL SETTING and BIOSTRATIGRAPHY

The Pontides, a prominent orogenic belt in northern Türkiye, evolved through the closure and complex interactions of the Neotethys Ocean (Şengör, 1989; Robinson, 1997; Okay & Tüysüz, 1999; Simmons et al., 2018). As part of the Tethyan orogenic system, this belt comprises three east–west–trending tectonostratigraphic subdivisions – Western, Central, and Eastern Pontides (Yılmaz et al., 1997). The study area lies within the Western Pontides and is bounded to the south by the İzmir–Ankara–Erzincan suture zone and to the east by the Intra-Pontide suture (Figure 1). Regionally, the Western Pontides represent a foreland system composed of a Variscan metamorphic basement and Carboniferous–Permian plutonic units, overlain by Mesozoic shelf carbonates and, unconformably, by the Triassic continental strata of the Çakrazboz Formation (Figure 2) (Akman, 1992; Yılmaz et al., 1997; Okay and Tüysüz, 1999).

From a geodynamic perspective, the Western Pontides occupied the northern active margin of the Neotethys, which evolved through successive rifting, subduction, and accretion events during the Paleozoic–Mesozoic (Okay and Nikishin, 2015; Nikishin et al., 2015a, b). Early to Middle Triassic extension along the southern Eurasian margin led to intracontinental rifting and the development of fluvio-lacustrine basins. During the Late Triassic, these rift systems evolved into small-scale depressions bounded by normal faults, where continental red beds, marls, and lacustrine carbonates accumulated under fluctuating hydrological and climatic conditions (Nikishin et al., 2015a). The İstanbul–Zonguldak Terrane, which hosts the Çakrazboz Formation, represents an Avalonian-derived continental fragment amalgamated with Laurasia prior to Triassic sedimentation (Okay and Nikishin, 2015).

Figure 1. Major tectonic terranes in the Black Sea/Anatolia region (Okay and Tüysüz, 1999).
Şekil 1. *Karadeniz/Anadolu Bölgesi temel tektonik birimleri gösteren jeoloji haritası (Okay and Tüysüz, 1999).*

In a broader regional context, Nikishin et al. (2015b) emphasized that the Western Pontides formed part of a Late Triassic to Early Jurassic back-arc rift system that developed along the northern Neotethyan margin. This extensional phase predated the opening of the Western Black Sea Basin and strongly influenced the geometry and subsidence patterns of Triassic basins in the Amasra–Cide region.

Çakrazboz Formation

The Çakrazboz Formation was first defined by Varol and Akman (1988) during regional mapping of the Amasra–Çakraz area. Its type section was described by Akman (1992), who reported a maximum thickness of approximately 350 m and delineated its lithostratigraphic boundaries. Palynological and sedimentological data from Rutherford et al. (1992) and Alişan and Derman (1995) constrained its age to the Late Triassic and emphasized its distinct nonmarine character. Stolle (2016) later refined the stratigraphic framework by correlating the formation with equivalent fluvial units elsewhere in the Western Pontides using geochemical proxies.

The studied sections are situated in the Amasra and Kastamonu provinces of northwestern Anatolia, within the Western Pontides. These include the Çakraz, Bozköy, and İncigez sections near Amasra, and the Başköy-1, Başköy -2, and Başköy -3 sections near Cide in Kastamonu (Figure 3).

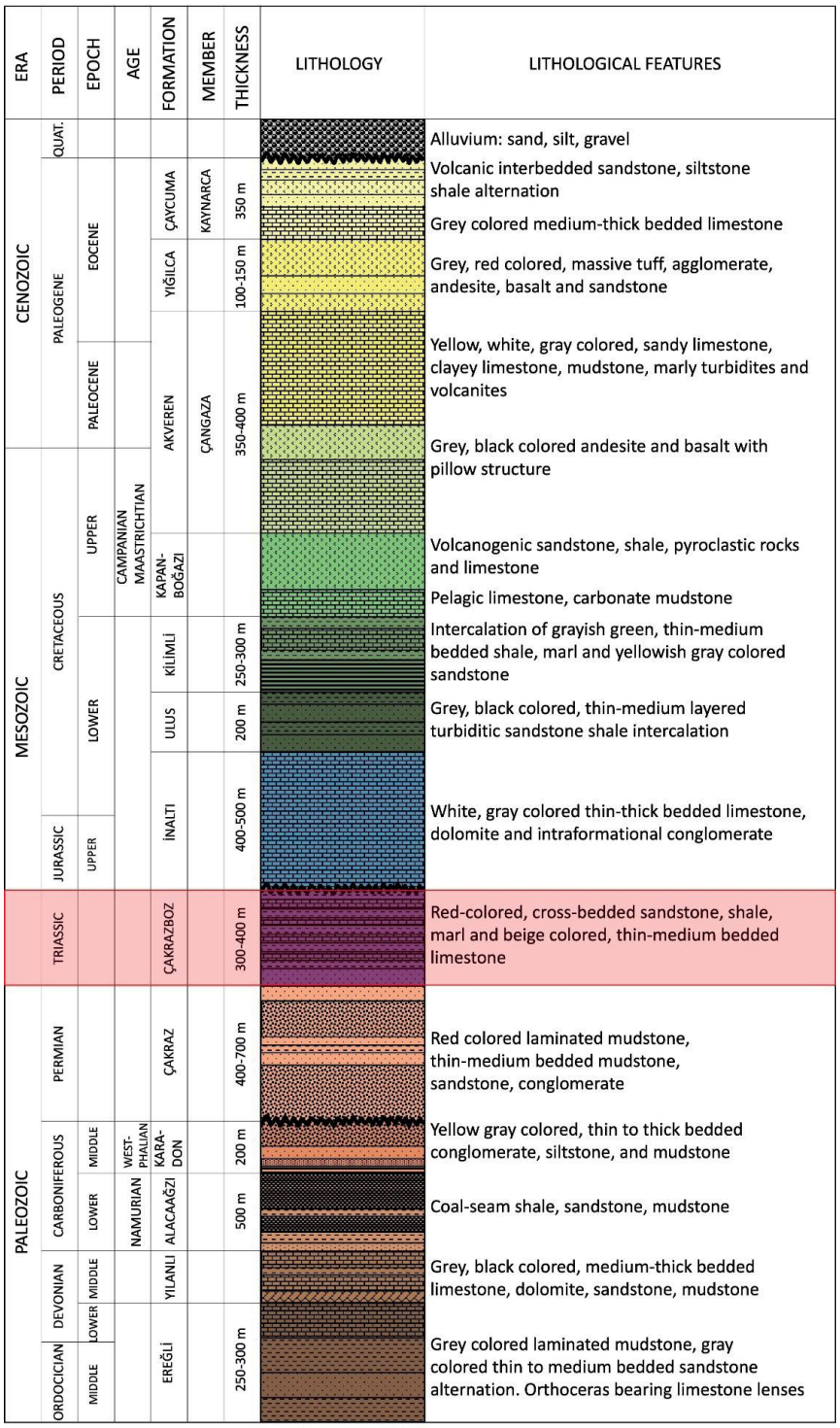


Figure 2. The studied sections are indicated by the red-shaded area on the generalized stratigraphic column of the Zonguldak–Amasra region (modified from Akbaş et al., 2002).

Şekil 2. *Çalışılan kesitler, Zonguldak-Amasra bölgesinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti üzerinde kırmızı renkli alan ile gösterilmiştir (Akbaş vd., 2002'ten yararlanılarak çizilmiştir).*

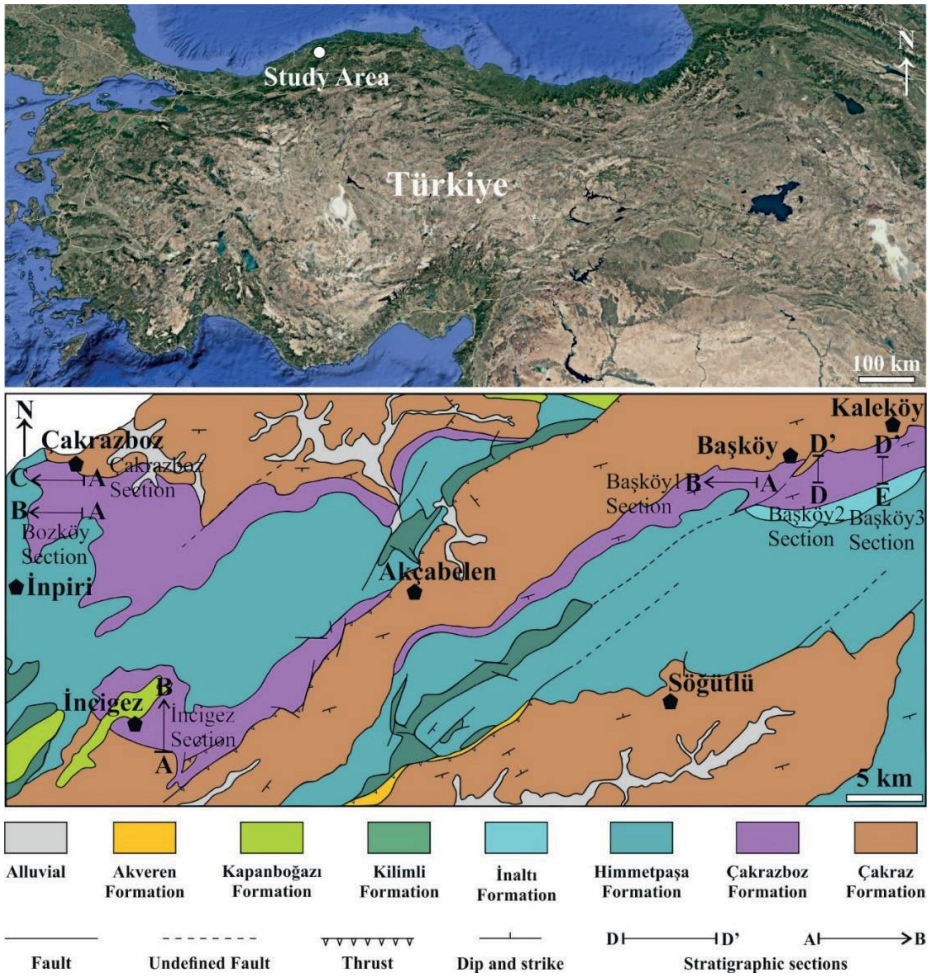


Figure 3. a) The study area indicated on the Türkiye location map prepared using Google Earth imagery, and **(b)** the geological map of the study area showing the locations where the stratigraphic sections were measured along with the strike directions of these sections.

Şekil 3. a) *Çalışma alanı, Google Earth görüntüsü kullanılarak hazırlanan Türkiye konum haritası üzerinde gösterilmiştir,* ***(b)*** *çalışma alanının jeoloji haritası ile stratigrafik kesitlerin ölçüldüğü lokasyonlar ve bu kesitlerin doğrultuları gösterilmiştir.*

On the Turkish geological map, Çakraz, Bozköy, and İncigez lie on the Zonguldak E28 1:100,000 sheet (Akbaş et al., 2002), whereas the Başköy sections are on the Zonguldak E29 sheet (Gedik and Aksay, 2002).

Locally, the formation exhibits thickness variations from 20 m at Başköy-3 to 66 m at Bozköy, controlled by synsedimentary faulting and differential subsidence within a rift-related lacustrine basin (Varol and Akman, 1988; Akman, 1992; Şen, 2021). Structural highs formed by folded and thrusted Paleozoic–Mesozoic units directed sediment routing into localized depocenters (Okay and Tüysüz, 1999). Paleogeographic reconstructions place the study area at ~20°–30° N paleolatitudes under a warm–humid to semi-arid climate (Scotese et al., 1979), consistent with alternating oxidized and reduced lacustrine deposits.

The Çakrazboz Formation thus records the nonmarine response to Early Triassic extensional tectonism, representing an intracontinental equivalent of syn-rift sedimentation prior to the onset of Cretaceous back-arc spreading (Okay and Nikishin, 2015; Nikishin et al., 2015a; Nikishin et al., 2015b).

Palynological and biostratigraphic data, although scarce, provide crucial constraints on the formation's age. Samples from the Çakrazboz Formation are generally barren (Alişan and Derman, 1995). However, palynofloral assemblages from the overlying Başköy Formation contain typical Late Triassic taxa such as *Ovalipollis*, *Triradispora*, *Infernopollenites*, and *Enzonalapollenites* (Alişan and Derman, 1995). Additional analyses by Şen (2021) revealed a palynofloral association characterized by *Ovalipollis ovalis*, *Triadispora*, and *Enzonalapollenites*, suggesting a Late Ladinian to Carnian, and possibly earliest Norian age. This interpretation aligns well with coeval palynostratigraphic records from Tethyan and European basins (Kürschner and Herngreen, 2010; Fijałkowska-Mader et al., 2015), reinforcing the regional correlation. Detrital zircon U–Pb ages obtained from sandstones of the formation further support this assignment, yielding dominant Carboniferous and Neoproterozoic–Cambrian age populations indicative of Sakarya-type continental sources and a Late Triassic depositional age (Akdoğan et al., 2021).

The underlying Çakraz Formation has recently been redefined as Permian in age based on macrofloral and ichnological evidence, including *Annularia*, *Stigmaria*, and the tetrapod footprints *Hyloidichnus* (Gand et al., 2011). These fossils indicate a Cisuralian (Early Permian) age for the lower red beds and suggest deposition in palustrine floodplain environments under warm and seasonally humid conditions. The Çakrazboz Formation, which conformably overlies these deposits, represents the transition to younger fluvio-lacustrine successions of Late Triassic age (Gand et al., 2011; Şen, 2021; Tüysüz, 2022).

MATERIALS and METHODS

Field Works and Sampling

Fieldwork was conducted in the Amasra (Bartın) and Cide (Kastamonu) districts within the Western Pontides of northwestern Anatolia. Six stratigraphic sections of the Çakrazboz Formation were measured bed-by-bed: Çakraz, Bozköy, İncigez, and Başköy-1, Başköy -2, and Başköy-3. A total of 342 rock samples were systematically collected along the measured sections (Table 1).

Table 1. Geographic coordinates, total number of samples, and stratigraphic thickness of the measured sections of the Çakrazboz Formation.

Çizelge 1. *Çakrazboz Formasyonu'nun ölçülü stratigrafik kesitlerinin kalınlığı, coğrafik koordinatları ve toplam numune sayıları*

Section No	Sampling Sites	Coordinates	Total Sample	Section Thickness (m)
1	Çakraz village	41°45'45.3"N 32°27'52.1"E	56	37
2	Bozköy village	41°46'00.7"N 32°27'36.2"E	52	66
3	İncigez village	41°42'40.8"N 32°28'53.4"E	112	60
4	Başköy village-1	41°46'15.6"N 32°42'18.0"E	48	33
5	Başköy village-2	41°45'49.5"N 32°42'21.1"E	35	59
6	Başköy village-3	41°45'49.5"N 32°42'21.1"E	36	20

At each section, sedimentological attributes such as lithology, grain size, sedimentary structures, bed thickness (±1 cm), and contact relationships were recorded in detail. Lithological colors were determined using the GSA Rock-Color Chart (2009), and all field sketches were digitized using CorelDRAW to produce standardized stratigraphic sections.

Chemical Analysis

Chemical fractionation was performed on rock samples to classify the studied sedimentary rocks according to their relative silica, carbonate, and organic matter contents. This approach allowed the determination of detrital, carbonate, and organic components forming the rocks. Elemental geochemical analyses were carried out to quantify organic carbon, inorganic carbon, and silica contents of the Çakrazboz Formation, following the procedures of Verardo et al. (1990), Hedges and Stern (1984), and Wang et al. (2012). Acidification was used to remove inorganic carbon and isolate organic fractions.

A total of 137 samples were analyzed (Çakraz: 28; Bozköy: 20; İncigez: 39; Başköy-1: 21; Başköy-2: 10; Başköy-3: 19). Approximately 10 g of each sample was crushed to <0.25 mm and oven-dried at 100 ºC to remove moisture. The samples were then treated with 10% dilute HCl to dissolve carbonate minerals ($CaCO_2$) and rinsed three times with deionized water. After drying, residues were exposed to 50% diluted H_2O_2 to oxidize organic matter until the solution became clear, following Wang et al. (2012).

The weight loss recorded after each treatment step was used to calculate carbonate and organic matter contents, while the insoluble residue was interpreted as primarily composed of clay and quartz. The resulting compositional data enabled differentiation of carbonate-rich, siliciclastic-rich, and organic-bearing sedimentary rocks and were further integrated with petrographic and facies observations to evaluate compositional variations across the formation.

Sedimentary Texture Analysis

Sedimentary texture and provenance analyses were performed to infer depositional processes, transport mechanisms, and source characteristics, following the procedures of Pettijohn et al. (1973), Reineck and Singh (1980), Boggs (2014), and Dickinson (1985). Sandstone texture was evaluated in terms of grain morphology, roundness, surface features, particle size, and overall detrital fabric. These parameters were used to interpret hydrodynamic conditions and depositional environments (Şen, 2021).

Grain morphology was quantified through projection measurements of sphericity and roundness. Sphericity was calculated as the ratio between the diameters of the inscribed and circumscribed circles of each grain (Sneed and Folk, 1958), whereas roundness was determined as the ratio between the curvature diameter of the sharpest corner and the inscribed circle diameter (Dobkins and Folk, 1970).

Grain-size parameters, including mean, sorting, skewness, and kurtosis, were computed using the graphical methods of Folk and Ward (1957). A total of 219 quartz grains from 11 sandstone samples (Başköy-2 and Başköy-3) were analyzed. Microscopic thin-section images were printed, and individual grains were outlined to measure diameters using a circle template and ruler. All measurements were statistically processed to obtain mean, median, mode, and sorting indices. Sphericity and roundness were also evaluated using visual comparison charts (Powers, 1953; Pettijohn et al., 1987, 2012). This combination of graphical and microscopic methods provided reliable interpretations of hydraulic energy fluctuations and depositional settings within the Triassic fluvio-lacustrine system.

For provenance analysis, point-counting was performed on the same thin sections following the Gazzi–Dickinson method (Dickinson, 1985) to determine the relative proportions of quartz (Q), feldspar (F), and lithic fragments (L). A total of 111 to 379 framework grains were counted per sample, depending on grain abundance and thin-section quality, to minimize statistical uncertainty. The obtained QFL percentages were plotted on the

ternary diagram of Dickinson (1985) to classify sandstone provenance.

Sedimentary Petrographic Analysis

Petrographic analyses were conducted to define and classify the studied rocks according to their mineralogical composition, cement type, textural features, and porosity characteristics.

This classification aimed to distinguish between compositional and textural variations among lacustrine, palustrine, and fluvial facies.

A total of 130 thin sections were examined under a Leica DM2700 polarizing microscope at ×4–×10 PPL magnification to characterize texture, mineral composition, fossil content (ostracods, charophytes), and diagenetic modifications, including sparry calcite cement, fenestral fabrics, root traces, and calcrete formation.

Facies classification followed the schemes of Folk (1959) and Dunham (1962) for carbonate textures; Miall (1996) and Boggs (2006) for siliciclastic facies; and Platt and Wright (1992), Stow (2005), Alonso-Zarza and Tanner (2009), and Flügel (2010) for microfacies analysis and diagenetic interpretation. Broader depositional models and facies transitions were assessed following Reading and Levell (1996), and Tucker and Wright (1990), emphasizing the genetic relationship between depositional processes and sedimentary architecture.

This This integrated petrographic approach enabled recognition of gradual transitions among fluvial, palustrine, and lacustrine facies associations, as well as the identification of shallowing-upward cycles characteristic of hydrologically balanced lacustrine systems. The methodology closely follows Şen (2021) for Triassic lacustrine successions of the Western Pontides, ensuring consistency between petrographic observations and facies interpretation.

RESULTS

Lithostratigraphy

The Çakrazboz Formation exhibits pronounced lateral and vertical facies variability across the Western Pontides, reflecting an environmental transition from deep-lacustrine carbonate deposition in the northwest (Çakrazboz–İncigez) to marginal lacustrine and fluvial systems towards the southeast (Başköy area). The overall stratigraphic architecture is characterized by repetitive shallowing-upward successions, recording alternating hydrological and climatic conditions during the Late Triassic.

Çakrazboz section

The Çakrazboz stratigraphic section represents a well-preserved lacustrine succession dominated by thick-bedded and dark-grey limestones (0.3–4.5 m thick), underlain by basal carbonate mudstones ranging in color from light greenish-grey to whitish (Figure 4). Light olive-grey and yellowish-grey mudstones exhibit well-developed lamination, whereas very light grey to white carbonate mudstones are massive. Laminated carbonate mudstones indicate deposition under low-energy and deeper lacustrine conditions, while massive varieties reflect suspension settling during quiescent phases. Dark grey limestones in the upper part mark shallower lacustrine intervals with intermittent oxygenation, and the repetitive shallowing-upward pattern records climatically induced lake-level fluctuations controlling carbonate productivity (Gierlowski-Kordesch, 2010) (Figure 5).

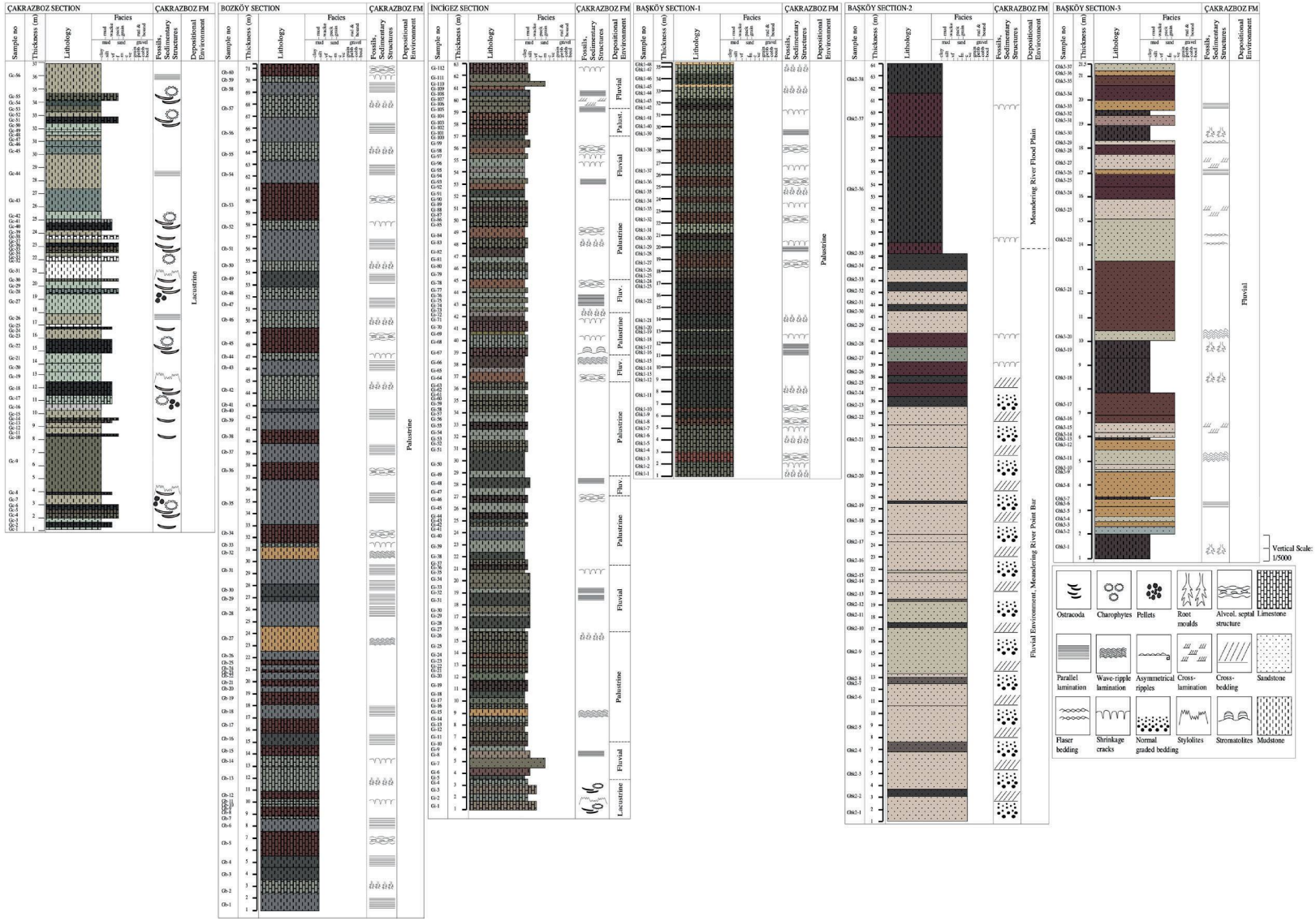


Figure 4. Measured stratigraphic sections of the Çakrazboz Formation.

Şekil 4. *Çakrazboz Formasyonuna ait ölçülü stratigrafik kesitler.*

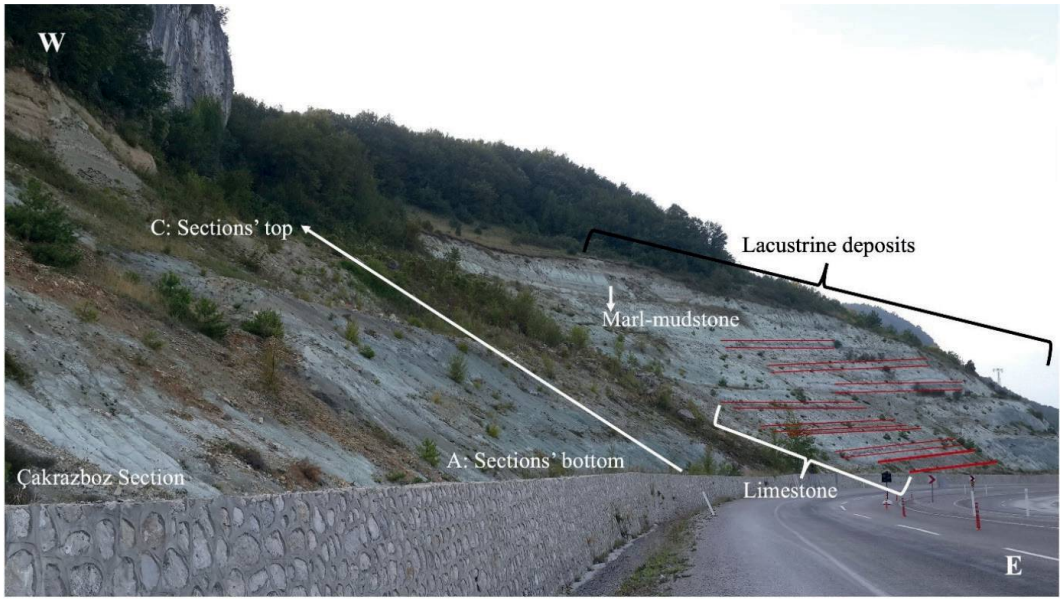


Figure 5. Field photograph of the Çakrazboz section showing lacustrine deposits characterized by limestone and mudstone alternations.

Şekil 5. *Kireçtaşı ve çamurtaşı ardalanmaları ile karakterize gölsel (lacustrine) çökelleri gösteren Çakrazboz kesitinin arazi fotoğrafı.*

The geochemical data are consistent with these sedimentological patterns. A clear inverse relationship between $CaCO_2$ and SiO_2 contents reflects alternating phases of chemical carbonate precipitation and siliciclastic influx. Based on these results, the rocks were classified as mudstone and marlstone with regard to Stow (2005) mudstone classification (Figure 6a), and as siliceous mudstone and carbonated mudstone following Gamero-Díaz et al. (2012) (Figure 6b). Mudstones contain 3–9 % organic matter (OM), and limestones 1–2 %. Elevated OM in fine-grained mudstones indicates deposition under dysoxic lacustrine conditions, whereas carbonate enrichment corresponds to drier intervals with enhanced evaporation and supersaturation. These lithological and geochemical features together represent a hydrologically balanced lacustrine system oscillating between humid and arid climatic phases.

Bozköy section

The Bozköy stratigraphic section displays a well-developed fluvio-palustrine succession composed of interbedded mudstone, marlstone, siltstone, and calcrete-like lithofacies (Figure 4). The basal part consists of grey laminated mudstones, overlain by alternating reddish-brown and greenish-grey marlstones that culminate in reddish-brown marl beds (Figure 7a and b). These marl–mudstone alternations dominate the section. The upper part includes more frequent siltstone/mudstone intervals (Figure 7c), representing fluvial siltstone facies, including a distinctive pale yellowish-orange laminated siltstone bed used for correlation with the Başköy-1 and İncigez sections (Figure 7d), along with carbonate mudstone/marl alternations. Lamination varies from parallel in grey mudstones to wavy in yellowish siltstones, whereas the marlstones exhibit desiccation cracks and root molds. These features indicate periodic subaerial exposure, pedogenic alteration, and shallow-water deposition under fluctuating groundwater

conditions. The alternation of reddish-brown and greenish-grey marl layers clearly reflects oxidation–reduction variations and short-term hydrological shifts along the lake margin.

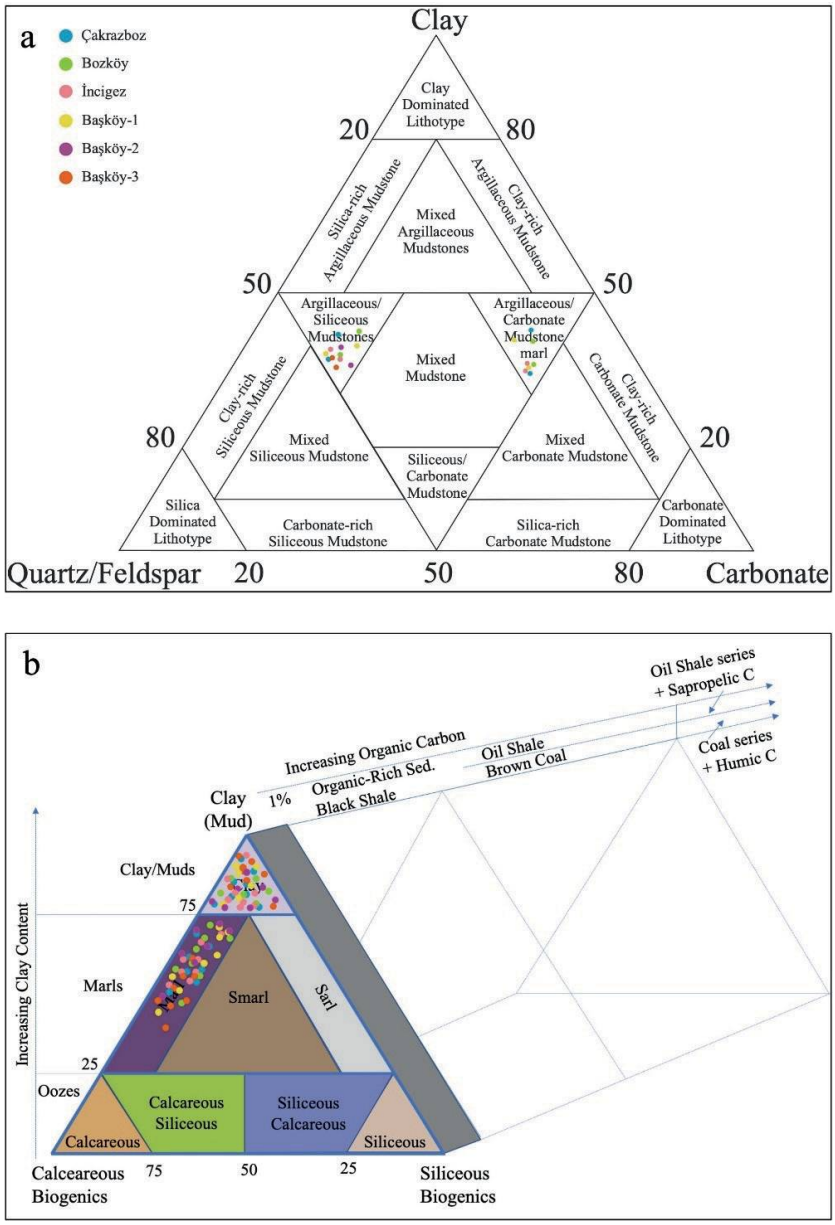


Figure 6. a) Stow (2005) compositional mudstone classification ternary diagram, based on biogenic carbonate and silica, and mud/clay components, showing the studied rocks classified as mudstone and marlstone; the representative symbols of the Çakrazboz Formation sections are shown, **(b)** Gamero-Díaz et al. (2012) ternary diagram illustrating the classification of the samples as siliceous mudstone and carbonated mudstone.

Şekil 6. a) *Biyojenik karbonat ve silis ile çamur/kil bileşenlerine dayalı Stow'un (2005) kompozisyonel çamurtaşı sınıflamasını gösteren üçgen diyagram, çalışılan kayaçların çamurtaşı ve marn olarak sınıflandırılması ve Çakrazboz Formasyonu kesitlerine ait temsilî sembollerin gösterimi,* ***(b)*** *Gamero-Díaz vd. (2012) üçgen diyagramında örneklerin silisli çamurtaşı ve karbonatlı çamurtaşı olarak sınıflandırılması gösterilmektedir.*

Figure 7. Field photographs of the Bozköy section, showing **(a)** the basal level consisting of grey laminated mudstone, **(b)** overlying alternating reddish-brown and greenish-grey marlstones that culminate in reddish-brown marl beds, **(c)** upper parts of the section characterized by more frequent siltstone/mudstone and carbonate mudstone–marl alternations, and **(d)** a fluvial pale yellowish-orange laminated siltstone bed used as a marker horizon for correlation with the Başköy-1 and İncigez sections.

***Şekil** 7. Bozköy istifine ait arazi fotoğraflarında; **(a)** taban kesiminde gri renkli laminalı çamurtaşı düzeyi, **(b)** bu düzeyin üstünde, ardalanan kırmızımsı-kahverengi ve yeşilimsi-gri marnlar ve bunların kırmızımsı-kahverengi marn seviyeleriyle sonlanması, **(c)** kesitin üst kesimlerinde daha sık görülen silttaşı/çamurtaşı ile karbonatlı çamurtaşı–marn ardalanmaları, ve **(d)** Başköy-1 ve İncigez kesitleriyle korelasyon için kılavuz düzey olarak kullanılan flüvyal kökenli soluk sarımsı-turuncu renkli laminalı silttaşı seviyesi gösterilmiştir.*

Based on their chemical composition, the rocks were classified using the mudstone scheme of Stow (2005) (Figure 6a) and the mudstone classification of Gamero-Díaz et al. (2012) (Figure 6b). Accordingly, the rocks were defined as mudstone and marlstone following Stow (2005), and as siliceous mudstone and carbonated mudstone following Gamero-Díaz et al. (2012). Mudstones contained 1–3 % organic matter (OM) and marlstones 1–4 %, showing moderate preservation of organic matter under variable redox conditions. Carbonate enrichment in the upper layers corresponds to pedogenic modification, and alternating carbonate–siliciclastic inputs reflect lake-margin variability controlled by climatic oscillations. Collectively, the sedimentological and geochemical data reveal periodic wet–dry alternations in a palustrine environment progressively transitioning toward marginal lacustrine conditions.

İncigez section

The İncigez stratigraphic section (Figure 4) exhibits a vertically organized succession of lacustrine, palustrine, and fluvial deposits (Figure 8a). The lower part consists of carbonate mudstones and limestones, representing shallow lacustrine environments (Figure 8b). The middle intervals are dominated by palustrine facies such as laminar calcretes, green–brown marlstones, and paleosols containing root traces – typical of fluctuating water tables. The upper part comprises siltstone, mudstone, and silcrete-like beds that display cross- and parallel laminations as well as desiccation cracks, indicating episodic subaerial exposure and intermittent fluvial influx. (Figure 8c). This vertical pattern records a progressive infilling of a lacustrine basin evolving into marshy and fluvial environments under climate-driven hydrological fluctuations.

The rocks were classified as mudstone and marlstone according to Stow (2005) mudstone classification (Figure 6a), and as siliceous mudstone and carbonated mudstone based on Gamero-Díaz et al. (2012) (Figure 6b). Mudstones contain 1–2 % organic matter (OM) and sandstones/siltstones 1–3 %, with an upward increase in detrital input and decreasing carbonate content, marking a transition from lacustrine to palustrine–fluvial conditions. These relationships confirm that the İncigez succession records alternating humid and arid phases linked to orbitally modulated climatic forcing.

Başköy-1 section

The Başköy-1 stratigraphic section (Figure 4) represents a marginal lacustrine succession characterized by paleosol-bearing limestones and calcretes at the base, overlain by thin-bedded marlstones, mudstones, and siltstones (Figures 9a). The basal interval includes limestone and mudstones indicative of lacustrine conditions. The middle part comprises palustrine marlstones interbedded with laminated and massive siltstones, whereas the uppermost part transitions into fluvial siltstone facies, including a distinctive pale yellowish-orange laminated siltstone beds – used for correlation with the İncigez and Bozköy sections (Figure 7d). Desiccation cracks are common in greenish-grey and reddish-brown marl–paleosol beds (Figure 9b), while the diverse coloration results from Fe–Mn oxidation under fluctuating vadose–phreatic conditions.

The rocks were classified as mudstone and marlstone according to Stow (2005) mudstone classification (Figure 6a), and as siliceous mudstone and carbonated mudstone based on Gamero-Díaz et al. (2012) (Figure 6b). Organic matter ranges from 1–3 %, being higher in marlstones than in mudstones. Carbonate-rich layers coincide with reduced detrital influx and correspond to shallowing-upward cycles. The integration of lithological and geochemical patterns indicates alternating wet–dry climatic cycles that governed carbonate precipitation and pedogenesis at the lake margin during progressive basin infilling.

Başköy-2 section

The Başköy-2 stratigraphic section is dominated by fluvial sandstone–mudstone alternations (Figures 4). Sandstone beds are medium to thick, cross-bedded, and normal graded, passing upward into pedogenically altered mudstones. These successions exhibit clear fining- and thinning-upward trends, recording channel abandonment, lateral accretion, and overbank deposition during waning-energy stages (Figure 10). Sandstones occur as tabular cross-bedded sets with planar lamination and erosional bases, characteristic of point-bar architectures developed through lateral channel migration. Alternating sandstone–mudstone couplets record episodic flooding and overbank sedimentation under variable discharge regimes.

Figure 8. Field photographs of the İncigez section, showing **(a)** a succession of lacustrine, palustrine, and fluvial deposits, **(b)** the lower part composed of carbonate mudstones and limestones representing shallow lacustrine environments, and **(c)** the upper part characterized by siltstone, mudstone beds belonging to palustrine and fluvial environments.

Şekil 8. *İncigez stratigrafik kesitine ait arazi fotoğrafları;* ***(a)*** *lakustrin, palustrin ve flüviyal çökel istifi,* ***(b)*** *sığ gölsel ortamları temsil eden karbonatlı çamurtaşı ve kireçtaşlarından oluşan alt kesim, ve* ***(c)*** *palustrin ve flüviyal ortamlara ait silttaşı, çamurtaşı tabakalarının yer aldığı üst kesim gösterilmiştir.*

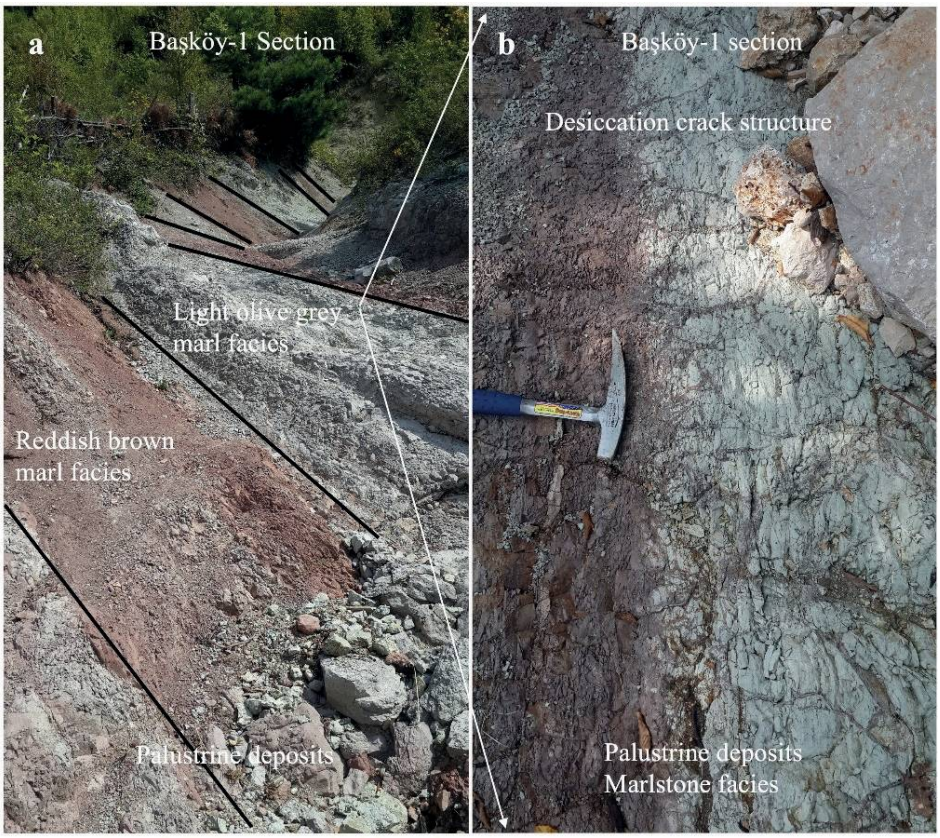


Figure 9. Field photographs from the Başköy-1 section showing **(a)** basal paleosol-bearing limestones and calcretes overlain by marlstone and mudstone units, and **(b)** close-up of desiccation cracks developed in greenish-grey marlstone layer in a palustrine setting.

Şekil 9. *Başköy-1 kesitinden arazi fotoğraflarında;* ***(a)*** *taban kesimde yer alan paleosol içeren kireçtaşları ve kalkerlerin üzerinde gelişen yeşilimsi gri ve kırmızımsı kahverengi marn ardalanması,* ***(b)*** *palüstrin ortamda yeşilimsi gri marn tabakasında gelişmiş kuruma çatlaklarının yakın plan görünümünü göstermektedir.*

The mudstone lithofacies were determined as clay based on Stow (2005) classification (Figure 6a) and as argillaceous/siliceous mudstone according to Gamero-Díaz et al. (2012) (Figure 6b). Geochemically, quartz arenites contain 1–3 % organic matter (OM) and mudstones 1–4 %, with carbonate precipitation restricted to pedogenic calcretes formed during subaerial exposure. The inverse $CaCO_2$–SiO_2 relationship reflects alternating siliciclastic influx and carbonate stability during dry intervals. Such rhythmic alternations indicate climate-controlled discharge variations in a meandering fluvial network influenced by seasonal aridity.

Grain-texture analyses from eight thin-section samples (Figure 11) reveal subangular to subrounded grains with low to moderate sphericity (0.25–0.70) and generally poor sorting (Table 2). Most samples are immature to submature, though a few exhibit moderately well-sorted textures. Sample GBK2-2 contains the most rounded grains (0.60–1.00), whereas GBK2-28 shows the lowest sphericity (<0.30). Statistical parameters indicate coarse-skewed and leptokurtic to platykurtic distributions, suggesting variable hydraulic sorting and fluctuating flow energy.

Figure 10. Field photograph from the Başköy-2 section showing fluvial sandstone–mudstone alternations. Medium- to thick-bedded, cross-bedded, normally graded sandstones pass upward into pedogenically modified mudstones, forming fining- and thinning-upward successions indicative of channel abandonment, lateral accretion, and overbank deposition.

Şekil 10. *Başköy-2 kesitinden flüvyal kumtaşı–çamurtaşı ardalanmasını gösteren arazi fotoğrafı. Orta–kalın tabakalı, çapraz katmanlı ve normal derecelenmiş kumtaşları yukarı doğru pedojeneze uğramış çamurtaşlarına geçerek kanal terkini, yanal birikimi ve taşkın düzlüğü çökellerini yansıtan, incelen tane boyu ve kısalan tabaka kalınlığıyla, yukarı doğru sığlaşan bir istifi işaret etmektedir.*

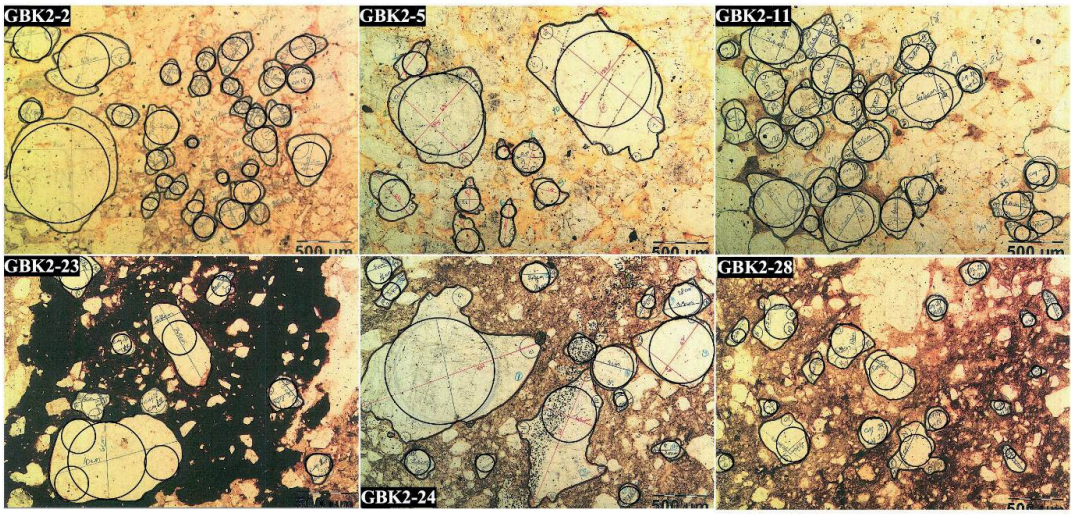


Figure 11. The illustration shows drawings related to the grain-texture analysis performed on thin-section microphotographs.

Şekil 11. *Şekil, ince kesit mikrofotoğrafları üzerinde yapılan tane-doku analizine ilişkin çizimleri göstermektedir.*

These textural features are consistent with quartz arenite–quartz wacke alternations and indicate short-distance transport within a low-gradient fluvial system. According to Pettijohn's (1987) classification, these sandstones correspond to quartz arenite and quartz wacke types, reflecting variable textural maturity and compositional purity (Figure 12).

Başköy-3 section

The Başköy-3 stratigraphic section consists of fluvial siliciclastic deposits composed of sandstone, sandy mudstone, and reddish to blackish-red mudstone lithofacies (Figures 4). These facies occur cyclically and display distinct coloration – pinkish-grey, yellowish-grey, dark yellowish-orange, and blackish-red – caused by oxidation–reduction variations during deposition. Hematite and limonite impart reddish–orange hues, indicating oxidizing floodplain conditions with local Eh–pH fluctuations (Franke and Paul, 1980; Rech-Frollo, 1971). Sandstone layers are medium- to thick-bedded, while sandy mudstone and mudstone layers are thinner and often display root traces, pedogenic mottling, and desiccation structures (Figure 13a). Cross-lamination, wavy lamination, and asymmetrical ripple marks are common in sandstone facies, suggesting dynamic but periodically emergent floodplain environments (Figure 13b).

Sedimentary-rock classification for the Başköy-3 section was conducted using the compositional mudstone scheme of Stow (2005) (Figure 6a), the mudstone classification of Gamero-Díaz et al. (2012) (Figure 6b), and the sandstone ternary classification diagram of Pettijohn et al. (1987) (Figure 12). According to these schemes, the mudstone lithofacies were classified as clay-rich mudstones in the sense of Stow (2005) and as argillaceous to siliceous mudstones following Gamero-Díaz et al. (2012), whereas the sandstone lithofacies were identified as quartz arenites and wackes based on the classification of Pettijohn et al. (1987).

Quartz arenites contain 1–10 % organic matter (OM), wackes 2–9 %, and mudstones 1–6 %. Carbonate is minimal in sandstones but occurs in fine-grained beds as pedogenic or diagenetic calcite. The alternation of red and green oxidation layers and pedogenic calcrete beds reflects periodic water-table fluctuations under semi-arid climatic conditions. Combined lithological, textural, and geochemical evidence demonstrates that Başköy-3 records repetitive floodplain deposition and subaerial exposure events governed by climate-controlled hydrological oscillations in a semi-arid continental basin.

Table 2. Sedimentary texture parameters of sandstones in the Başköy-2 and Başköy-3 sections.

Çizelge 2. *Başköy-2 ve Başköy-3 istiflerindeki kumtaşılarının sedimanter doku parametreleri.*

	Grain Size Parameters					
Sample No	**Si**	**Ski**	**K_G**	**Mz**	**Md**	**C**
GBK2-1	0.56	-0.26	0.93	1.17	1.26	0.86
GBK2-2	0.88	-0.19	1.13	1.31	1.48	1.75
GBK2-5	0.79	-0.22	0.65	1.02	1.22	1.53
GBK2-11	0.58	0.12	0.77	0.86	0.82	0.80
GBK2-23	0.61	-0.22	1.31	1.37	1.42	1.25
GBK2-24	0.50	-0.33	1.42	1.35	1.40	1.51
GBK2-28	0.70	-0.06	1.12	1.41	1.44	0.63
GBK2-31	0.49	0.23	0.94	0.68	0.62	0.73
GBK3-9	0.58	0.03	0.74	0.94	0.93	0.78
GBK3-11	0.55	-0.24	1.00	1.26	1.34	0.70
GBK3-20	0.27	0.00	0.84	1.50	1.50	0.46

Si: Sorting, Ski: Skewness, K_G: Kurtosis, Mz: Mean grain size, Md: Median grain size, C: Coefficient of gradation

Grain-texture analyses of three thin sections (Figure 14) reveal subrounded to rounded grains with low to moderate sphericity (0.25–0.70). GBK3-9 is poorly sorted and texturally submature, GBK3-11 is moderately sorted with slightly higher grain sphericity, and GBK3-20 is very well

sorted, exhibiting nearly symmetric grain-size distributions. Statistical data show coarse-skewed to symmetric, leptokurtic to platykurtic curves, reflecting reworking under fluctuating flow energy.

To interpret the depositional setting, sediment transport dynamics, and source characteristics of the Başköy-2 and Başköy-3 sections, grain-size and petrographic data were jointly evaluated. Grain-size parameters obtained from sedimentary texture analyses were plotted on the classification diagrams of Folk and Ward (1957) (Figure 15a), Stewart (1958) (Figure 15b), and Passega (1964) (Figure 15c). The results consistently indicate that the sandstones were deposited under fluvial conditions. According to the Folk and Ward (1957), and Stewart (1958) diagrams, the sandstones were formed through fluvial processes, whereas the Passega (1964) diagram reveals transportation as both bedload and suspension load. These interpretations, supported by poor to moderate sorting, subangular to subrounded grain shapes, and variable sphericity values (0.25–0.70), point to short-distance sediment transport within a low-gradient, meandering fluvial system influenced by fluctuating hydraulic energy and seasonal climatic oscillations.

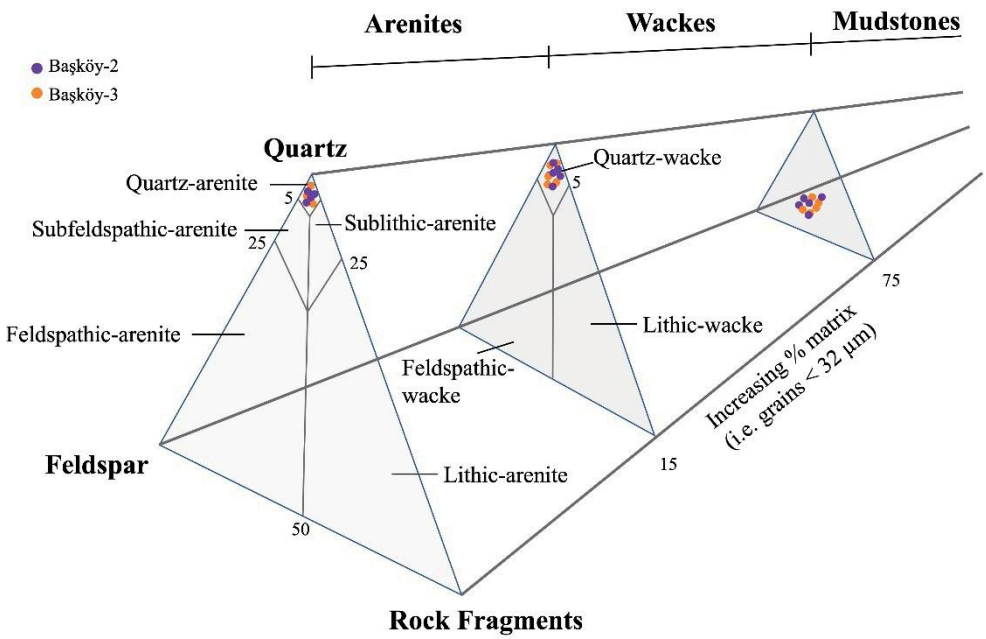


Figure 12. Pettijohn's (1987) ternary sandstone classification diagram, constructed using the relative proportions of grain size, composition, and matrix content. The representative symbols of the Başköy-2 and Başköy-3 samples are indicated.

Şekil 12. *Pettijohn'un (1987) üçgen kumtaşı sınıflama diyagramı, tane boyu, bileşim ve matriks içeriğinin göreceli oranlarına göre oluşturulmuştur. Başköy-2 ve Başköy-3 örneklerine ait semboller diyagram üzerinde gösterilmiştir.*

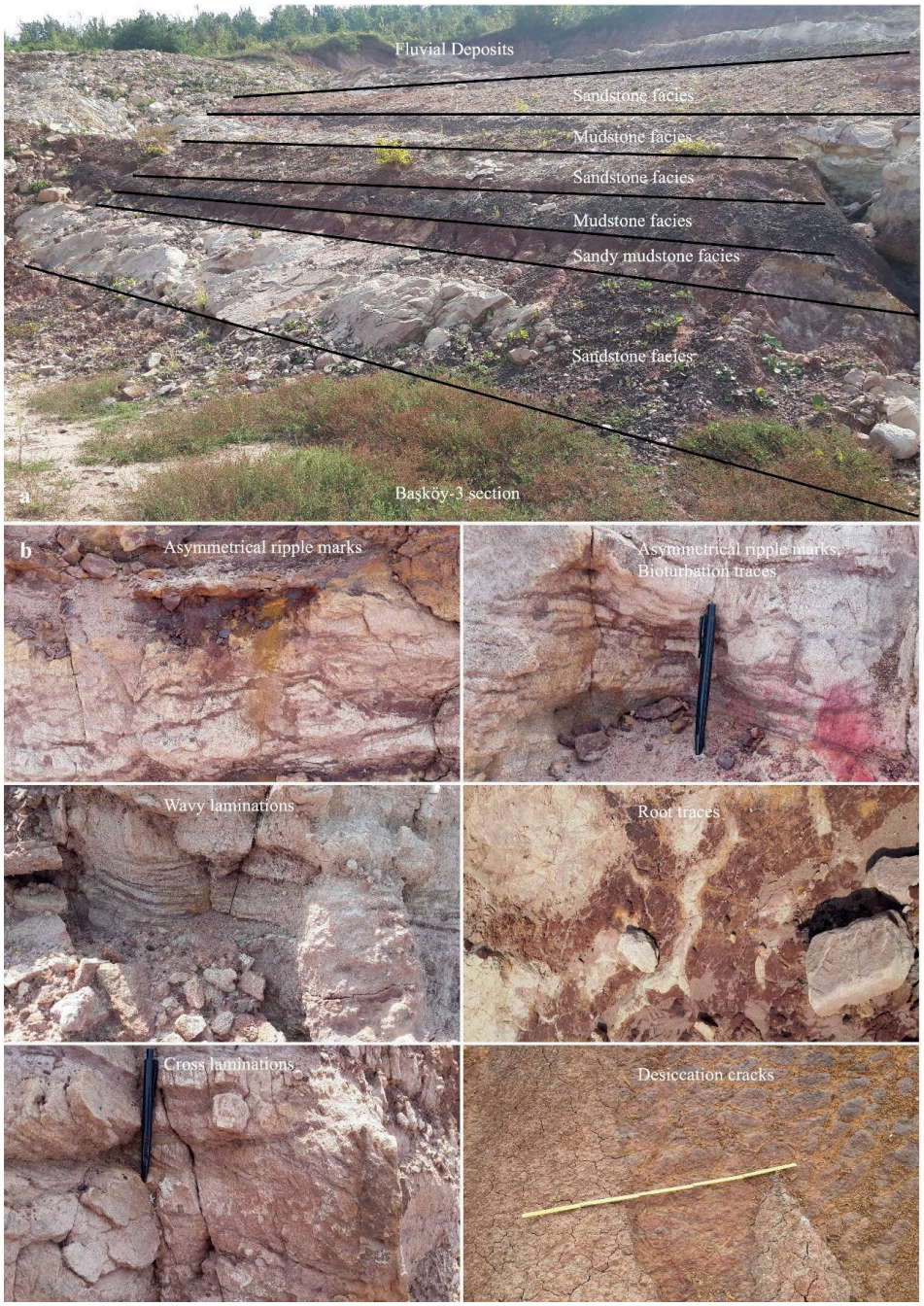


Figure 13. Field photographs from the Başköy-3 section showing fluvial sandstone–mudstone alternations: **a)** sandstone beds are medium- to thick-bedded, whereas sandy mudstone and mudstone layers are thinner, **(b)** asymmetrical ripple marks, bioturbation traces, wavy lamination, cross-lamination, root traces, and desiccation structures are observed, indicating dynamic but periodically emergent floodplain environments.

Şekil 13. *Başköy-3 kesitinden flüvyal kumtaşı–çamurtaşı ardalanmasını gösteren arazi fotoğrafları:* ***a)*** *kumtaşı tabakaları orta–kalın tabakalı olup, kumlu çamurtaşı ve çamurtaşı seviyeleri daha incedir,* ***(b)*** *asimetrik ripple izleri, biyotürbasyon izleri, dalgalı laminasyon, çapraz laminasyon, kök izleri ve kuruma çatlakları gözlenmekte olup, bu özellikler dinamik fakat periyodik olarak yüzeylenen taşkın düzlüğü ortamlarını işaret etmektedir.*

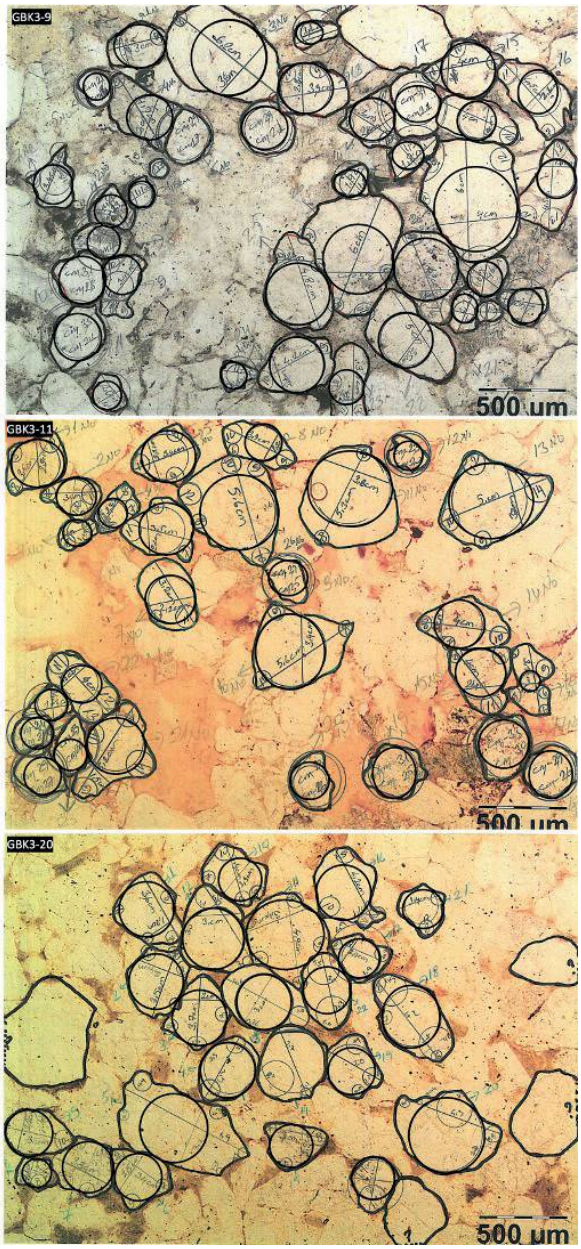


Figure 14. The illustration shows drawings related to the grain-texture analysis performed on thin-section microphotographs.

Şekil 14. *Şekil, ince kesit mikrofotoğrafları üzerinde yapılan tane-doku analizine ilişkin çizimleri göstermektedir.*

Complementarily, point-counting analyses were performed to determine sandstone provenance using Dickinson's (1985) QFL ternary classification (Table 3). The proportions of quartz, feldspar, and lithic fragments plotted on the QFL diagram show that the sandstones from the Başköy-2 and Başköy-3 sections fall within the "craton-interior" field, suggesting derivation from a stable continental source area consistent with the overall fluvial depositional system (Figure 15d).

Sedimentary Petrography

Petrographic analysis of the Çakrazboz Formation was conducted to characterize the mineral composition, microfacies types, and diagenetic features across its lacustrine–fluvial succession. The petrographic observations reveal a progressive transition from carbonate-dominated lacustrine facies in the Çakrazboz and İncigez sections to siliciclastic-rich fluvial facies in the Başköy sections, reflecting basinward evolution from deep to marginal depositional environments.

Çakrazboz section

The Çakrazboz stratigraphic section exhibits a well-preserved lacustrine carbonate succession composed mainly of micrite (carbonate mudstone), wackestone (biomicrite), and packstone (sparse biomicrite) microfacies.

- Carbonate mudstone facies consist of a micritic matrix with less than 10% bioclastic components, including rare ostracod shells and fine-grained quartz (Figure 16a). These facies indicate deposition in a low-energy and relatively deep lacustrine environment, where stratified water columns and potential anoxia contributed to the preservation of primary lamination.

- Wackestone facies contain more than 10% allochems – primarily ostracods, charophytes, intraclasts, and pellets – embedded in a micritic matrix (Figure 16b). The presence of these biogenic components suggests moderate-energy sublittoral conditions within a shallow freshwater lake.
- Packstone facies are rich in ostracods, charophytes, and pellets, with allochem contents exceeding 50%, indicating enhanced biogenic productivity and intermittent reworking in a shallower and well-oxygenated lacustrine setting (Figure 16c).

The micritic-to-sparitic transitions reflect subtle fluctuations in energy and water depth. Vertically, the succession displays a systematic shallowing-upward trend, from deep-water carbonate mudstones at the base to bioclastic packstones at the top. This stacking pattern recurs throughout the Çakrazboz section, implying repetitive depositional cycles driven by hydrological and climatic variability in a balanced-fill lacustrine system.

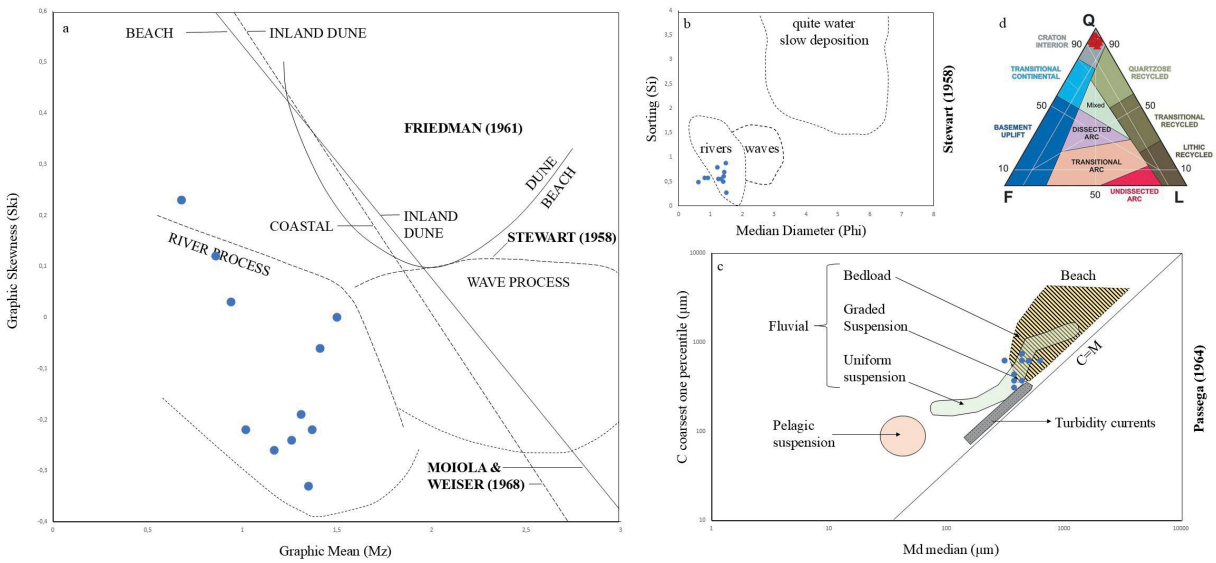


Figure 15. a–d) Grain-size and compositional diagrams showing the distribution of the studied samples on standard models; **(a)** mean–skewness, **(b)** sorting–median, **(c)** CM diagram, and **(d)** QFL ternary plot (references as cited).

Şekil 15. a–d) *İncelenen örneklerin standart modellere göre dağılımını gösteren tane boyu ve bileşimi diyagramları;* ***(a)*** *ortalama–çarpıklık,* ***(b)*** *boylanma–medyan,* ***(c)*** *CM diyagramı, ve* ***(d)*** *QFL üçgen diyagramı (ilgili atıf yapılan kaynaklara göre).*

Table 3. Results of point counting analysis of the sandstones in the Başköy-2 and Başköy-3 sections.

Çizelge 3. *Başköy-2 ve Başköy-3 istiflerindeki kumtaşlarının nokta sayım analiz Sonuçları.*

Sample No	Quartz	Feldspar	Lithic Fragment	VQ	MQ	DQ	CH	Total	Q%	F%	LF%
GBK2-1	348	2	5	330	-	13	5	355	98.03	0.56	1.41
GBK2-2	289	2	10	259	14	6	10	301	96.01	0.66	3.32
GBK2-5	339	6	8	332	-	7	-	353	96.03	1.70	2.27
GBK2-11	364	3	4	364	-	-	-	371	98.11	0.81	1.08
GBK2-23	108	1	2	108	-	-	-	111	97.30	0.90	1.80
GBK2-24	268	5	6	268	-	-	-	279	96.96	1.79	2.15
GBK2-28	169	2	1	169	-	-	-	172	98.26	1.16	0.58
GBK2-31	265	4	7	228	37	-	-	276	96.01	1.45	2.54
GBK3-9	348	1	10	314	34	-	-	359	96.94	0.28	2.79
GBK3-11	321	1	3	305	13	-	3	325	98.77	0.31	0.92
GBK3-20	376	1	2	376	-	-	-	379	99.21	0.26	0.53

VQ: Volcanic quartz, MQ:Metamorphic quartz, PQ: Detrital polycrystalline quartz, CH: Chert, Q: Quartz, F: Feldspar, LF: Lithic fragment

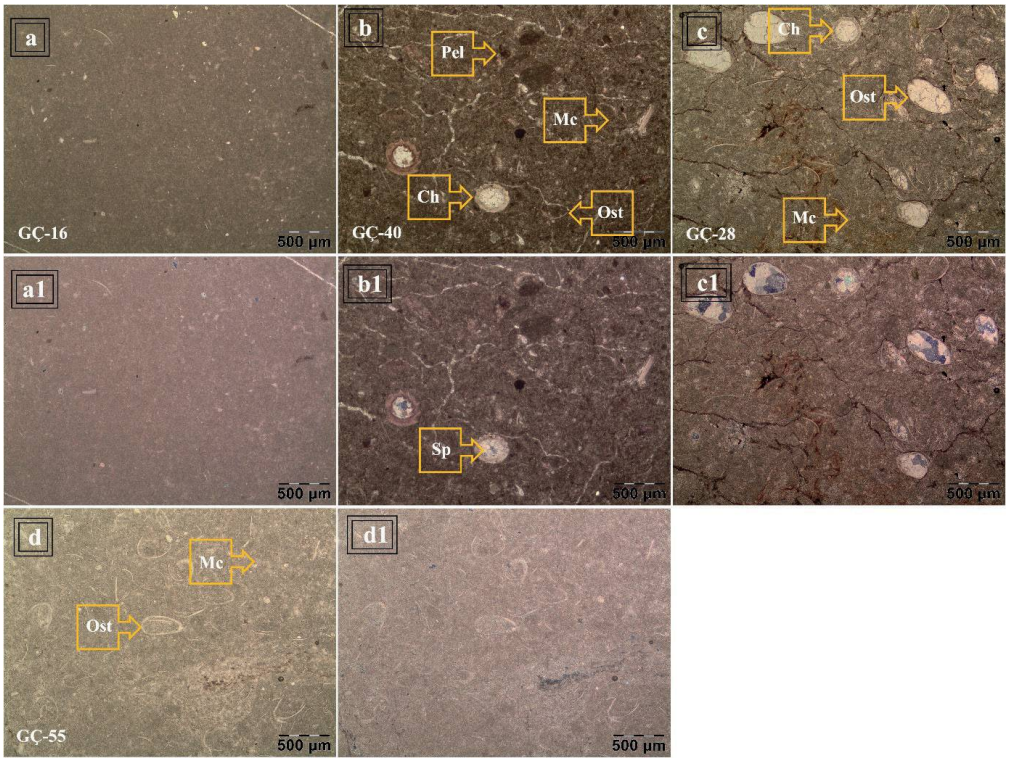


Figure 16. Photomicrographs of thin sections; **a)** carbonated mudstone (micrite) lithofacies (GÇ-16, PPl ×4), **(b)** wackestone microfacies (GÇ-40, PPl ×4), **(c)** packstone microfacies (GÇ-28, PPl ×10), and **(d)** packstone microfacies (GÇ-55, PPl ×4). Abbreviations: ostracods (Ost), charophytes (Ch), pellets (Pel), quartz (Q), sparite (Sp), matrix (Mc).

Şekil 16. *İnce kesitlere ait mikrofotoğraflar;* ***a)*** *karbonatlı çamurtaşı (mikrit) litofasiyesi (GÇ-16, PPl ×4),* ***(b)*** *vaketaşı mikrofasiyesi (GÇ-40, PPl ×4),* ***(c)*** *tanetaşı mikrofasiyesi (GÇ-28, PPl ×10), ve* ***(d)*** *tanetaşı mikrofasiyesi (GÇ-55, PPl ×4). Kısaltmalar: ostrakodlar (Ost), karofitler (Ch), pelletler (Pel), kuvars (Q), sparit (Sp), matriks (Mc).*

İncigez section

The İncigez stratigraphic section displays a vertical transition from carbonate-rich lacustrine facies at the base to palustrine and fluvial siliciclastic deposits upward, reflecting progressive basin infilling under fluctuating climatic and hydrological conditions.

- Mottled limestone exhibits desiccation cracks and Fe-mottling, reflecting intermittent subaerial exposure and pedogenic alteration (Freytet, 1973) (Figure 17a).
- Limestone with vertical root cavities and root molds records colonization by vegetation during emergent phases (Figure 17b).
- Laminar calcrete developed under prolonged exposure and vadose conditions, signifying pedogenic carbonate accumulation (Figure 17c).
- Green to brown marlstone represents alternating oxidation–reduction states along fluctuating water tables (Figure 17d).
- Nodular and brecciated limestone indicates repeated wetting–drying cycles and early diagenetic fragmentation in a palustrine setting.
- Micrite facies consist of microcrystalline carbonate cement with rare bioclasts, indicating quiet-water deposition in a low-energy lacustrine environment.
- Wackestone microfacies contain ostracods, charophytes, peloids, and intraclasts, representing deposition in a shallow and well-stratified lake (Figure 17e).
- Mudstone with Fe-staining and polygonal desiccation cracks records subaerial exposure on floodplains during dry phases.
- Silcrete-like beds display mud illuviations and pedogenic silicification, formed under alternating wet–dry regimes (Figure 17f).
- Laminated siltstones exhibit parallel lamination, indicating low-energy fluvial sedimentation (Figure 17g). Localized cross-lamination within the siltstones suggests short-lived increases in current velocity during fluvial deposition (Figure 17h).

The vertical facies succession defines a systematic upward transition:

- Lacustrine facies dominate the lower part,
- Palustrine facies are intercalated in the middle,
- and fluvial facies prevail in the upper part.

This organization reflects the progressive infilling and terrestrialization of a shallow lacustrine basin, marking the environmental shift from subaqueous to subaerial conditions under seasonally variable climates.

Başköy-1 section

The Başköy-1 stratigraphic section displays a transition from carbonate-rich paleosols and calcretes at the base, through palustrine carbonates, to overlying fluvial siliciclastic facies. The basal interval begins with limestone containing vertical root cavities, followed by alternating mottled limestone, brecciated limestone, and mudstone beds, indicative of palustrine environments periodically influenced by subaerial exposure (Freytet and Verrecchia, 2002). The middle part of the succession comprises palustrine marlstones interbedded with laminated and massive siltstones, while the uppermost part grades into fluvial siltstone facies, including a distinctive pale yellowish-orange laminated siltstone marker horizon that provides stratigraphic correlation with the İncigez and Bozköy sections. Desiccation cracks occur in greenish-grey marlstones and reddish-brown paleosol horizons, whereas parallel laminations are common in the siltstones.

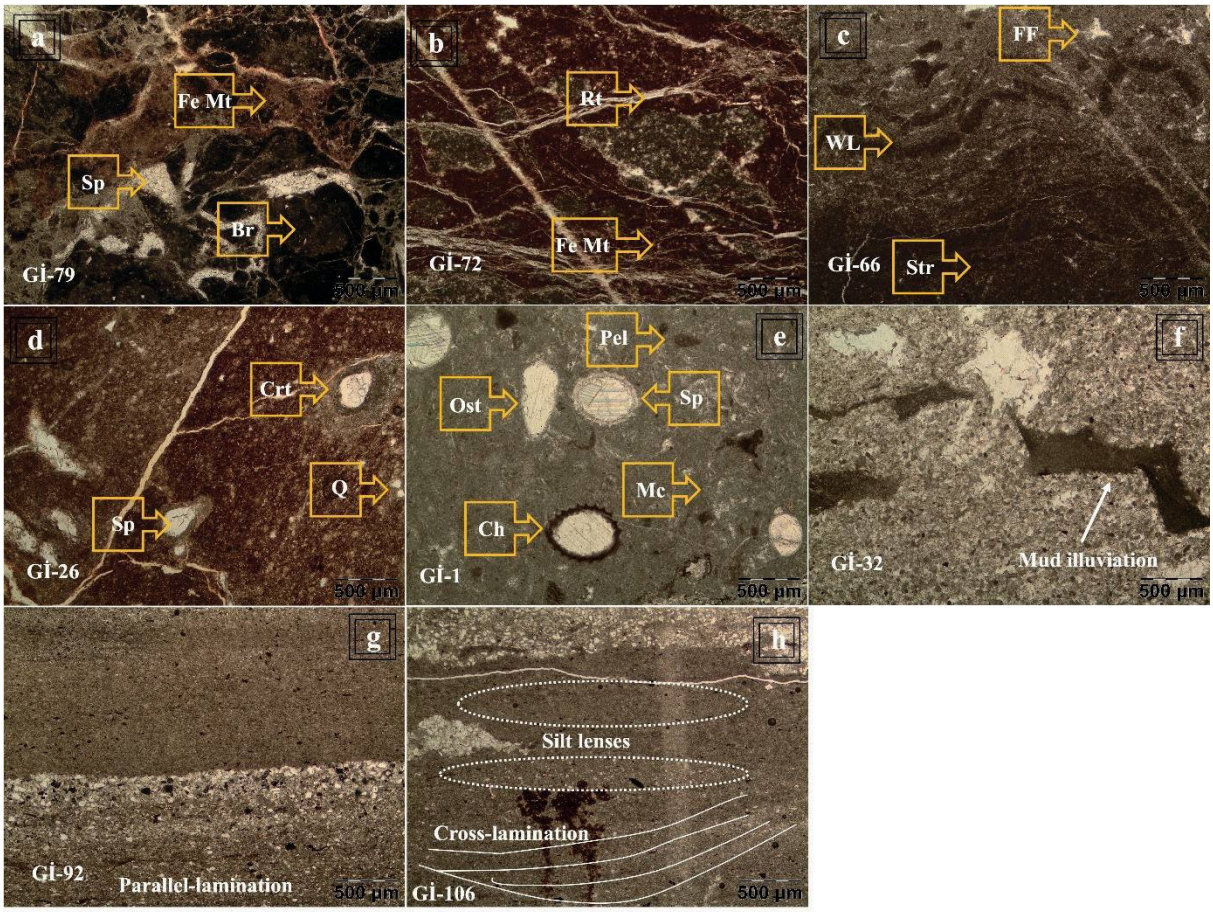


Figure 17. Photomicrographs of thin sections from various lithofacies. Palustrine limestone lithofacies include **(a)** mottled limestone with desiccation cracks and Fe mottling (GI-79, PPl ×4), **(b)** limestone with root cavities (GI-72, PPl ×4), **(c)** laminar calcrete (stromatolite) (GI-66, PPl ×4), and **(d)** green to brown marlstone (GI-26, PPl ×4). The lacustrine limestone microfacies consist of **(e)** ostracod- and charophyte-bearing vaketaşı/biomicrite (GI-1, PPl ×4). Fluvial lithofacies include **(f)** silcrete (GI-32, PPl ×4), **(g)** laminated siltstone (GI-92, PPl ×4), and **(h)** cross-laminated siltstone (GI-106, PPl ×4). Abbreviations: sparry calcite (Sp), mud illuviations (MI), quartz (Q), Fe mottling (Fe mt.), cylindirical root tubes (Crt), stromatolite (Str), wavy lamina (WL), fenestral fabric (FF), root traces (Rt) and, breccias (Br), ostracods (Ost), charophyts (Ch), pellet/peloid (Pel), micrite matrix (Mc).

Şekil 17. *Farklı litofasiyeslere ait ince kesit mikrofotoğrafları. Palüstrin kireçtaşı litofasiyesi şunları içermektedir;* ***(a)*** *kuruma çatlakları ve Fe beneklenmesi gösteren benekli kireçtaşı (GI-79, PPl ×4),* ***(b)*** *kök boşluklu kireçtaşı (GI-72, PPl ×4),* ***(c)*** *laminalı kalker (stromatolit) (GI-66, PPl ×4),* ***(d)*** *yeşilden kahverengiye marn çamurtaşı (GI-26, PPl ×4). Laküstrin kireçtaşı mikrofasiyesi;* ***(e)*** *ostrakod ve karofit içeren vaketaşı/biyomikrit (GI-1, PPl ×4). Flüvyal litofasiyesi;* ***(f)*** *silkrit (GI-32, PPl ×4),* ***(g)*** *laminalı silttaşı (GI-92, PPl ×4),* ***(h)*** *çapraz laminasyonlu silttaşı (GI-106, PPl ×4). Kısaltmalar: sparit (Sp), çamur birikimi (MI), kuvars (Q), Fe boyaması (Fe mt.), silindirik kök tüpü (Crt), stromatolit (Str), dalgalı lamina (WL), fenestral doku (FF), kök izleri (Rt) and, breşleşme (Br), ostrakod (Ost), karofit (Ch), pellet/peloid (Pel), ve mikrit matriks (Mc).*

Petrographic observations reveal:

- Pedogenic and groundwater calcretes with alveolar-septal structures, micritic matrix, root traces, and cement-filled voids (Figure 18a).
- Rooted limestones containing vertical root tubes, intraclasts, and intense bioturbation (Figure 18b).
- Brecciated limestones showing irregular micritic nodules, fenestral fabrics, sparry calcite cement, and evidence of repeated exposure–rewetting episodes (Figure 18c).
- Mottled limestones with silt- to medium-sand-sized quartz grains, intraclasts, Fe-mottling, and sparry calcite-filled desiccation cracks (Figure 18d).
- Fluvial siliciclastic facies comprising micaceous mudstones and siltstones with laminated intervals, fining-upward grading, silt lenses, and cross-laminations (Figure 18e).

The carbonate facies represent mature pedogenic overprinting of lacustrine-margin sediments, whereas the siliciclastic facies record episodic fluvial influx during floodplain aggradation. The stratigraphic succession exhibits a clear shallowing-upward trend from low-energy palustrine carbonates to floodplain siltstones. Alternating mudstone–siltstone and carbonate–paleosol couplets reflect climatically driven wetting–drying cycles along the lake margin, while laminated calcisiltite–mudstone alternations suggest periodic suspension settling and detrital influx under episodically stratified conditions.

Başköy-2 section

The Başköy-2 stratigraphic section is mainly composed of alternating sandstone and mudstone facies, indicating deposition under high-energy channel and lower-energy floodplain conditions.

- Quartz arenite facies composed of >95% polycrystalline volcanic quartz grains, moderately sorted and rounded, well-cemented, and matrix-poor, representing traction-dominated channel deposits formed under high-velocity flows (Figure 19a).
- Quartz wacke facies poorly sorted, angular to subrounded, and rich in muddy matrix, indicating rapid sedimentation during waning flow or channel-margin deposition (Figure 19b).
- Mudstone facies dark red to brownish-black, locally displaying desiccation cracks, Fe-encrustations, and pedogenic textures, reflecting subaerial exposure and soil formation on the floodplain during dry phases (Figure 19c).

The facies association records a transition from point-bar to overbank deposits, characterized by cyclic alternation of sandstone and mudstone units. The basal part is dominated by thick quartz arenite beds that grade upward into thinner quartz wacke and overbank mudstones. This fining- and thinning-upward succession reflects progradational stacking produced by lateral accretion, channel migration, and periodic abandonment. The presence of cross-bedding, normal grading, desiccation cracks, and Fe-mottled horizons indicates alternating fluvial deposition and subaerial exposure consistent with seasonally fluctuating water tables in a low-gradient meandering system.

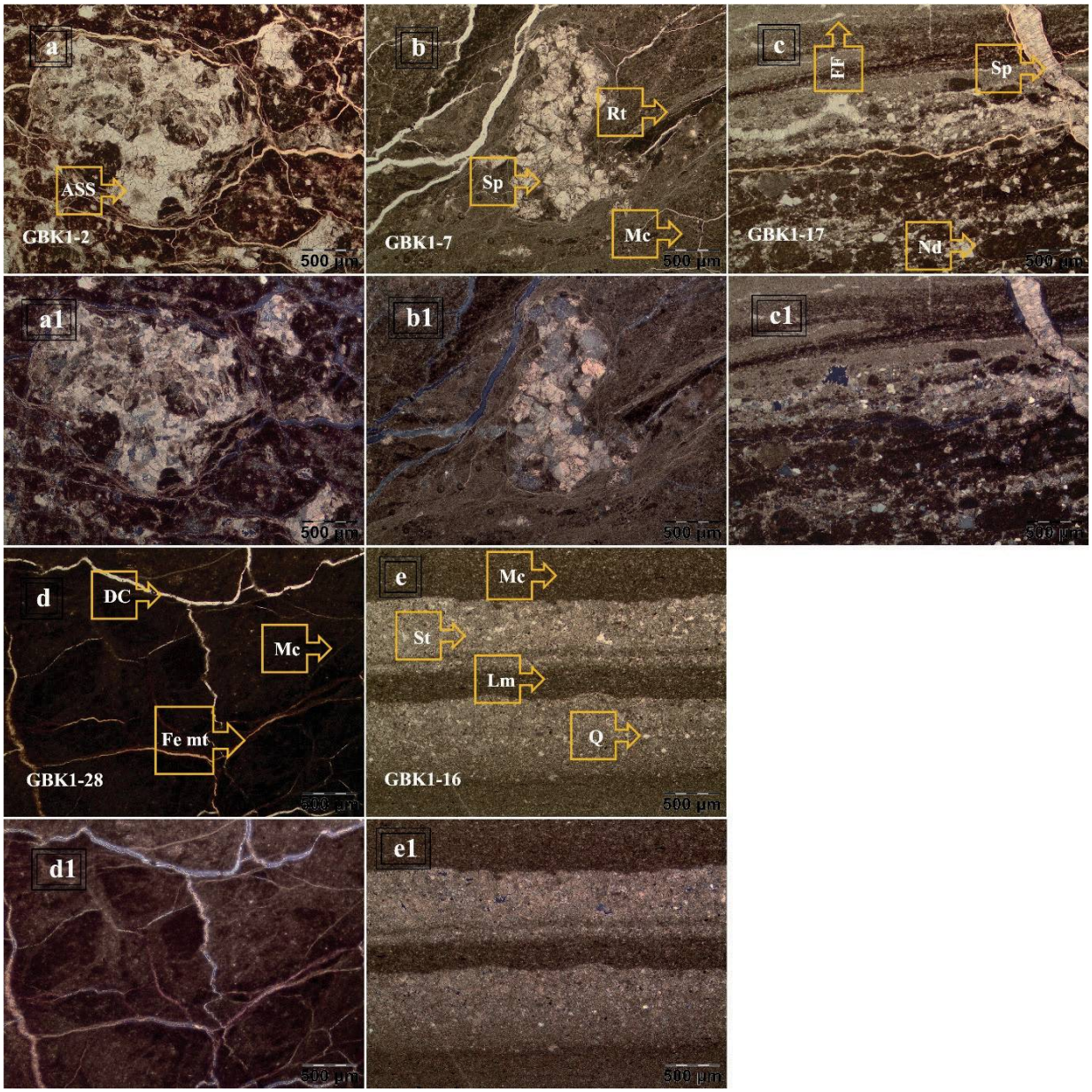


Figure 18. Photomicrographs of thin sections: **(a)** pedogenic and groundwater calcrete (GBK1-2, PPl x4), **(b)** limestone with root cavities (GBK1-7, PPl x4), **(c)** nodular and brecciated limestone (GBK1-17, PPl x4), **(d)** mottled limestone (GBK1-28, PPl x4), and **(e)** laminated siltstone-mudstone (GBK1-16, PPl x4.). Abbreviations: siltite (St.), desiccation cracks (DC), quartz (Q), Fe-mottling (Fe-mt), noduls (Nd), fenestral fabric (FF), alveolar septal structure (ASS), mikrit matriks (Mc).

Şekil 18. *İnce kesitlere ait mikrofotoğraflar;* ***(a)*** *pedojenik ve yeraltısuyu kalkeri* (GBK1-3, PPl x4)*,* ***(b)*** *kök boşluklu kireçtaşı* (GBK1-7, PPl x4), ***(c)*** *nodüllü ve breşleşmiş kireçtaşı* (GBK1-17, PPl x4), ***(d)*** *boyanmış kireçtaşı* (GBK1-28, PPl x4), *ve* ***(e)*** *laminalı silttaşı-çamurtaşı* (GBK1-16, PPl x4). *Kısaltmalar: siltit (St.), kuruma çatlakları (DC), kuvars (Q), Fe boyaması (Fe mt.), nodüller (Nd), fenestral doku (FF), alveollü septal yapı (ASS), mikrit matriks (Mc).*

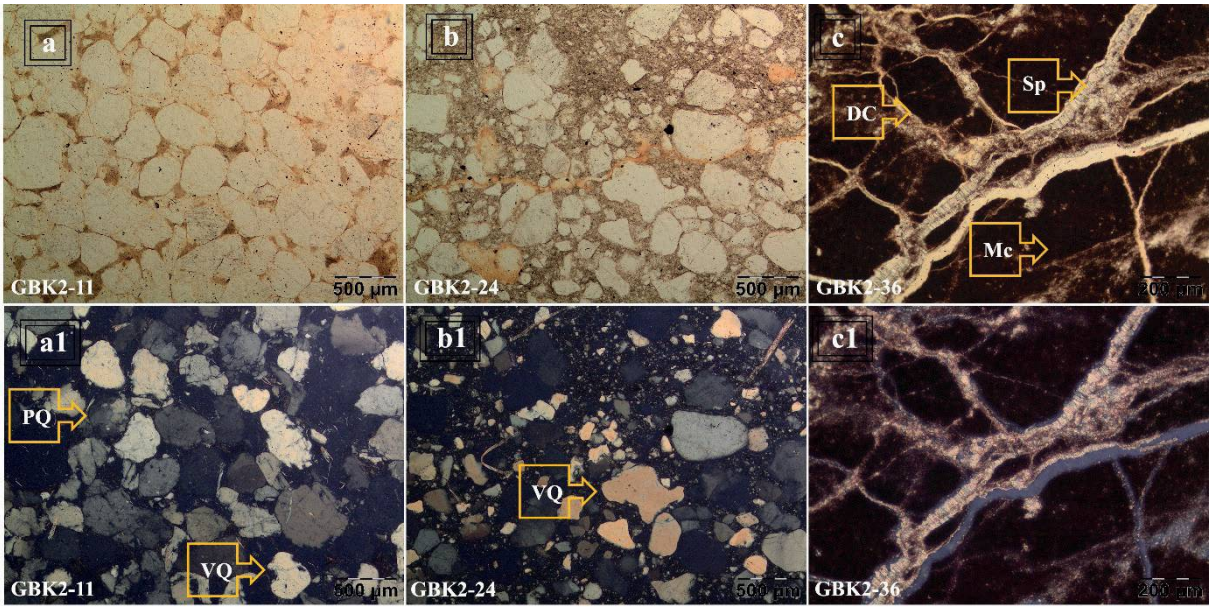


Figure 19. Photomicrographs of thin sections: **(a)** quartz arenite sandstone (GBK2-11, PPl x4), **(b)** quartz wacke sandstone (GBK2-24, PPl x4), and **(c)** mudstone (GBK2-36, PPl x4). Abbreviations: volcanic quartz (VQ.), polycrystalline quartz (PQ.), desiccation cracks (DC.), sparry calcite (Sp.), matrix (Mc.).

Şekil 19. *İnce kesitlere ait mikrofotoğraflar:* ***(a)*** *kuvarsarenit kumtaşı (GBK2-11, PPl x4);* ***(b)*** *kuvarsvake kumtaşı (GBK2-24, PPl x4), ve* ***(c)*** *çamurtaşı (GBK2-36, PPl x4). Kısaltmalar: volkanik kuvars (VQ.), polikristalin kuvars (PQ.), kuruma çatlakları (DC.), sparit (Sp.), matriks (Mc.).*

Başköy-3 section

The Başköy-3 section consists of quartz arenite, quartz wacke, sandy mudstone, and reddish- to blackish-red mudstone lithofacies.

- Quartz arenite facies composed of magmatic, metamorphic, and sedimentary mono- and polycrystalline quartz with minor feldspar and lithic fragments (mica, chert): well-sorted, matrix-poor, and texturally mature, showing syntaxial quartz overgrowths and intergranular porosity (Figures 20a and b).
- Quartz wacke facies moderately to poorly sorted, containing muddy matrix with dispersed feldspar and lithic grains, exhibiting syntaxial quartz overgrowths and partial quartz–calcite cementation (Figure 20c).
- Mudstone facies displaying common root traces, Fe-staining, and sparry calcite-filled desiccation cracks, recording pedogenic overprinting under subaerial exposure (Figure 20d).

The Başköy-3 section exhibits a repetitive fining- and thinning-upward succession, where coarse-grained quartz arenites at the base grade upward into finer quartz wackes and culminate in mudstone horizons. This stacking pattern reflects cyclic point-bar to overbank transitions in a low-gradient meandering system.

Diagenesis

Petrographic analyses of the lacustrine and palustrine carbonate rocks of the Çakrazboz Formation reveal that diagenetic processes played a crucial role in modifying the original depositional fabrics.

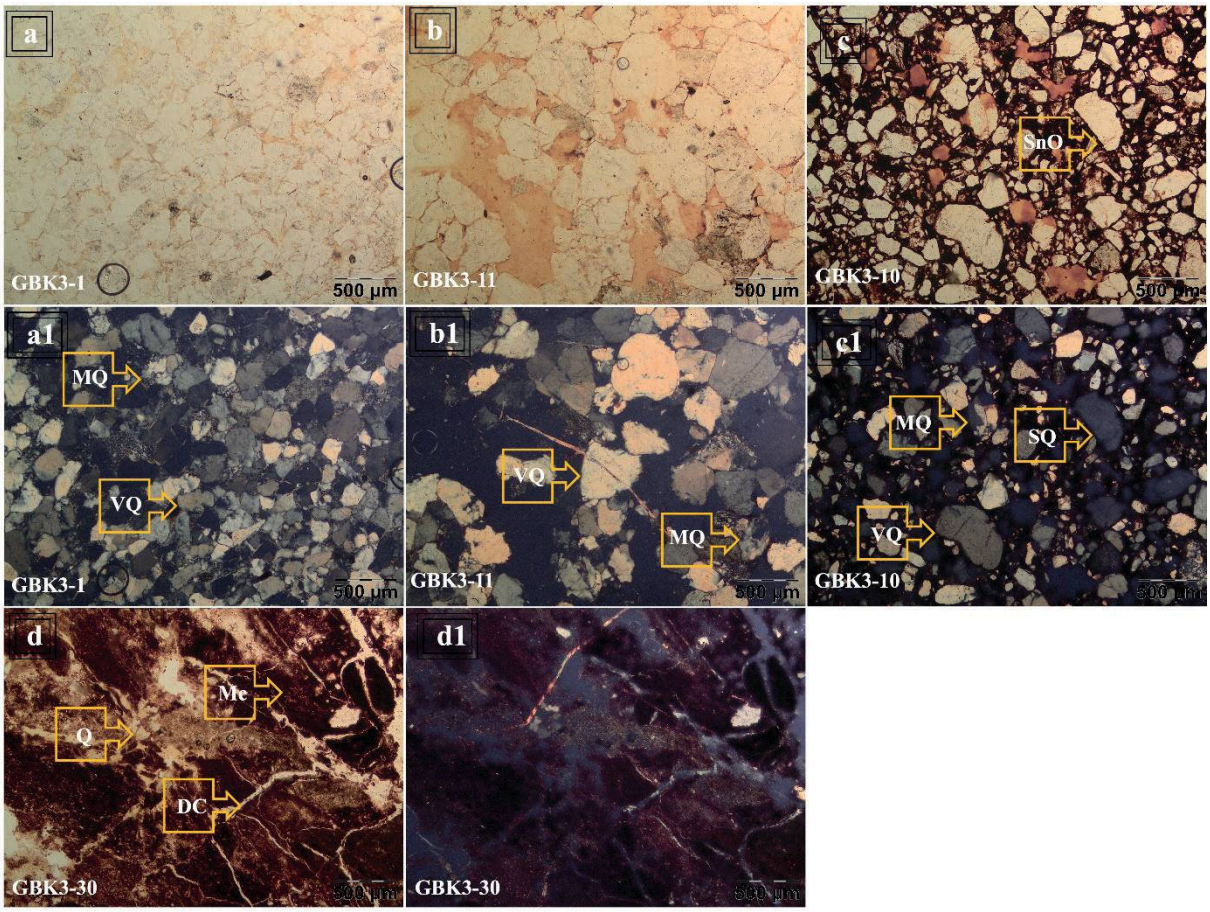


Figure 20. Photomicrographs of thin sections: **(a)** quartz arenite sandstone (GBK3-1, PPl x4), **(b)** quartz arenite sandstone (GBK3-11, PPl x4), **(c)** quartz wacke sandstone (GBK3-10, PPl x4), and **(d)** mudstone (GBK3-30, PPl x4). Abbreviations: magmatic quartz (MAQ.), metamorphic quartz (MQ.), sedimentary quartz (SQ.), syntaxial overgrowth fabric (SnO.), volcanic quartz (VQ.), polycrystalline quartz (PQ.), desiccation cracks (DC.), sparry calcite (Sp.), matrix (Mc.).

Figure 20. *İnce kesitlere ait mikrofotoğraflar;* ***(a)*** *kuvarsarenit kumtaşı (*GBK3-1, PPl x4*),* ***(b)*** *kuvarsarenit kumtaşı (*GBK3-11, PPl x4*),* ***(c)*** *kuvarsvake kumtaşı (*GBK3-10, PPl x4*), ve* ***(d)*** *çamurtaşı (*GBK3-30, PPl x4*). Kısaltmalar: magmatik kuvars* (MAQ.), metamorfik kuvars (MQ.), sedimenter kuvars (SQ.), sintaksiyel üstbüyüme (SnO.), *volkanik kuvars (VQ.), polikristalin kuvars (PQ.), kuruma çatlakları (DC.), sparit (Sp.), matriks (Mc.).*

These processes span the eogenetic, mesogenetic, and telogenetic stages, each leaving distinct mineralogical and textural signatures within the succession (Montañez, and Crossey, 1998; Bustillo et al., 2017).

Eogenetic diagenesis refers to early near-surface alteration under meteoric or lacustrine phreatic–vadose conditions (Tucker, 1990). It includes micritization, early calcite cementation, dissolution, and limited recrystallization soon after deposition. These early fabrics develop in shallow burial settings where pore waters are of low salinity and subject to variable redox conditions (Moore, 1989; Tucker and Bathurst, 1990; Flügel, 2010). Mesogenetic diagenesis takes place during deeper burial and is characterized by compaction, stylolitization, neomorphism, and

pervasive blocky or granular calcite cementation under rising temperature and pressure. These processes reduce primary porosity and produce pressure-solution structures such as stylolites and sutured grain contacts (Mattes and Mountjoy, 1980; Bathurst, 1987; Moore and Wade, 2013; Immenhauser, 2022). Telogenetic diagenesis occurs during uplift and exposure, involving meteoric alteration, dissolution–reprecipitation, calcretization, and karstification in near-surface vadose zones (Tucker, 1990; Wright, 2009; Swart, 2015). Together, these three stages document the progressive post-depositional evolution of the Çakrazboz Formation from shallow burial to subaerial exposure, reflecting the interplay between hydrological changes and climate-driven lake-level oscillations.

In the Çakrazboz section, lacustrine carbonates exhibit irregular fenestral fabrics, stylolites, and pervasive pore-filling by blocky and granular mosaic cements. Microscopic observations show that voids within charophyte oogonia and ostracod shells are filled with sparry calcite, indicating precipitation in meteoric-phreatic to shallow burial settings. Stylolitic seams enriched in Fe-oxides record pressure solution associated with burial compaction (mesogenesis), leading to porosity loss and enhanced sparry calcite cementation.

In the İncigez section, diagenetic features include birdseye and laminoid fenestral fabrics, granular mosaic cements, and nodular–brecciated textures typical of supratidal to intertidal environments periodically exposed to meteoric waters. Calcrete facies display alveolar-septal structures and root-related fabrics, evidencing pedogenic overprinting under semi-arid conditions (Wright and Tucker, 1991). These characteristics correspond to telogenetic alteration linked to repeated subaerial exposure and soil formation (Alonso-Zarza and Wright, 2010).

The Başköy-1 section records complex diagenetic overprinting related to prolonged subaerial exposure and pedogenesis. Early laminoid fenestral fabrics reflect intermittent desiccation in palustrine settings (eogenesis) (Philcox, 1963). Alveolar-septal structures, rhizoliths, and micritic nodules within calcretes indicate strong pedogenic modification and recrystallization under meteoric conditions (telogenesis). Brecciated and nodular limestones, containing fenestral fabrics and sparry calcite cements, developed through alternating wetting–drying cycles and mechanical disruption of semi-lithified sediments. Such features typify pedogenic calcretes and palustrine carbonates formed under fluctuating groundwater tables and semi-arid climatic regimes (Verrecchia, 2000).

An integrated assessment of all sections suggests a diagenetic progression from early eogenetic cementation, through mesogenetic compaction and stylolitization, to telogenetic pedogenic calcretization upon subaerial exposure (Figure 21). As defined by Immenhauser (2022), mesogenetic processes operate within shallow-to-intermediate burial depths (hundreds of meters to a few kilometers), where compaction and fluid–rock interactions dominate. The widespread occurrence of alveolar-septal fabrics, rhizoliths, and calcrete horizons in upper units of the succession highlights intense telogenetic reworking following uplift and basin-margin exposure.

The relationship between diagenesis and facies is primarily controlled by depositional environment, early cementation style, and groundwater composition. Lacustrine facies preserve early micritic and phreatic cements due to sustained water saturation, whereas palustrine and marginal facies exhibit pedogenic features such as alveolar-septal fabrics, rhizoliths, and calcrete crusts linked to telogenetic exposure and soil formation (Verrecchia, 2000; Tucker and Bathurst, 1990).

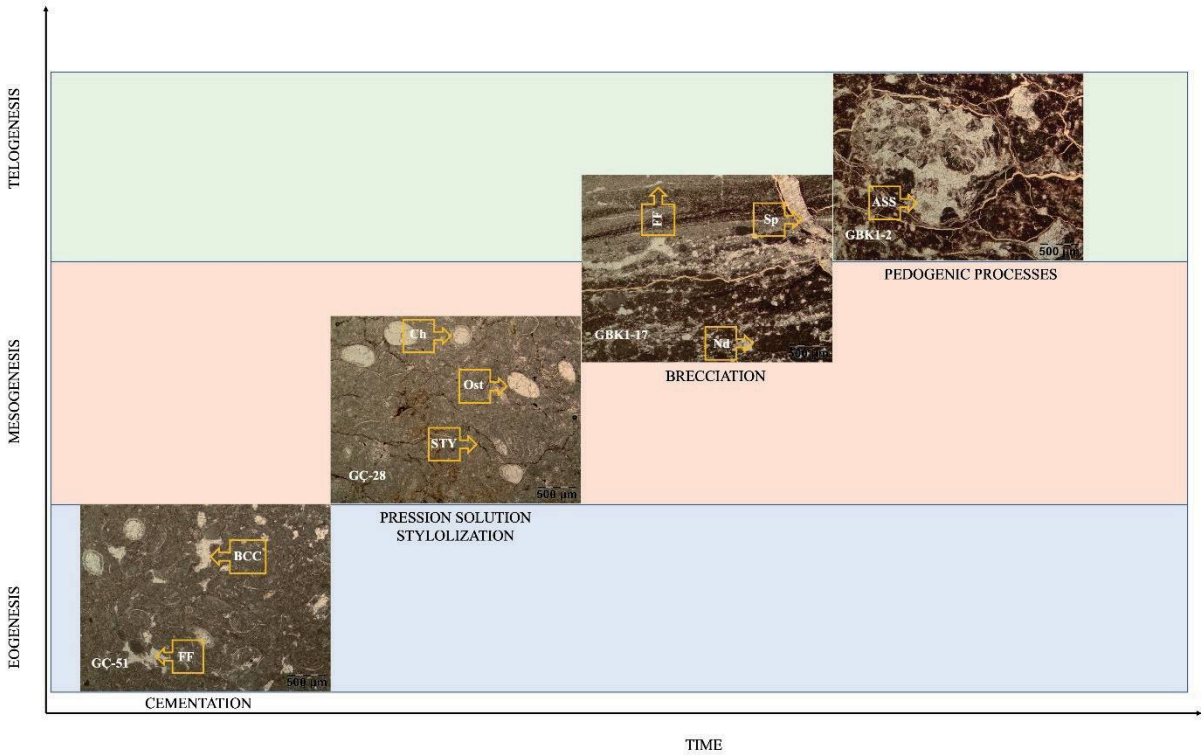


Figure 21. Diagenetic stages vs. time graphic represents diagenetic characteristics of the sedimentary rocks of the Çakrazboz Formation.

Şekil 21. *Diyajenez evreleri-zaman grafiği, Çakrazboz Formasyonu'na ait sedimanter kayaçların diyajenetik özelliklerini göstermektedir.*

Fluctuating lake levels promoted dissolution–reprecipitation cycles, causing brecciation, stylolitization, and nodulation, particularly in upper intertidal to supratidal zones (Armenteros, 2010; Immenhauser, 2022). Consequently, facies architecture exerts a primary control on the spatial distribution, intensity, and style of diagenetic processes within the Çakrazboz Formation, capturing the hydrological and climatic variability of the Late Triassic continental basin.

DISCUSSION

The Çakrazboz Formation presents an integrated record of sedimentary, petrographic, and diagenetic processes that collectively document the evolution of a Late Triassic continental basin along the southern Eurasian margin. The observed facies assemblages, ranging from lacustrine carbonates to fluvial sandstones, capture the spatial and temporal response of depositional systems to climatic, hydrological, and tectonic controls. Variations in lithofacies, color, and diagenetic overprinting across the six measured sections reveal alternating humid and semi-arid conditions that governed lake-level and groundwater fluctuations. These features underscore the sensitivity of continental basins to orbitally paced climatic cyclicity and regional tectonic reorganization during the disassembly of Pangea. Integrating sedimentological and petrographic data with regional paleogeographic reconstructions provides a robust framework for interpreting basin evolution, paleoclimate patterns, and diagenetic transformation within the Western Pontides during the Late Triassic.

Regional Paleogeography, Global Context, and Paleoclimate Reconstructions

During the Triassic, the supercontinent Pangea reached its maximum integrity before gradual fragmentation began. The Cimmeria microcontinent, comprising present-day Türkiye, Iran, Afghanistan, and Tibet, rifted northward from Gondwana, leading to the closure of the Paleotethys Ocean and the opening of the Neotethys Ocean, reshaping the Tethyan realm (Scotese, 2021). In the Early Triassic (ca. 250–245 Ma), the region corresponding to modern Türkiye occupied a position along Gondwana's northern passive margin. By the Middle Triassic (245–235 Ma), rifting intensified and shallow epicontinental seas advanced across the Cimmerian blocks. During the Late Triassic (230–200 Ma), the northward-drifting Cimmeria collided with Eurasia, initiating the early Cimmerian orogeny and final Paleotethys closure (Şengör, 1990; Schettino and Turco, 2011; van Hinsbergen et al., 2020; Scotese, 2021) (Figure 22). These events established the tectonic framework of the Pontides and Taurides as distinct crustal elements along the Neotethyan margin.

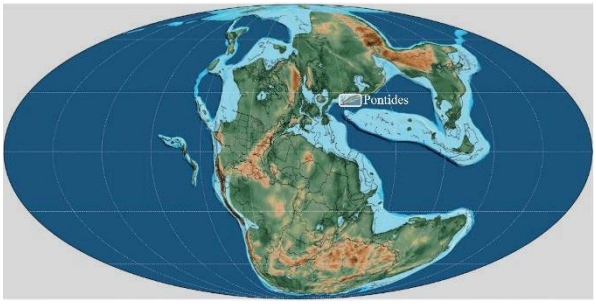


Figure 22. Paleogeographic map of the Rhaetian–Hettangian interval (Late Triassic, ~200 Ma), with the Pontides shown within the shaded area on the map. (Adapted from Scotese et al. (2021).)

Şekil 22. *Resiyen–Hettanjiyen aralığına (Geç Triyas, ~200 Ma) ait paleocoğrafya haritası üzerinde Pontidler gölgelendirilmiş alan içinde gösterilmiştir. (Şekil Scotese vd. (2021)'den uyarlanmıştır.)*

Global paleogeographic reconstructions (Golonka, 2007; Robertson et al., 2016; Scotese and Schettino, 2017) indicate that the Turkish terranes, including the Sakarya Continent (İstanbul–Zonguldak and Sakarya zones), the Kırşehir Block, and the Tauride–Anatolide platform, occupied paleolatitudes of approximately 25°S to 35°S during the Middle to Late Triassic, within the subtropical arid to semi-arid belt of the Southern Hemisphere. The Sakarya Continent constituted the northern segment of the Cimmerian microplate system and had already been detached from Gondwana, whereas the Kırşehir and Tauride–Anatolide blocks remained positioned close to the actively extending Neotethyan margin. This paleogeographic configuration explains the coexistence of continental red-bed and lacustrine successions in northern Türkiye and widespread carbonate platforms farther south (Robertson et al., 2006). By the Ladinian–Carnian (ca. 242–227 Ma), progressive rifting produced alternating marine seaways and continental basins along the Cimmerian margin, reflecting a gradient from continental interiors in the north to open-marine settings in the south within a back-arc extensional system (Golonka, 2007).

The Triassic climate resulted from the coupling of atmospheric, oceanic, and continental systems that governed global energy and moisture exchange (Raynaud et al., 1993; Zielinski, 1995). According to global paleoclimate models (Boucot et al., 2013; Scotese, 2021), the Early Triassic experienced extreme greenhouse conditions with high CO_2 levels and widespread aridity following the end-Permian mass extinction. During the Middle Triassic, monsoonal circulation introduced episodic humidity to the subtropical Tethyan belt, and by the Late Triassic, a highly seasonal semi-arid climate prevailed. Such variability favored the accumulation of fluvial–lacustrine successions and red-bed siliciclastic deposits in interior basins of the Cimmerian terranes (Figure 23).

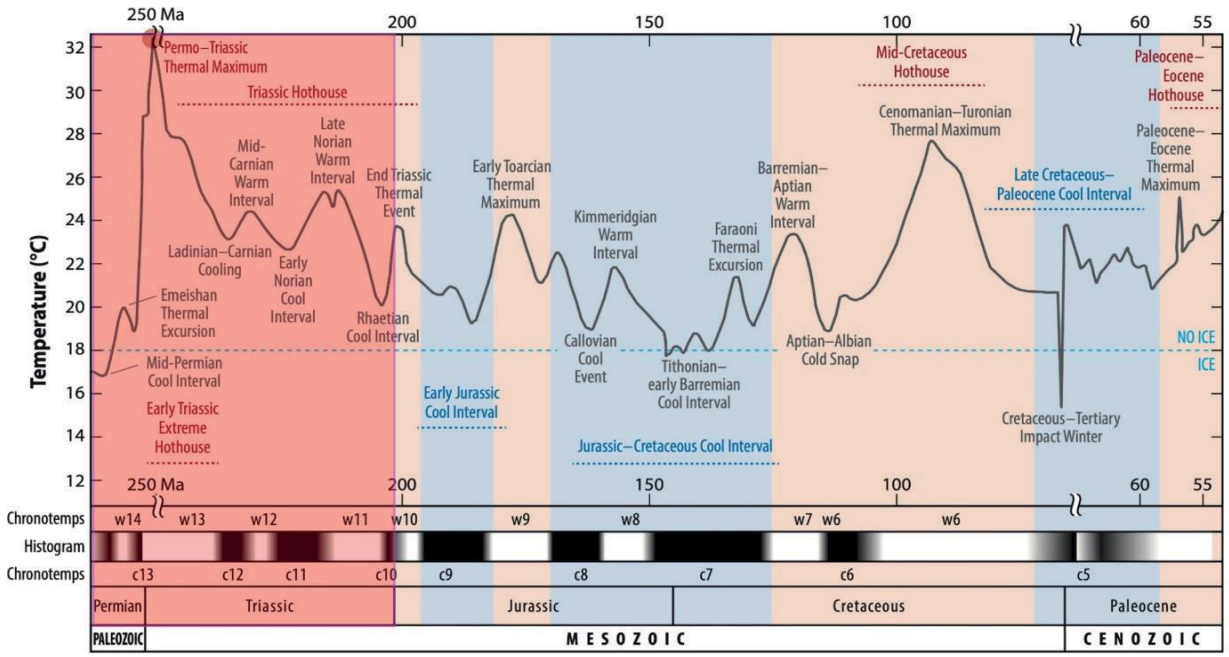


Figure 23. Mesozoic paleotemperature timescale showing warm intervals (white) and cool intervals (black). During the Early Triassic, global temperatures reached extreme hothouse conditions of ~32 ºC, subsequently decreasing to ~24 ºC by the Late Triassic. The Early–Late Triassic interval contains two warm and three cool phases. Following the Rhaetian, temperatures rose from ~19 ºC to ~24 ºC during the end-Triassic thermal event. The solid grey curve represents the Global Average Temperature, while the chronostratigraphic framework follows the International Chronostratigraphic Chart (2020/01) (Figure adapted from Scotese et al. (2021)).

Şekil 23. *Mesozoyik paleosıcaklık zaman ölçeğinde sıcak dönemler beyaz, serin dönemler siyah ile gösterilmektedir. Erken Triyas'ta küresel sıcaklıklar yaklaşık 32 ºC ile aşırı sıcak (extreme hothouse) koşullara ulaşmış, Geç Triyas'a gelindiğinde ise yaklaşık 24 ºC'ye düşmüştür. Erken–Geç Triyas aralığı, toplamda iki sıcak ve üç serin evre içermektedir. Rhaetiyen sonrasında, End-Triyas termal olayı sırasında sıcaklıkların yaklaşık 19 ºC'den 24 ºC'ye yükseldiği görülmektedir. Gri eğri küresel ortalama sıcaklığı göstermekte olup zaman ölçeği International Chronostratigraphic Chart (2020/01) temel alınarak düzenlenmiştir (Şekil Scotese vd. (2021)'den uyarlanmıştır.).*

Across Pangea, reduced shelf areas and enhanced continentality strengthened monsoonal precipitation gradients (Haq et al., 1987; Rafferty, 2010). These gradients were further modulated by orbital forcing, particularly Earth's precessional cycle. According to the symmetric monsoon model proposed by Kutzbach (1994), maximum precipitation in the Late Triassic Northern Hemisphere occurred near the summer solstice (June–August), corresponding to perihelion. During these intervals, intensified solar radiation increased evaporation from the Tethyan Ocean, enhancing northward moisture transport and precipitation over continental interiors. Aphelion summers were marked by lower insolation and weaker monsoonal circulation, resulting in drier climates, intensified oxidation, and episodic lake desiccation (Vollmer et al., 2008). These orbitally forced fluctuations governed the hydrological balance within the Çakrazboz Basin, producing the cyclic lacustrine-palustrine-fluvial architecture that typifies the formation.

Quantitative paleotemperature reconstructions (Scotese et al., 2021) estimate global mean surface temperatures of ~20 ± 2 ºC, with tropical seas near 30 ºC and weak latitudinal gradients (~0.25–0.30 ºC). Under such greenhouse conditions, the Turkish terranes experienced alternating arid and

humid phases, producing cyclic oxidized and reduced facies. Pedogenic calcretes, root traces, and desiccation cracks indicate arid intervals, whereas greenish-grey marls and lacustrine carbonates represent humid phases with high groundwater levels (Platt and Wright, 1992; Cecil, 1990; Verrecchia, 2007; Alonso-Zarza and Wright, 2010).

Lacustrine systems are particularly sensitive to climatic fluctuations, with lake-level variations serving as key paleoclimate proxies (Adrian et al., 2009; Argyilan and Forman, 2003). In the Çakrazboz Formation, reddish-brown marlstones record arid intervals, while greenish-grey marls indicate more humid conditions associated with enhanced groundwater recharge and flooding of lake margins during wet phases of precessional cycles. Facies architecture within the formation supports a temperate to subhumid climate regime: alternating fluvial, palustrine, and lacustrine facies reflect cyclical changes in precipitation and evaporation (Figure 24).

Bioturbated limestones rich in ostracods and charophytes, micritic carbonates, and greenish-grey mudstones indicate well-oxygenated lake waters and warm and humid conditions conducive to carbonate productivity. Palustrine facies show brecciation, fenestral fabrics, and shrinkage cracks, recording repeated wetting–drying cycles, while pedogenic features such as rhizoliths and alveolar-septal structures indicate prolonged subaerial exposure under seasonally arid conditions. The occurrence of pedogenic and groundwater calcretes, coupled with alternating green and brown marlstones, suggests periodic shifts between groundwater-fed wetlands and oxidizing ephemeral lake settings (Wright and Tucker, 1991; Tucker and Sparks, 2024). As noted by Platt and Wright (1992), carbonate precipitation in lacustrine systems is favored under semi-arid to subhumid climates, where carbonate-saturated solutions may derive from both surface runoff and groundwater influx (De Wet et al., 1998; Gvirtzman, 2006).

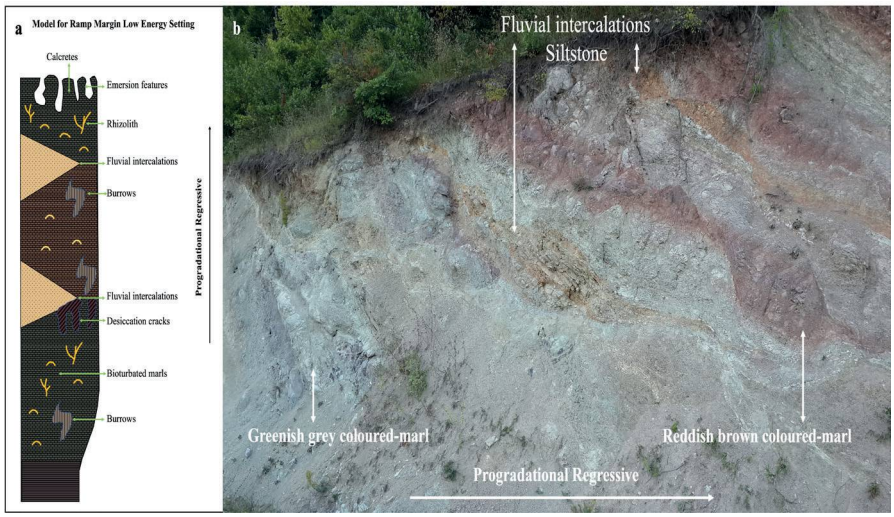


Figure 24. a) Conceptual model illustrating a low-energy ramp-margin depositional setting developed under orbitally driven climatic cyclicity (sketch adapted from Alonso-Zarza and Tanner, 2009), **(b)** Representative field photograph from the İncigez section showing the characteristic lithofacies of the Çakrazboz Formation that typify this low-energy ramp-margin depositional system.

Şekil 24. a) *Yörünge kaynaklı iklim döngüleri altında gelişen düşük enerjili rampa-kenarı çökelme ortamını gösteren kavramsal model (Alonso-Zarza ve Tanner, 2009'dan uyarlanmıştır),* ***(b)*** *İncigez kesitinden alınmış, Çakrazboz Formasyonu'nun bu düşük enerjili rampa-kenarı çökelme sistemini karakterize eden başlıca litofasiyeslerini gösteren temsilî arazi fotoğrafı.*

Color variations within the marlstones correspond to redox fluctuations in the lake water column, reflecting oscillations in pH and Eh. Detailed color-based facies analysis using the GSA Rock-Color Chart (2009) (Figure 25) indicates that light greenish-grey (5GY 7/1) and olive grey (5Y 5/2) tones formed under reducing to weakly reducing conditions in profundal to sublittoral zones, whereas whitish carbonates (N9) reflect well-oxygenated shallow-lake environments. Palustrine facies with dark yellowish-brown (5YR 4/4) and greyish-black (N2) hues correspond to alternating oxidizing and reducing phases during subaerial exposure and groundwater saturation. Fluvial facies displaying yellowish-grey (10YR 7/2), dark reddish-brown (2.5YR 3/6), and blackish-red (10R 3/4) colors indicate well-drained and oxidizing channel fills and seasonally dry floodplains enriched in iron oxides (Table 4). The stratigraphic alternation of oxidized and reduced facies therefore aligns with precessional to eccentricity-scale climate cycles, where wet phases promoted reducing lacustrine–palustrine conditions and dry phases enhanced oxidation in exposed floodplain and lake-margin deposits.

These features align with the limno-eustatic model of Wagreich et al. (2014), which links lake-level variations to groundwater storage during greenhouse climates. High groundwater levels during wet periods correspond to deeper lakes and regional sea-level lowstands (Sames et al., 2020). Thus, the rhythmic alternation of oxidized and reduced marls, desiccation cracks, and paleosols records hydrological cycles modulated by orbital forcing and climate-induced groundwater fluctuations (Glenn and Kelts, 1991). By the end of the Triassic, convergence of the Cimmerian blocks with Eurasia caused regional uplift and basin compartmentalization, leading to widespread subaerial exposure and the deposition of fluvial, palustrine, and lacustrine successions in the Western Pontides (Golonka, 2007; Robertson et al., 2016).

Facies Type	**Color (GSA Name & Munsell Code)**	**Redox Condition**	**Lake Type / Environment**
Lacustrine (Profundal to Sublittoral)	Light greenish grey (5GY 7/1), Olive grey (5Y 5/2)	Reducing to weakly reducing	Underfilled to balanced-fill profundal–sublittoral lake zones
Lacustrine (Shallow)	White (N9)	Well-oxygenated	Well-oxygenated shallow lacustrine settings
Palustrine	Dark yellowish brown (5YR 4/4), Greyish black (N2)	Alternating oxidizing/reducing	Groundwater-saturated marshes; episodic subaerial exposure
Fluvial (Channel fills, floodplains)	Yellowish grey (10YR 7/2), Dark reddish brown (2.5YR 3/6), Blackish red (10R 3/4)	Oxidizing	Well-drained channels and seasonally dry floodplains

Figure 25. Facies color codes (GSA Rock-color chart, 2009), redox conditions, and lake types.
Şekil 25. *Fasiyes renk kodları (*GSA Rock-color chart, 2009), indirgenme koşulları ve göl tipleri.

Table 4. Facies colors of the Çakrazboz Formation, their corresponding GSA Rock-Color Chart (2009) codes, associated oxidation/reduction conditions, and possible paleoenvironmental interpretations.

Çizelge 4. *Çakrazboz Formasyonu'na ait fasiyes renkleri, bunlara karşılık gelen GSA Kaya-Renk Çizelgesi (2009) kodları, ilişkili oksidasyon/redüksiyon koşulları ve olası paleoçevresel yorumları.*

Facies Type	GSA Rock-Color Chart (2009) Code	Color description	Oxidation/Reduction Condition	Possible Paleoenvironmental Interpretation
Lacustrine	5GY 7/1	Light greenish grey	Reduction	Deep lake bottom, low-oxygen, reducing conditions
Lacustrine	5Y 5/2	Olive grey	Weak reduction	Intermediate depth, semi-reducing lake bottom
Lacustrine	N9	Whitish	Neutral/Oxic	Carbonate-rich, well-oxygenated shallow lake environment
Palustrine	5YR 4/4	Dark yellowish brown	Oxidation	Surface oxidation during dry phases, lake-margin marsh
Palustrine	N2	Greyish black	Reduction	Marsh bottom, saturated, anaerobic conditions
Palustrine	2.5Y 5/2	Greenish grey	Weak reduction	Groundwater-influenced, marsh environment
Fluvial	10YR 7/2	Yellowish grey	Oxidation	Well-drained, high-energy channel fill
Fluvial	2.5YR 3/6	Dark reddish brown	Oxidation	Floodplain, well-oxygenated conditions
Fluvial	10R 3/4	Blackish red	Oxidation	Iron oxide-rich, seasonally dry floodplain

Consequently, the Late Triassic climate of the Western Pontides was governed by monsoonal dynamics within the southern mid-latitudes of Pangea, where the interplay between tectonic subsidence, sediment supply, and orbitally forced climatic oscillations controlled the hydrological balance of the Çakrazboz Basin, producing its characteristic cyclic facies architecture and a detailed record of continental climate variability during the fragmentation of Pangea.

Depositional Environments and Hydrological Variability

Sedimentological, petrographic, and stratigraphic evidence from the Çakrazboz Formation indicates deposition within a predominantly balanced-fill lacustrine basin (Carroll and Bohacs, 1999; Bohacs et al., 2000), punctuated by intervals reflecting underfilled and overfilled hydrological states, as described by Zavala et al. (2024). This variability highlights the influence of orbitally paced climatic oscillations, fluctuating sediment supply, and hydrological connectivity on basin evolution.

Within the framework of Bohacs et al. (2000), the Çakrazboz Formation exhibits the principal characteristics of a balanced-fill lake system: a dynamic equilibrium between sediment and water influx, vertical facies successions recording alternations between profundal, sublittoral, and marginal environments, and redox-sensitive marl color changes linked to groundwater fluctuations. Laminated to massive carbonate mudstones and alternating wackestone–packstone microfacies in the Çakrazboz section reflect low-energy profundal to sublittoral lacustrine deposition. The laminated carbonate mudstones, with fine stratification and limited bioturbation, record dysoxic to anoxic bottom-water conditions, while wackestone–packstone couplets containing ostracods, charophytes, peloids, and pellets represent moderate-energy sublittoral zones. Alternations between these microfacies are interpreted as lake-level fluctuations typical of balanced-fill systems.

Palustrine and marginal lacustrine limestones interbedded with green to brown marls –

observed in the Bozköy, Başköy-1, and upper İncigez sections – were deposited in vegetated swampy areas along shallow lake margins or

distal alluvial plains (Alonso-Zarza, 2003). The presence of root traces, alveolar-septal fabrics, and fenestral textures indicates pedogenic overprinting, consistent with meteoric diagenesis in subaerially exposed environments (Tucker and Bathurst, 1990). Pedogenic features, microbial textures, and green–brown marl transitions indicate alternating oxidation–reduction conditions driven by groundwater-table fluctuations, consistent with the balanced-fill model. Periodic subaerial exposure during regression and re-flooding during transgression produced palustrine fabrics and repetitive shallowing-upward cycles (see Figure 26 for the depositional model).

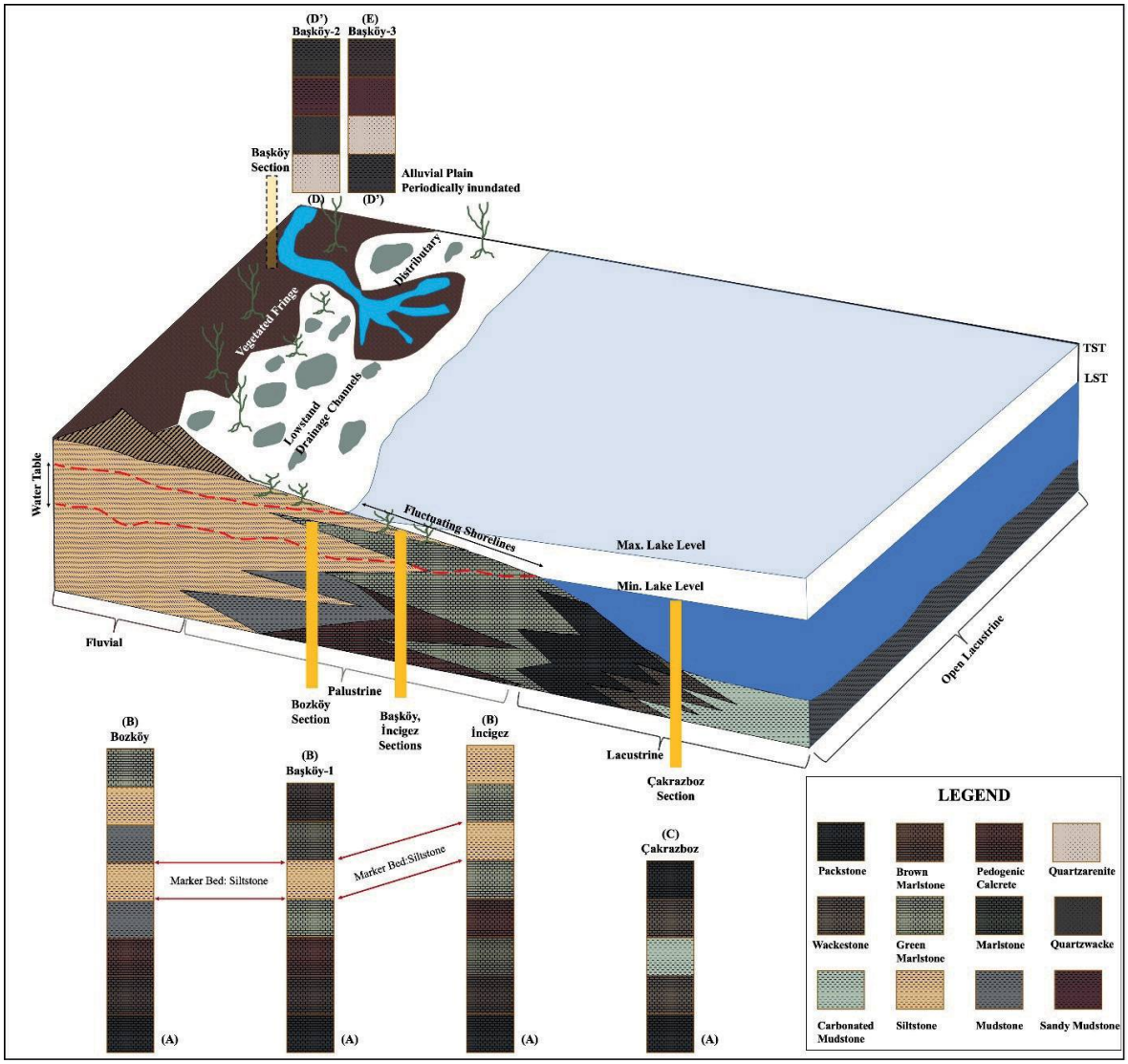


Figure 26. Depositional model of the study area illustrating the spatial and environmental context of the Çakrazboz Formation. The model reflects a balanced-fill lake basin characterized by alternating fluvial, palustrine, and lacustrine depositional systems.

Şekil 26. *Çalışma alanına ait çökelme modeli; Çakrazboz Formasyonu'nun çökelim ortamını ve fasiyeslerin mekânsal dağılımını göstermektedir. Model, flüvyal, palüstrin ve gölsel çökel sistemlerin ardalanmasıyla karakterize edilen dengeli dolgu (balanced-fill) tipi bir göl havzasını yansıtmaktadır.*

To establish lateral continuity among the measured sections, a distinctive pale yellowish-orange colored laminated siltstone beds was identified and traced as a marker horizon across the study area. This laterally persistent layer provides a reliable stratigraphic reference for correlating individual sections and reconstructing the basin-scale facies architecture (Figure 27).

When assessed through the hydrological classification of Zavala et al. (2024), the Çakrazboz Formation records recurrent alternations between three lake types:

- Underfilled conditions in the lower İncigez, Çakraz, and Başköy-2 and -3 sections, where profundal carbonates or fluvial–supratidal deposits with fining- and thinning-upward trends, pedogenic calcretes, mud cracks, and subaerial exposure features developed in closed settings.
- Balanced-fill conditions in the upper İncigez and Başköy-1 sections, where fining-upward transgressive intervals are overlain by coarsening-upward progradational littoral deltas, indicating that lake level reached the spill point before regressive delta progradation.
- Overfilled conditions in Bozköy and parts of Başköy-1, where thickening- and coarsening-upward successions indicate prolonged freshwater inflow in open systems (Figure 28).

The Başköy-2 and Başköy-3 sections show meandering fluvial point-bar successions with fining-upward sequences of conglomerates, sandstones, siltstones, and mudstones, and sedimentary structures such as cross-bedding, ripple laminations, flaser and wavy bedding, mud cracks, and root traces. These successions represent proximal alluvial to marginal lacustrine environments feeding the basin. The sedimentological and petrographic characteristics collectively indicate deposition within a low-gradient, meandering fluvial system periodically influenced by floodplain and marginal lacustrine processes. The predominance of subangular to subrounded quartz grains, poor to moderate sorting, and variable sphericity values (0.25–0.70) indicates short-distance sediment transport under fluctuating hydraulic regimes, consistent with a semi-arid climatic setting. These features, together with fining-upward successions, erosional basal contacts, and pedogenically modified overbank mudstones, suggest deposition in channel–point bar to floodplain environments formed by lateral channel migration and episodic flooding. In the Başköy-3 section, reddish pedogenically mottled mudstones, crevasse-splay sandstones, and thin palustrine limestones record intermittent lacustrine incursions, implying transient hydrological connections between fluvial channels and shallow lakes at the basin margin.

Textural parameters plotted on the Stewart (1958), Friedman (1961), Miola and Wesser (1968), and Passega (1964) diagrams further support deposition by fluvial processes, where sediment was transported as both bedload and suspension load under variable flow conditions. Provenance data based on Dickinson's (1985) QFL ternary diagram show that the Başköy sandstones plot within the craton-interior field, indicating derivation from a stable continental source dominated by quartz-rich detritus. This provenance signature, together with the low compositional and textural maturity of the sandstones, implies limited sedimentary recycling and rapid delivery from proximal upland sources along the basin margin. These results confirm that the Başköy-2 and Başköy-3 successions represent the proximal fluvial input systems of the Çakrazboz Basin, supplying detritus to the balanced-fill lacustrine depocentre and recording climatic oscillations that alternated between wet and dry phases during the Late Triassic.

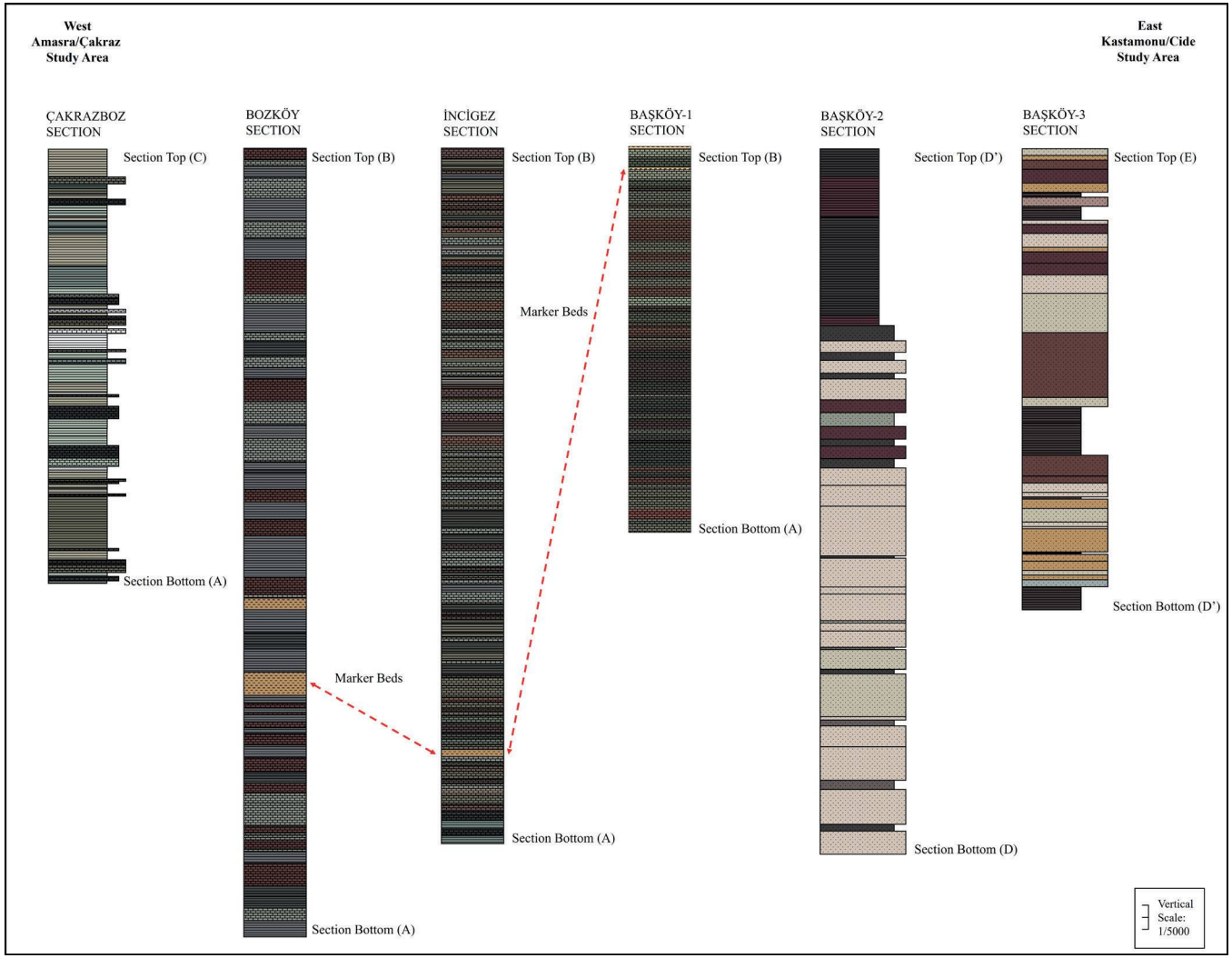


Figure 27. Lithostratigraphic correlation of the measured stratigraphic sections of the Çakrazboz Formation within the vertical succession. Correlation is based on lithofacies characteristics, vertical stacking patterns, and key stratigraphic marker beds.

Şekil 27. *Çakrazboz Formasyonu'na ait ölçülmüş stratigrafik kesitlerin düşey istif içerisindeki litostratigrafik korelasyonu. Korelasyon; litofasiyes özellikleri, düşey istiflenme desenleri ve ayırt edici stratigrafik belirleyici tabakalar temel alınarak yapılmıştır.*

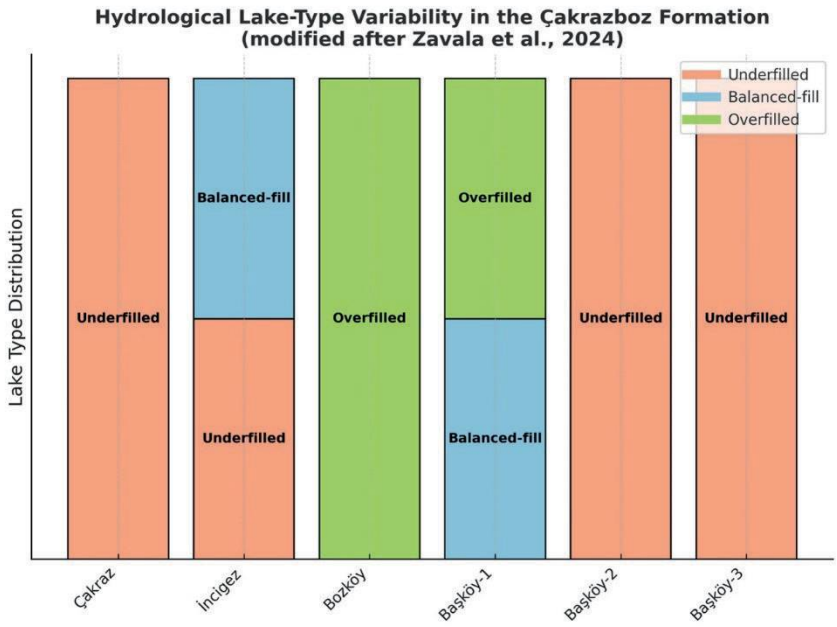


Figure 28. Hydrological lake-type variability in the Çakrazboz Formation.
Şekil 28. *Çakrazboz Formasyonu'nda hidrolojik göl tipi değişkenliği.*

In addition to these sedimentological features, diagenetic observations further refine the interpretation of depositional environments. Lacustrine carbonates from the Çakrazboz and İncigez sections preserve eogenetic features such as micritization, early cementation, and partial compaction, while palustrine and marginal facies display meteoric alteration, brecciation, and calcrete formation typical of telogenetic diagenesis (Flügel, 2010; Alonso-Zarza and Wright, 2010; Tucker and Sparks, 2024). Such diagenetic overprinting, coupled with rhythmic facies alternation, points to repeated cycles of subaerial exposure and flooding under semi-arid climatic conditions.

Overall, the depositional system of the Çakrazboz Formation, though primarily balanced-fill, oscillated between underfilled and overfilled stages, reflecting climate-controlled cyclicity and variable sediment–water budgets. The alternation of oxidized (reddish-brown) and reduced (greenish-grey) marl beds, desiccation cracks, and paleosol horizons records hydrological and climatic cycles consistent with semi-arid monsoonal variability during the Late Triassic. This dynamic evolution parallels other Western Tethyan continental basins (e.g., northern Italy, Austria, and South China), where alternating lacustrine and fluvial regimes similarly document orbitally forced climatic oscillations during the fragmentation of Pangea. Thus, the Çakrazboz Formation provides a valuable record of Late Triassic continental sedimentation in the Western Pontides, capturing the interplay between climate, hydrology, diagenesis, and tectonics during the early stages of Pangea's disintegration

CONCLUSION

The sedimentological and petrographic analyses of the Çakrazboz Formation yield the following key conclusions:

Depositional dynamics: The Çakrazboz Formation represents a Late Triassic balanced-fill lacustrine basin that periodically alternated between underfilled, balanced-fill, and locally overfilled hydrological states. These transitions reflect variable sediment–water influx and basin connectivity in response to orbitally paced climatic oscillations.

Facies evolution: Underfilled stages are marked by profundal carbonate or fluvial–supratidal successions (Çakraz, lower İncigez, Başköy-2, Başköy-3), whereas balanced-fill stages show transgressive–regressive cycles with littoral progradation (upper İncigez, Başköy-1). Overfilled stages, recorded in Bozköy and upper Başköy-1, developed under open hydrological conditions with persistent freshwater inflow and deltaic progradation.

Paleoclimate control: Color variations, diagenetic imprints, and paleosol horizons indicate that lake-level fluctuations were controlled by precessional and eccentricity-scale climate forcing, consistent with monsoonal variability reconstructed for the global Late Triassic greenhouse world (Boucot et al., 2013; Scotese, 2021).

Regional implication: The Çakrazboz Formation captures the response of Western Pontide continental basins to orbitally modulated hydrological shifts within a semi-arid to subhumid subtropical belt along the Cimmerian margin. Its cyclic sedimentation pattern parallels coeval Tethyan basins formed during the closure of the Paleotethys and early opening of the Neotethys.

Broader significance: These results establish the Çakrazboz Formation as a regional reference model for climate–hydrology interaction in Triassic lacustrine systems and provide a robust sedimentological record of continental responses to global climatic and tectonic reorganization during Pangea's fragmentation.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Batı Pontidler'in (Kuzeybatı Anadolu) Amasra–Kastamonu yöresinde yüzeylenen Çakrazboz Formasyonu, Türkiye'de bilinen tek Geç Triyas yaşlı kıtasal tortul istif olarak büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Çakraz, Bozköy, İncigez ve Başköy 1, 2 ve 3 olmak üzere toplam altı stratigrafik kesitte detaylı sedimantolojik, petrografik ve stratigrafik analizler gerçekleştirilmiş, formasyonun fasiyes mimarisi, çökelme ortamları ve iklimsel kontrol mekanizmaları ortaya konmuştur.

Saha gözlemleri ve ince kesit analizleri, formasyonun gölsel (lacustrine), bataklık (palustrine) ve akarsu (flüviyal) ortamlardan oluşan karmaşık bir fasiyes mozaiğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Çakraz ve İncigez kesitlerindeki karbonatça zengin mikrit (çamurtaşı), vaketaşı ve istiftaşı mikrofasiyesleri düşük enerjili, derin göl–sublitoral ortamlarda çökelmiş olup, periyodik olarak anoksik koşulların etkili olduğunu göstermektedir. Bozköy ve Başköy-1 kesitlerinde gözlenen fenestral dokular, kök izleri, laminar kalkritler ve kuruma çatlakları ile karakterize pedojenik olarak değişmiş kireçtaşları ve marnlar, göl kenarı bataklıkları ve palüstrin ortamlarda tekrarlayan yüzeylenme ve yeniden taşkın döngülerini yansıtır. Başköy-2 ve Başköy-3 kesitleri ise, menderesli akarsu sistemlerine ait, yukarıya doğru incelen kumtaşı–çamurtaşı ardalanmaları ile temsil edilen nokta bar istiflerini barındırmaktadır.

Formasyondaki fasiyes dağılımı ve istiflenme desenleri, göl tipinin Bohacs ve ark. (2000)'daki dengeli dolgu (balanced-fill) modeli ile büyük oranda uyumlu olmakla birlikte, Zavala ve ark. (2024)'ın hidrolik göl sınıflandırmasına göre zaman içinde yetersiz dolu (underfilled), dengeli dolu (balanced-fill) ve aşırı dolu (overfilled) evreler arasında geçişlerin yaşandığını göstermektedir. Yetersiz dolu evreler, hidrolik olarak kapalı göllerde, karbonatça zengin profundal çökeller veya flüviyal–supratidal ardalanmalarla temsil

edilirken; dengeli dolu evreler, göl seviyesinin taşma kotuna ulaştığı, transgresif–regresif istiflerle tanımlanır. Aşırı dolu evrelerde ise sürekli tatlı su girişi, açık hidrolik sistemler oluşturmuş ve kalınlaşan–iri taneli progradasyonal deltalar ile temsil edilmiştir. Bu göl tipleri, iklim salınımlarına (özellikle presesyon ve eksantriklik döngülerine) yanıt olarak değişmiştir.

Paleoiklimsel değerlendirmeler, yeşilimsi gri marnların daha nemli, kırmızımsı kahverengi marnların ise daha kurak evrelere karşılık geldiğini göstermektedir. Bu renk değişimleri, pH ve Eh dalgalanmaları ile taban suyu seviyesindeki değişimlere bağlı oksidasyon–redüksiyon koşullarını yansıtır. Yüksek çözünürlüklü renk verileri, GSA Rock-Color Chart (2009) kullanılarak göl seviyesi ve oksijenlenme durumu ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, göl tiplerindeki değişimin, havzanın sediman–su bütçesini kontrol eden iklim–hidroloji etkileşiminin doğrudan göstergesi olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, Çakrazboz Formasyonu, göl tipi evrimleri ile iklimsel döngüler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan, Geç Triyas iç havza sistemleri için önemli bir referans kesit niteliğindedir. Bulgular, Tetis kuşağındaki diğer Geç Triyas gölsel havzalarla karşılaştırmalara olanak sağlamaktadır.

ACKNOWLEDGMENT

This study is derived from the doctoral dissertation entitled “Sedimentological and Cyclostratigraphic Analysis of the Çakrazboz Formation (Triassic) in Amasra–Kastamonu Region”, conducted within the framework of the Council of Higher Education’s Faculty Member Training Program (ÖYP).

ORCID

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

İsmail Ömer Yılmaz https://orcid.org/0000-0002-7967-3026

REFERENCES

Adrian, R., O’Reilly, C. M., Zagarese, H., Baines, S. B., Hessen, D. O., Keller, W., ... & Winder, M. (2009). Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and oceanography*, *54*(6 part 2), 2283-2297. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283

Akbaş, B., Altun, İ. T. & Bilgin, A. Z. (2002). *1:100,000 scale geological map of Turkey, Zonguldak E28 sheet*. General Directorate of Mineral Research and Exploration.

Akdoğan, R., Hu, X., Okay, A. I., Topuz, G. & Xue, W. (2021). Provenance of the Paleozoic to Mesozoic siliciclastic rocks of the İstanbul Zone constrains the timing of the Rheic Ocean closure in the Eastern Mediterranean region. *Tectonics*, *40*(12), e2021TC006824. https://doi.org/10.1029/2021TC006824

Akman, Ü. (1992). Amasra-Arıt arasının jeolojisi [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. *PhD, Ankara University, Ankara, Turkey (in Turkish)*.

Alişan, C., Derman, A. S. (1995). The first palynological age, sedimentological and stratigraphic data for the Çakraz Group (Triassic), Western Black Sea. Erler, In A., Ercan, T., Bingöl, E., & Örçen, S. (Eds.), *Geology of the Black Sea region*, 93-98.

Alonso-Zarza, A. M. (2003). Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, *60*(3-4), 261–298. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00106-X

Alonso-Zarza, A. M. & Tanner, L. H. (2009). *Carbonates in continental settings: facies, environments, and processes*. Developments in Sedimentology, Volume 61. Elsevier.

Alonso-Zarza, A. M. & Wright, V. P. (2010). Palustrine carbonates. In A. M. Alonso-Zarza & L. H. Tanner (Eds.), *Developments in Sedimentology, 61*, (pp. 103–131). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0070-4571(09)06102-0

Argyilan, E. P. & Forman, S. L. (2003). Lake level response to seasonal climatic variability in the

Lake Michigan-Huron system from 1920 to 1995. *Journal of Great Lakes Research*, *29*(3), 488-500. https://doi.org/10.1016/S0380-1330(03)70453-5

Armenteros, I. (2010). Diagenesis of carbonates in continental settings. In Alonso-Zarza, A.M. & Tanner, L.H. (Eds.), *Developments in Sedimentology*, *62*, 61-151. https://doi.org/10.1016/S0070-4571(09)06202-5

Bathurst, R. G. (1987). Diagenetically enhanced bedding in argillaceous platform limestones: stratified cementation and selective compaction. *Sedimentology*, *34*(5), 749-778. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1987.tb00801.x

Boggs Jr, S. (2014). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Pearson Education.

Boggs, S. (2006). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy* (4th ed.). Pearson Prentice Hall.

Bohacs, K. M., Carroll, A. R., Neal, J. E., & Mankiewicz, P. J. (2000). Lake-basin type, source potential, and hydrocarbon character: An integrated sequence-stratigraphic–geochemical framework. In E. H. Gierlowski-Kordesch & K. R. Kelts (Eds.), *Lake Basins Through Space and Time*. (Vol. 3, pp. 3–34). AAPG Studies in Geology. https://doi.org/10.1306/St46706C1

Boucot, A. J., Xu, C., Scotese, C. R., & Morley, R. J. (2013). *Phanerozoic Paleoclimate: an Atlas of Lithologic Indicators of Climate* (vol. 11, pp. 1-30). SEPM (Society for Sedimentary Geology).

Bustillo, M. A., Armenteros, I., & Huerta, P. (2017). Dolomitization, gypsum calcitization and silicification in carbonate–evaporite shallow lacustrine deposits. *Sedimentology*, *64*(4), 1147-1172. https://doi.org/10.1111/sed.12345

Carroll, A. R., & Bohacs, K. M. (1999). Stratigraphic classification of ancient lakes: Balancing tectonic and climatic controls. *Geology*, 27(2), 99–102. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0099:SCOALB>2.3.CO;2

Cecil, C. B. (1990). Paleoclimate controls on stratigraphic repetition of chemical and siliciclastic rocks. *Geology*, *18*(6), 533–536. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1990)018%3C0533:PCOSRO%3E2.3.CO;2

De Wet, C. B., Yocum, D. A. & Mora, C. I. (1998). Carbonate lakes in closed basins: sensitive indicators of climate and tectonics: an example from the Gettysburg Basin (Triassic), Pennsylvania, USA. In G. Kocurek (Ed.), *Relative Role of Eustacy, Climate, and Tectonism in Continental Rocks. SEPM Society for Sedimentary Geology.* https://doi.org/10.2110/pec.98.59.0191

Dickinson, W. R. (1985). Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G. G. (Eds.), *Provenance of Arenites*, (Series C, 148, pp. 333-361). North Atlantic Treaty Organization - Advanced Study Institutes (NATO-ASI). https://doi.org/10.1007/978-94-017-2809-6_15

Dobkins, J. E. & Folk, R. L. (1970). Shape development on Tahiti-nui. *Journal of Sedimentary Research*, *40*(4), 1167-1203. https://doi.org/10.1306/74D72162-2B21-11D7-8648000102C1865D

Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In W. E. Ham (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, (pp. 108–121). AAPG Memoir 1.

Fijałkowska-Mader, A., Heunisch, C. & Szulc, J. (2015). Palynostratigraphy and palynofacies of the Upper Silesian Keuper (southern Poland). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 85(4), 637-661. https://doi.org/10.14241/asgp.2015.025

Flügel, E. (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application* (2nd ed.). Springer.

Folk, R. L. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *AAPG Bulletin*, 43(1), 1–38. https://doi.org/10.1306/0BDA5C36-16BD-11D7-8645000102C1865D

Folk, R. L. & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size

parameters. *Journal of Sedimentary Research*, *27*(1), 3-26. https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D

Franke, W., Paul, J. (1980). Pelagic redbeds in the Devonian of Germany – deposition and diagenesis. *Sedimentary Geology*, 25(3), 231–256. https://doi.org/10.1016/0037-0738(80)90043-3

Freytet, P. (1973). Petrography and paleo-environment of continental carbonate deposits with particular reference to the Upper Cretaceous and Lower Eocene of Languedoc (Southern France). *Sedimentary Geology*, *10*(1), 25-60. https://doi.org/10.1016/0037-0738(73)90009-2

Freytet, P. & Verrecchia, E.P. (2002). Lacustrine and palustrine carbonate petrography: an overview. *Journal of Paleolimnology, 27*, 221–237. https://doi.org/10.1023/A:1014263722766

Friedman, G. M. (1961). Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology, 31*(4), 514-529. https://doi.org/10.1306/74D70BCD-2B21-11D7-8648000102C1865D

Gamero-Diaz, H., Miller, C. & Lewis, R. (2012). sCore: a classification scheme for organic mudstones based on bulk mineralogy. *Search and Discovery,* Article *40951*.

Gand, G., Tüysüz, O., Steyer, J. S., Allain, R., Sakınç, M., Sanchez, S., Şengör, A. M. C, & Sen, S. (2011). New Permian tetrapod footprints and macroflora from Turkey (Çakraz Formation, northwestern Anatolia): Biostratigraphic and palaeoenvironmental implications. *Comptes Rendus Palevol, 10*(8), 617-625. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2011.09.002

Gedik, I. & Aksay, A. (2002). *1:100,000 scale geological map of Turkey, Zonguldak E29 sheet*. General Directorate of Mineral Research and Exploration.

Geological Society of America (GSA). (2009). *Rock-Color Chart*. Geological Society of America.

Gierlowski-Kordesch, E. H. (2010). Lacustrine carbonates. In A. M. Alonso-Zarza & L. H. Tanner (Eds.), *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes,* (Vol. 61, pp. 1–101). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0070-4571(09)06101-9

Glenn, C. R. & Kelts, K. (1991). Sedimentary rhythms in lake deposits. *Cycles and Events in Stratigraphy*, (pp. 188–221). Springer.

Golonka, J. (2007). Late Triassic and Early Jurassic palaeogeography of the world. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *244*(1-4), 297-307. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.06.041

Gvirtzman, G. (2006). Groundwater hydrology and paleohydrology of the Dead Sea rift valley, In Y. Enzel, A. Agnon, M. Stein (Eds.), *New Frontiers in Dead Sea Paleoenvironmental Research*. *Geological Society of America*. https://doi.org/10.1130/2006.2401(06)

Haq, B. U., Hardenbol, J. A. N., & Vail, P. R. (1987). Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, *235*(4793), 1156-1167. https://doi.org/10.1126/science.235.4793.1156

Hedges, J. I., & Stern, J. H. (1984). Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids. *Limnology and Oceanography*, *29*(3), 657-663. https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.3.0657

Immenhauser, A. (2022). On the delimitation of the carbonate burial realm. *The Depositional Record*, *8*(2), 524-574. https://doi.org/10.1002/dep2.173

Kürschner, W. M. & Herngreen, G. W. (2010). Triassic palynology of central and northwestern Europe: a review of palynofloral diversity patterns and biostratigraphic subdivisions. In S.G. Lucas (Ed.), *The Triassic Timescale*, (pp. 263-283). The Geological Society of London. https://doi.org/10.1144/SP334.11

Kutzbach, J. E. (1994). Idealized Pangean climates: sensitivity to orbital change. In G. O. Klein (Ed.), *Pangea: Paleoclimate, Tectonics, and Sedimentation During Accretion, Zenith, and*

Breakup of a Supercontinent. Geological Society of America. https://doi.org/10.1130/SPE288-p41

Mattes, B. W., & Mountjoy, E. W. (1980). Burial dolomitization of the Upper Devonian Miette buildup, Jasper National Park, Alberta. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogist*s, 28, 259-297. https://archives.datapages.com/data/sepm_sp/SP28/Burial_Dolomitization.htm

Miall, A. D. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology.* Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03237-4

Moiola, R. J. & Weiser, D. (1968). Textural parameters: An evaluation. *Journal of Sedimentary Petrology, 38,* 45-53. https://doi.org/10.1306/74D718C5-2B21-11D7-8648000102C1865D

Montañez, I. P. & Crossey, L. J. (1998). Diagenesis of sedimentary rocks. In G. N. Hanson (Ed.), *Encyclopedia of Earth Sciences*, (pp. 145–160). Springer.

Moore, C. H. (1989). *Carbonate Diagenesis and Porosity*. Elsevier.

Moore, C. H. & Wade, W. J. (2013). *Carbonate Reservoirs: Porosity and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework* (2nd ed.). Elsevier.

Nikishin, A. M., Okay, A. I., Tüysüz, O., Demirer, A., Amelin, N. & Petrov, E. (2015a). The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Part 1: Basins structure and fill. *Marine and Petroleum Geology*, *59*, 638-655. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.08.017

Nikishin, A. M., Okay, A., Tüysüz, O., Demirer, A., Wannier, M., Amelin, N. & Petrov, E. (2015b). The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Part 2: Tectonic history and paleogeography. *Marine and Petroleum Geology*, *59*, 656-670. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.08.018

Okay, A. I. & Nikishin, A. M. (2015). Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region. *International Geology Review*, *57*(5-8), 1051-1076. https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1010609

Okay, A. I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In B. Durand et al. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen* (pp. 475–515). Geological Society of London. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22

Passega, R. (1964). Grain size characteristics by C-M pattern as a tool. *Journal of Sedimentary Petrology, 34,* 233-847. https://doi.org/10.1306/74D711A4-2B21-11D7-8648000102C1865D

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. (1973). *Sand and Sandstone*. Springer.

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. (2012). *Sand and Sandstone.* Springer Science & Business Media.

Pettijohn, F.J., Potter, P. E. & Siever, R. (1987). *Sand and Sandstone* (2nd ed.). Springer-Verlag.

Philcox, M. E. (1963). Banded calcite mudstone in the lower Carboniferous" reef" knolls of the Dublin Basin, Ireland. *Journal of Sedimentary Research*, *33*(4), 904-913. https://doi.org/10.1306/74D70F6F-2B21-11D7-8648000102C1865D

Platt, N. H., & Wright, V. P. (1992). Palustrine carbonates and the Florida Everglades; towards an exposure index for the fresh-water environment?. *Journal of Sedimentary Research*, *62*(6), 1058-1071. https://doi.org/10.1306/D4267A4B-2B26-11D7-8648000102C1865D

Powers, M. C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, *23*(2), 117-119. https://doi.org/10.1306/D4269567-2B26-11D7-8648000102C1865D

Rafferty, J. P. (Ed.). (2010). *Climate and Climate Change*. Britannica Educational Publishing.

Raynaud, D., Jouzel, J., Barnola, J. M., Chappellaz, J., Delmas, R. J., & Lorius, C. (1993). The ice record of greenhouse gases. *Science*, 926-934. https://doi.org/10.1126/science.259.5097.926

Reading, H. G. & Levell, B. K. (1996). Controls on the sedimentary rock record. In H. G. Reading (Ed.), *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy,* (3rd ed.). Blackwell Science.

Rech-Frollo, M. (1971). Les calcaires des couches rouges des alpes: Leur composition et leur origine. *Sedimentary Geology*, *6*(1), 53-72. https://doi.org/10.1016/0037-0738(71)90026-1

Reineck, H. E. & Singh, I. B., (1980). *Depositional Sedimentary Environments*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-81498-3

Robertson, A. H. F., Parlak, O. & Ustaömer, T. (2016). Permian–Recent palaeogeographical and tectonic development of Anatolia: Some recent contributions. *International Journal of Earth Sciences*, 105, 1–5. https://doi.org/10.1007/s00531-015-1247-2

Robinson, A. G. (Ed.). (1997). *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region.* AAPG Memoir, 68. https://doi.org/10.1306/M68612

Rutherford, M. M., Banks, C., Hirst, P. P. & Robinson, A. G. (1992). The *Mesozoic biostratigraphy of the Pontides*. Unpublished Internal Report, BP Exploration, Middlesex, UK., 9 p.

Sames, B., Wagreich, M., Conrad, C. P. & Iqbal, S. (2020). Aquifer-eustasy as the main driver of short-term sea-level fluctuations during Cretaceous hothouse climate phases. *Geological Society of London Special Publications 498,* 9-38. https://doi.org/10.1144/SP498-2019-105

Schettino, A., & Turco, E. (2011). Tectonic history of the western Tethys since the Late Triassic. *GSA Bulletin, 123*(1–2), 89–105. https://doi.org/10.1130/B30064.1

Scotese, C. R. & Schettino, A. (2017). Late Permian–Early Jurassic paleogeography of western Tethys and the world. *Permo-Triassic Salt Provinces of Europe, North Africa and the Atlantic Margins, Tectonics and Hydrocarbon Potential.* Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809417-4.00004-5

Scotese, C. R. (2021). An atlas of Phanerozoic paleogeographic maps: the seas come in and the seas go out. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *49*(1), 679-728. https://doi.org/10.1146/annurev-earth-081320-064052

Scotese, C. R., Bambach, R. K., Barton, C., Van der Voo, R. & Ziegler, A. M. (1979). Paleozoic base maps *The Journal of Geology 87*(3), 217-277.

Şen, G. (2021). *Sedimentological and cyclostratigraphic analysis of the Çakrazboz Formation (Triassic) in Amasra-Kastamonu Region* [Published PhD Dissertation]. Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences.

Şengör, A. M. C. (1979). Mid-Mesozoic closure of Permo–Triassic Tethys and its implications. *Nature*, *279*(14), 590-593. https://doi.org/10.1038/279590a0

Şengör, A. M. C. (Ed.) (1989). *Tectonic evolution of the Tethyan region*. Nato Science Series C, Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2253-2

Şengör, A. M. C. (1990). Plate tectonics and orogenic research after 25 years: A Tethyan perspective. *Earth-Science Reviews*, *27*(1-2), 1-201. https://doi.org/10.1016/0012-8252(90)90002-D

Simmons, M. D., Tari, G. C. & Okay, A. I. (2018). Petroleum geology of the Black Sea: introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, *464*(1), 1-18. https://doi.org/10.1144/SP464.15

Sneed, E. D. & Folk, R. L. (1958). Pebbles in the lower Colorado River, Texas a study in particle morphogenesis. *The Journal of Geology*, *66*(2), 114-150. https://www.jstor.org/stable/30058239

Stewart, H. B. Jr. (1958). Sedimentary reflections on depositional environments in San Migue Lagoon, Baja California, Mexico. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, (42)* 2567-2618. https://doi.org/10.1306/0BDA5BFA-16BD-11D7-8645000102C1865D

Stolle, E. (2016). Çakraz Formation, Çamdağ area, NW Turkey: Early/mid-Permian age, Rotliegend (Germany) and Southern Alps (Italy) equivalent - a stratigraphic re-assessment via palynological

long-distance correlation. *Geological Journal, 51*(2), 223-235. https://doi.org/10.1002/gj.2620

Stow, D. A. (2005). *Sedimentary Rocks in the Field: A color guide*. Gulf Professional Publishing.

Swart, P. K. (2015). The geochemistry of carbonate diagenesis: The past and future. *Sedimentology*, 62(6), 1233–1304. https://doi.org/10.1111/sed.12205

Tucker, M. E. (1990). Diagenetic processes, products and environments. In M. E. Tucker & V. P. Wright (Eds.), *Carbonate Sedimentology*, (pp. 314–364). John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781444314175.ch7

Tucker, M. E. & Bathurst, R. G. (Eds.). (1990). *Carbonate Diagenesis*. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781444304510

Tucker, M. E. & Sparks, R. S. J. (2024). Fluvial–lacustrine interactions in the Marginal Triassic, Clevedon, Bristol Channel Basin, UK: Deposition, dolomitization and silicification. *Geological Magazine, 161*(e18). https://doi.org/10.1017/S0016756824000396

Tucker, M. E. & Wright, V. P. (1990). *Carbonate Sedimentology*. Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781444314175

Tüysüz, O. (2022). Geology of the Kurucaşile-Cide region, NW Türkiye. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, *167*(167), 149-178.

Van Hinsbergen, D. J., Torsvik, T. H., Schmid, S. M., Maţenco, L. C., Maffione, M., Vissers, R. L., ... & Spakman, W. (2020). Orogenic architecture of the Mediterranean region and kinematic reconstruction of its tectonic evolution since the Triassic. *Gondwana Research*, 81, 79-229. https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.009

Varol, B. & Akman, N. (1988). *Geological map of the Amasra–Çakraz area, (No. 42)*. MTA.

Verardo, D. J., Froelich, P. N. & McIntyre, A., (1990). Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo Erba NA-1500 Analyzer. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, *37*(1), 157-165. https://doi.org/10.1016/0198-0149(90)90034-S

Verrecchia, E. P. (2000). Fungi and sediments. In Riding, R. E. & Awramik, S.M. (Eds.) *Microbial sediments.* Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04036-2_9

Verrecchia, E. P. (2007). Lacustrine and palustrine geochemical sediments. In *Geochemical Sediments and Landscapes* (pp. 298-329). Blackwell Publishing Oxford. https://doi.org/10.1002/9780470712917.ch9

Vollmer, T., Werner, R., Weber, M., Tougiannidis, N., Röhling, H. G. & Hambach, U. (2008). Orbital control on Upper Triassic Playa cycles of the Steinmergel-Keuper (Norian): A new concept for ancient playa cycles. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 267*(1-2), 1-16. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.12.017

Wagreich, M., Lein, R. & Sames, B. (2014). Eustasy, its controlling factors, and the limno-eustatic hypothesis–concepts inspired by Eduard Suess. *Austrian Journal of Earth Sciences*, *107*(1), 115-131.

Wang, Y., Sheng, H. F., He, Y., Wu, J. Y., Jiang, Y. X., Tam, N. F. Y. & Zhou, H. W. (2012). Comparison of the levels of bacterial diversity in freshwater, intertidal wetland, and marine sediments by using millions of illumina tags. *Applied and Environmental Microbiology*, *78*(23), 8264-8271. https://doi.org/10.1128/aem.01821-12

Wright, V. P. (2009). Meteoric diagenesis. In M. E. Tucker & V. P. Wright (Eds.), *Carbonate Sedimentology,* (pp. 336–348). John Wiley & Sons.

Wright, V. P., & Tucker, M. E. (1991). *Calcretes*. Blackwell Scientific Publications. https://doi.org/10.1002/9781444304497

Yilmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C. & Şengor, A. M. C. (1997). Geology and tectonic evolution of the Pontides. In A. G. Robinson (Ed.), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region.

American Association of Petroleum Geologists. https://doi.org/10.1306/M68612C11

Yılmazer, S., Topuz, G., Guillong, M., Okay, A. I., Demirkaya, İ. & Uzun, F. (2025). Revealing the early geological history of the İstanbul Zone (Far-East Avalonia) through zircon U-Pb-Hf isotopic data. *Precambrian Research*, *427*, Article107855. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2025.107855

Zavala, C., Liu, H.-Q., Li, X.-B., Trobbiani, V., Li, Y., Arcuri, M. & Zorzano, A. (2024). High-frequency lacustrine sequence stratigraphy of clastic lakes: Lessons from ancient successions. *Journal of Palaeogeography, 13*(4), 621–645. https://doi.org/10.1016/j.jop.2024.08.004.

Zielinski, G. A., Germani, M. S., Larsen, G., Baillie, M. G., Whitlow, S., Twickler, M. S. & Taylor, K. (1995). Evidence of the Eldgjá (Iceland) eruption in the GISP2 Greenland ice core: relationship to eruption processes and climatic conditions in the tenth century. *The Holocene*, *5*(2), 129-140. https://doi.org/10.1177/095968369500500201

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 puntoyla (Times New Roman) yazılmalı, ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

Başlıklar şu şekilde olmalıdır:

ÖZ
ABSTRACT
GİRİŞ
ANA BAŞLIK
Birinci Derece Alt Başlık
İkinci derece alt başlık
Üçüncü derece alt başlık
SONUÇLAR VE TARTIŞMA
EXTENDED SUMMARY
KATKI BELİRTME
ORCID
KAYNAKLAR / REFERENCES

Kapak Sayfası

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır:

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

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

Ahmet Ahmetoğlu	Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tandoğan 06100 Ankara e-posta: a_ahmetoğlu@ankara.edu.tr ORCID Numarası: 0000-0001-1458-0820
A. Hüsnü Hüsnüoğlu	MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etütler Dairesi, 06520 Ankara e-posta: husnu56@mta.gov.tr ORCID Numarası: 0000-0001-1458-0830

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

Anahtar Kelimeler
Öz ve Absract'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 Hüsnüoğlu, H. (2022a). Makale Adı 1. *Süreli yayının/derginin adı (kısaltılmamış), Cilt No*(Sayı No), sayfa numaraları. Varsa DOI bilgisi

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

Metin içindeki atıflarda:

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

Metin içinde yazılması gerekiyorsa: Ahmetoğlu ve Hüsnüoğlu (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. Süreli yayınlar:

A.1. Süreli yayınların gösterilmesi:

Yazar ad(lar)ı, (Tarih). Makalenin başlığı. *Süreli 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

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, strafied 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 communiciation. Geological Engineering Department of Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.

G. İnternetten 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.

<u>Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.</u>

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. Gerekiyorsa, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

Çizelgeler

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

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

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ EDİTÖRÜ

Prof. Dr. Erdinç 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. Bült*.'nin yayıncı kuruluşu JMO'dır. JMO ve/veya *Türkiye Jeol. Bült*. 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. Bült*., 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. Bült.*'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. Bült*.'ne devretmelidir. JMO ve/veya *Türkiye Jeol. Bült*.'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. Bült*.; ticari amaçlar dışında patent hakları gibi telif hakkı dışındaki tüm haklarını saklı tutar.

Makale sunumu: *Türkiye Jeol. Bült.*'ne değerlendirilmek üzere makale gönderecek yazar(lar), öncelikle DergiPark'a üye olmak zorundadır. Sorumlu yazar çalışmalarını (orijinal makale, derleme, vb) *Türkiye Jeol. Bült*.'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 araştırıcılar 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. Bült*.'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 taktirde 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 bulunduğunda 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 stuied, 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

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

B. If the article has two authors

Parenthetical citations: (Author1 & Author2, Year) e.g.: (Merriman & Frey, 1999)
Narrative citations: Author1 and Author2 (Year) e.g.: Sönmez (1996)

C. If the article has more than two authors

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

D. Citing Multiple Works

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

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

Citations in the text:

Parenthetical citations: (Ahmetoğlu & Hüsnüoğlu, 2022a)
Narrative citations: Ahmetoğlu & Hüsnüoğlu (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

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, strafied 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 sholud 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 CO3(2-) instead of Ca++ and CO3--. 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 appearat 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 1and 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

Ocak 2026 Cilt 69 Sayı 1
January 2026 Volume 69 Issue 1

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:
Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, SOBIAD ve
ULAKBİM TR Dizin Veri Tabanlarında yer almaktadır.

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:
Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, SOBIAD and ULAKBİM TR Dizin Databases.

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

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