

# TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

*Geological Bulletin of Turkey*

Ağustos 2014 Cilt 57 Sayı 3  
*August 2014 Volume 57 Number 3*

ISSN 1016-9164



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

TMMOB  
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
Chamber of Geological Engineers of Turkey

**YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD**

Hüseyin ALAN	Başkan / President
Faruk İLGÜN	İkinci Başkan / Vice President
Murat ATEŞOĞULLARI	Yazman / Secretary
Halil İbrahim YİĞİT	Sayman / Treasurer
Ümit UZUNHASANOĞLU	Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Rengin KONUK	Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs
Beril GÖZÜAÇIK	Yayın Üyesi / Member of Publication

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

**Yayın Kurulu / Publication Board**

**Editör / Editor**

Prof. Dr. Orhan TATAR  
orhantatar@cumhuriyet.edu.tr

**Teknik Editör / Technical Editor**

Yrd. Doç. Dr. B. Levent Mesci  
mesci@cumhuriyet.edu.tr

**İngilizce Editörü / English Editor**

Margaret Sönmez

**Yazı İnceleme Kurulu / Editorial Board**

ALTINER Demir (Ankara, Türkiye)	OKAY Aral (İstanbul, Türkiye)
BAYHAN Hasan (Ankara, Türkiye)	PAKTUNÇ Doğan (Ontario, Kanada)
BESBELLİ Berk (Ankara, Türkiye)	ROBERTSON Alastair (Edinburg, UK)
BOZKURT Erdin (Ankara, Türkiye)	SAKINÇ Mehmet (İstanbul, Türkiye)
DEMİREL İsmail Hakkı (Ankara, Türkiye)	SATIR Muharrem (Tübingen, Almanya)
GENÇ Yurdal (Ankara, Türkiye)	ŞEN Şevket (Paris, Fransa)
GÖKÇE Ahmet (Sivas, Türkiye)	TEKİN U. Kağan (Ankara, Türkiye)
GÖKTEN Ergun (Ankara, Türkiye)	TEMEL Abidin (Ankara, Türkiye)
GÖNCÜOĞLU M. Cemal (Ankara, Türkiye)	TÜYSÜZ Okan (İstanbul, Türkiye)
GÜLEÇ Nilgün (Ankara, Türkiye)	ÜNLÜ Taner (Ankara, Türkiye)
HELVACI Cahit (İzmir, Türkiye)	ÜNLÜGENÇ Ulvi Can (Adana, Türkiye)
KARAKAYA Muazzez Çelik (Konya, Türkiye)	USTAÖMER Timur (İstanbul, Türkiye)
KARAYİĞİT Ali İhsan (Ankara, Türkiye)	VASELLI Orlando (Florans, İtalya)
KELLING Gilbert (Staffordshire, UK)	WALASZCZYK Ireneusz (Warszawa, Polonya)
MAMEDOV Musa (Baku, Azerbaycan)	YALÇIN Hüseyin (Sivas, Türkiye)
NOKAMAN M. Eran (İzmir, Türkiye)	YAVUZ Fuat (İstanbul, Türkiye)
NAZİK Atike (Adana, Türkiye)	YILMAZ İsmail Ömer (Ankara, Türkiye)
ÖZER Sacit (İzmir, Türkiye)	YİĞİTBAŞ Erdinç (Çanakkale, Türkiye)
PIPIK Radovan Kyska (B. Bystrica, Slovakia)	YÜRÜR M. Tekin (Ankara, Türkiye)

**Makale Gönderim Adresi**

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

**Corresponding Address**

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

<b>Yayın Türü</b>	: Yaygın Süreli Yayın
<b>Yayının Şekli</b>	: 4 Aylık Türkçe - İngilizce
<b>Yayın Sahibi</b>	: TMMOB JMO Adına Dündar ÇAĞLAN
<b>Sorumlu Yazı İşleri Müdürü</b>	: Dündar ÇAĞLAN
<b>Yayının İdari Adresi</b>	: Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara Tel: 0 312 432 30 85 Faks: 0 312 434 23 88
<b>Baskı (Printed by)</b>	: Afşaroğlu Matbaası Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı No: 87/7 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88
<b>Baskı Tarihi</b>	: Eylül 2014
<b>Baskı Adedi</b>	: 1000

# TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ

*Geological Bulletin of Turkey*

Ağustos 2014 Cilt 57 Sayı 3  
August 2014 Volume 57 Number 3

ISBN 1016-9164

## İÇİNDEKİLER CONTENTS

- Nurgül ÇELİK BALCI, Serra GÜL, Meryem Menekşe KILIÇ, Nevin Gül KARAGÜLER,  
Erol SARI, M. Şeref SÖNMEZ**  
**Balya (Balıkesir) Pb-Zn Madeni Atık Sahasının Biyojeokimyası ve Asidik Maden Drenajı  
Oluşumuna Etkileri**  
*Biogeochemistry of Balıkesir Balya Pb-Zn Mine Tailings Site and Its Effect On Generation of Acid Mine  
Drainage..... 1*
- Özkan ATEŞ, Salih Zeki TUTKUN**  
**Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri**  
*Hydrochemical Changes in Geothermal Systems with Simav(Kütahya) Earthquakes..... 25*
- İrem ELİTEZ, Cenk YALTIRAK**  
**Çameli Havzası'nın Miyosen-Kuvaterner Jeodinamiği, Burdur-Fethiye Makaslama Zonu  
(GB Türkiye)**  
*Miocene-Quaternary Geodynamics of Çameli Basin, Burdur-Fethiye Shear Zone (SW Turkey)..... 41*

**Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:**  
GeoRef, Geotitles, Geoscience Documentation, Bibliography of Economic Geology, Geology, Geo Archive, Geo  
Abstract, Mineralogical Abstract, GEOBASE, BIOSIS ve ULAKBİM  
Veri Tabanlarında yer almaktadır.

***Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:***  
*GeoRef, Geotitles, Geoscience Documentation, Bibliography of Economic Geology,  
Geo Archive, Geo Abstract, Mineralogical Abstract, GEOBASE, BIOSIS and ULAKBİM Database*

**TÜRKİYE JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**  
***Chamber of Geological Engineers of Turkey***



## Balya (Balıkesir) Pb-Zn Madeni Atık Sahasının Biyojeokimyası ve Asidik Maden Drenajı Oluşumuna Etkileri

*Biogeochemistry of Balıkesir Balya Pb-Zn Mine Tailings Site and Its Effect On Generation of Acid Mine Drainage*

**Nurgül ÇELİK BALCI<sup>1</sup>, Serra GÜL<sup>1</sup>, Meryem Menekşe KILIÇ<sup>2</sup>,  
Nevin Gül KARAGÜLER<sup>2</sup>, Erol SARI<sup>3</sup>, M. Şeref SÖNMEZ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ayazaga Kampüsü, 34469 İstanbul,  
(e-posta: ncelik@itu.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ayazaga Kampüsü, 34469 İstanbul

<sup>3</sup> İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Vefa, İstanbul

<sup>4</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Bölümü, Ayazaga Kampüsü, 34469

### ÖZ

Bu çalışmada, Türkiye'nin en büyük ve en eski maden atık sahası Balıkesir Balya Pb- Zn maden atık sahasının biyojeokimyası ve asidik maden drenajı (AMD) oluşumuna etkileri jeokimyasal, moleküler ve mikrobiyolojik teknikler birlikte kullanılarak araştırılmıştır. Balya atık sahasında Pb-Zn madencilik aktivitelerinden geride kalan sülfürce zengin pasaların/atıkların atmosferle teması sonucunda düşük pH'lı (2.7) ve yüksek metal içerikli (1.88 mg/L Pb, 24 mg/L Zn, 2.5 mg/L As ve 17 mg/L Cu) asidik sular oluşarak ortamın kontamine olmasına neden olmaktadır. Maden atığı, sediman, asidik ve yüzey suyu örneklerinde gerçekleştirilen jeokimyasal ve mikrobiyolojik analizler çevre açısından zararlı metallerin taşınmasında ve dağılımında sülfürce zengin atıkların ayrışmasından kaynaklanan asidik suların (pH 2.7) birincil etken olduğunu göstermiştir. Balya atık sahasında gelişen ve asidik drenaj suyu içeren göletlerde gerçekleştirilen kultivasyon temelli mikrobiyoloji çalışması sonucunda asidik suların ortalama asidofilik sülfür oksitleyen (aSOB) ve asidofilik Fe oksitleyen bakteri (aFeOB) miktarları sırası ile  $8.4 \times 10^8$  cell/ml ve  $9.6 \times 10^7$  cell/ml'dir. Aynı değerler, atıkların ulaştığı Maden deresi yüzey su örneklerinde  $3.8 \times 10^6$  cell/ml ve  $5.7 \times 10^3$  cell/ml olarak asidik sulara oranla daha düşük saptanmıştır. Maden deresi ve asidik gölet sedimanları üzerinde gerçekleştirilen 16S rDNA dizi analizine göre Balya atık sahasında Fe ve S döngüsünde *Acidithiobacillus spp.* grubuna bağlı prokaryotların dominant olduğu ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra, daha az oranda S oksidasyonunda etkili *Sulfobacillus spp.* populasyonunda tespit edilmiştir. Ayrıca, asidik suların ve atıkların ulaştığı daha düşük asidik karakter gösteren Maden Deresi sediman örneklerinde indirgenmiş sülfür türlerini (örn. kükürt) oksitleyen *Thiobacillus spp.* ve *Thiovirga spp.* cinsine bağlı mikroorganizmalar tespit edilmiştir. Bu türlerin tespiti, sahada değişen jeokimyasal



koşullara uyum sağlayan dinamik bir mikrobiyal topluluğu göstermektedir. Sahada Fe oksitleyen ve indirgeyen mikroorganizmaların tespiti ile asidik sedimanlarda jarosit, plumbojarosit ve götit gibi ikincil Fe minerallerinin varlığı atıklardan metallerin salınımında, taşınımında ve depolanmasında mikrobiyal Fe döngüsünün önemli olduğunu göstermektedir. Tüm bu sonuçlar, Balya Pb-Zn maden atık sahasında S ve Fe döngüsünde etkili mikroorganizmaların asidik suların oluşumunda ve bileşiminde ana rol oynadıklarını ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Balya Pb-Zn Madeni atık Sahası, Biyojeokimya, Mikroorganizma, Pirit.

## ABSTRACT

*Biogeochemical characteristics of Balıkesir-Balya Pb-Zn Mine Waste site, known as the oldest and largest mine tailing site in Turkey, and its influence on generation of acid mine drainage was investigated by geochemical, molecular and microbiological approach. The oxidation of sulfide rich rocks and waste, mostly left over from Balya Pb-Zn mining activities, is generating acidic water with low pH (2.7), and contributing to metal contamination containing up to 1.88 mg/L Pb, 24 mg/L Zn, 2.5 mg/L As ve 17 mg/L Cu. Geochemical and molecular/microbiological analysis on mine waste, sediment and water samples (acidic, surface) show that acidic surface waters generated from sulfide weathering are principal pathways for mobility and redistribution of environmentally important elements into the environments. Based on cultivation based microbiological analysis carried out on acidic ponds developed around and in Balya Mine waste sites , the mean acidophilic sulfur oxidizing bacteria (aSOB) and acidophilic iron oxidizing bacteria were determined as  $8.4 \times 10^8$  cell/ml ve  $9.6 \times 10^7$  cell/ml, respectively. The relatively low values for surface water of Maden creek, where mine wastes reach, were determined as  $3.8 \times 10^6$  cell/ml ve  $5.7 \times 10^3$  cell/ml, respectively. Molecular analysis of 16S rDNA gene sequences from acidic sediment and sediment from Maden Creek show the dominance of S and Fe-oxidizing prokaryotes belonging to Acidithiobacillus spp. genus in the primary drainage communities. Relatively small populations of Sulfolobus spp. were also determined . Moreover, species belong to Thiobacillus spp. and Thiovirga spp. genus were only determined on the sediment samples from Maden creek with low acidity relative to acidic sediment. These sulfur oxidizer indicates a dynamic microbial population which adapt to changing geochemical conditions. Identification of Fe oxidizer and reducer along with Jarosite, plumbojarosite and goethite in the sediments of acidic ponds indicate significance of microbial Fe cycle governing mobilization and redistribution of the metals in the waste site. Overall, it is shown that microorganisms regulating S and Fe cycle in Balya mine waste site is the key factors controlling generation and chemistry of acidic drainage water.*

**Key Words:** Balya Pb-Zn Mine Waste Site, Biogeochemistry, Microorganisms, Pyrite

## GİRİŞ

Doğada yaygın olarak bulunan metal sülfür mineralleri, yüzey/yeraltı madencilik aktiviteleri sırasında parçalanıp ufalandığından atmosferik oksijen ve su ile olan teması artar ve oksitlenmeye başlarlar. Kompleks biyo/

jeokimyasal reaksiyonların gerçekleştiği bu oksidasyon işlemleri sonrasında, yüksek sülfat ve metal içerikli, düşük pH'lı Asidik Maden drenajı (AMD) olarak isimlendirilen jeokimyasal oluşumlar meydana gelir. Doğada kendiliğinden oluştuğu gibi, madencilik aktiviteleri sırasında

ve/veya sonrasında hızlanan bu oluşumların en önemli karakteristiği çözünmüş maddelerce (100-100.000 mg/L) ve metallerce (Cu, Cd, Pb, Ni, As, Zn, Fe, Mn, Al vb.) zengin sular içermeleridir (Singer ve Stumm, 1970; Schippers vd., 1996, 1999, 2000, 2004; Nordstrom ve Alpers, 1999; Nordstrom vd., 2000; Balcı, 2010). Özellikle toksik metaller açısından zengin bu asidik sular, yüzey ve yeraltı sularına karışarak ekolojik hayat için tehdit oluşturmakta; kimi zamansa hayatı yok etmektedir.

AMD'nin oluşumu fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesleri içeren kompleks jeokimyasal süreçler içermektedir. AMD'nin başlamasında, oluşmasında ve devam etmesinde ana rolü oynayan metal sülfür minerali çoğunlukla pirittir (Taylor ve Wheeler, 1994; Nordstrom ve Alpers, 1999; Edwards vd., 2001, Balcı vd., 2007). Doğada, piritin ana oksitleyicileri moleküler oksijen ( $O_2$ ) ve  $Fe(III)_{aq}$  iyonudur. Düşük pH (<3) ortamlarında piritin  $Fe(III)_{aq}$  tarafından kimyasal olarak oksitlenme oranı,  $O_2$  ile oksitlenme oranından 10-100 kat daha hızlıdır (Nordstrom ve Alpers, 1999; Balcı vd.,2007). Dolayısıyla, asidik drenaj sularının oluşmasında  $Fe(III)_{aq}$  iyonu önemli bir rol oynamaktadır. Asit maden sahalarında  $Fe(III)_{aq}$ 'ün ana kaynağı pirittir. Piritin ayrışması ile ortama salınan  $Fe(II)$ 'nin oksitlenerek  $Fe(III)$ 'e dönüşüm hızı düşük pH koşullarında ( pH <3.5) oldukça yavaştır (Stumm ve Morgan, 1981). Ancak, bazı asidofilik bakteri ve arkealar asidik ortamlarda  $Fe(II)_{aq}$ 'nin  $Fe(III)_{aq}$ 'e oksitlenmesini hızlandırarak,  $Fe(III)_{aq}$  iyonunun ortama salınımını sağlarlar. Bu nedenle, hem Fe hem de S oksitleyen prokaryotlar AMD'ı oluşumunda ve oluşumunun hızlanmasında önemli rol oynarlar (Blowes vd., 1998; Baker ve Banfield, 2003; Johnson ve Hallberg, 2003, Balcı vd., 2007, 2006; Gül,2014.). Son yıllarda, asit maden sahalarında (AMS) yapılan moleküler ekoloji

çalışmaları ile düşük pH, yüksek sülfat ve metal konsantrasyonuna rağmen, bu ortamlarda değişik birçok mikroorganizma türü tespit edilmiştir. Bu mikroorganizmalar, yüzey koşullarında sülfür mineralleri ile atmosferden elde edilen  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  ve kayaç-su etkileşimi sonucu ortama salınan fosfat arasındaki elektron akışına dayanan kemoototrofik temelli bir biyosfer oluştururlar (Silverman ve Lundgren, 1959; Garrels ve Thompson, 1960; Simmer ve Stumm, 1970; Sweerts vd.,1990; Suzuki ve Chan, 1994; Taylor ve Wheeler, 1994; Nordstrom ve Alpers, 1999). Daha önce yapılan birçok arazi ve laboratuvar çalışmalarında mikroorganizmaların katalize ettiği sülfür oksidasyon oranlarının, kimyasal eşleniklerine göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Nordstrom ve Southam, 1997; Balcı vd., 2007, 2012).

Sülfürlü maden atıklarında ki biyojeokimyasal prosesleri katalize eden mikroorganizmaların tanımlanması, mikrobiyal toplulukların analiz edilmesine ve ne tür mikroorganizmaların hangi süreçlerden sorumlu olduklarının anlaşılmasına, atık alanlarındaki yüksek ve düşük mikrobiyal aktivite bölgelerinin tespit edilmesine olanak sağlayacağı gibi, pirit ve Fe oksidasyonu gibi AMS'nin oluşmasında etkili reaksiyonların kinetiği konusunda da önemli veriler üretecektir. Başarılı bir AMD rehabilitasyon stratejisinin oluşturulması ve uygulanabilmesi için ilgili sahalarda mikrobiyal izleme çalışmalarının yürütülmesi şarttır.

Çalışmaya konu olan Balya Pb-Zn Maden atık sahası, bölgede ki en büyük atık sahası olmasına karşın, sahanın biyojeokimyasal özellikleri ile metallerin taşınma proseslerine ve AMD'ı oluşumuna etkileri konusunda literatürde bilgi bulunmamaktadır. Sahada sınırlı sayıda yapılan araştırmalarda, ağır metal kaynağı olarak Balya Pb-Zn sahası atıkları gösterilmiş, ancak,

sahadaki sülfürlerin oksidasyon şekli (biyolojik ve/veya kimyasal) ve sahanın mikrobiyolojik topluluğunun bu süreçlere etkileri belirlenmemiştir (Aykol vd., 2002). Metallerin taşınım şekillerinin ve biyojeokimyasal süreçlerin bunlara etkisinin ortaya konması atık sahası civarındaki sulak alanlar için potansiyel kirleticilerin belirlenmesi bakımından gereklidir. Bu amaçla, Pb-Zn atık sahasında mikrobiyolojik, jeokimyasal ve jeomikrobiyolojik çalışmalar yürütülerek AMD'ı oluşumunu kontrol eden biyo/jeokimyasal süreçler ve oluşan asidik suların çevreye olan etkileri multidisipliner bir yaklaşımla bu çalışma kapsamında ilk defa araştırılmıştır.

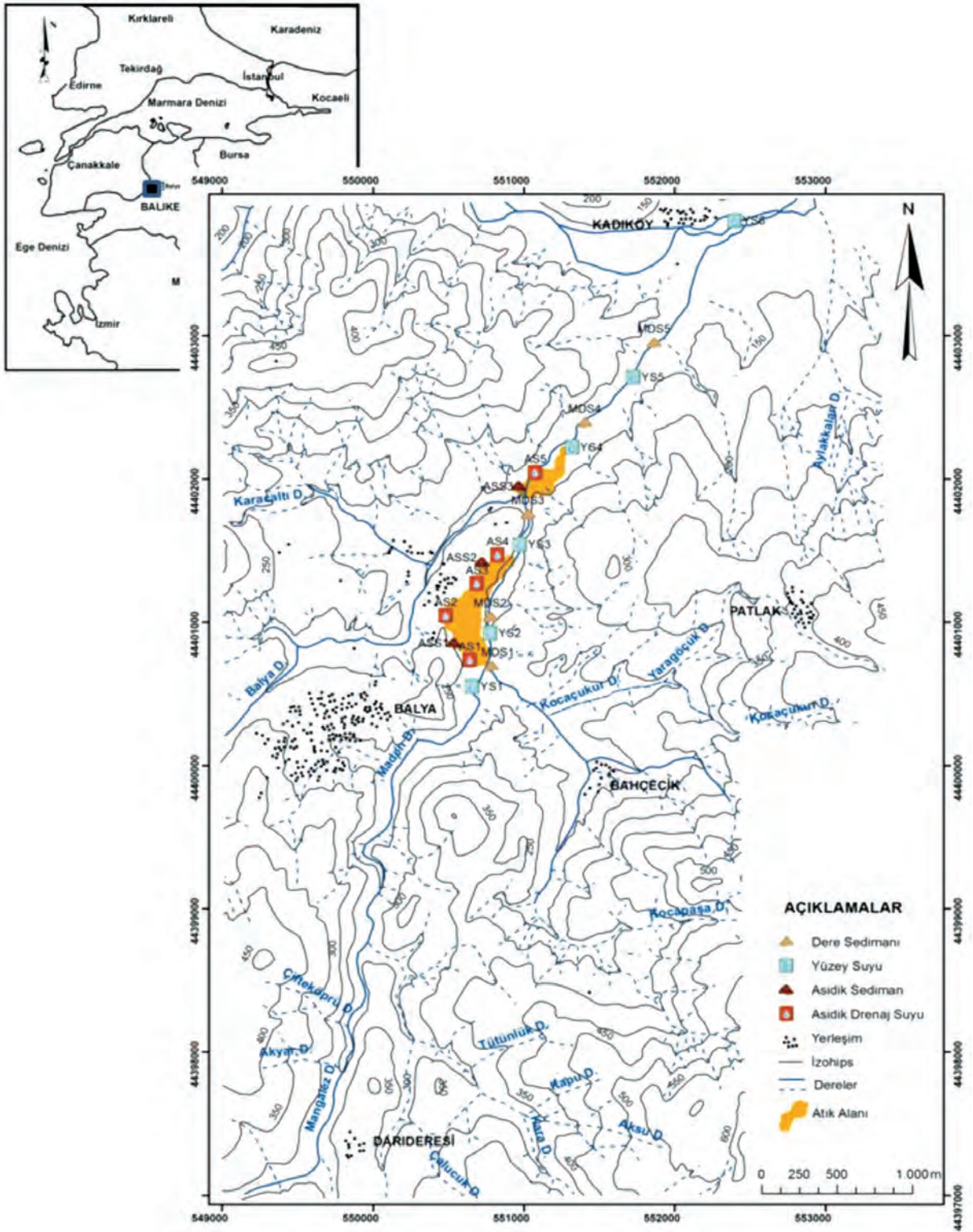
## ÇALIŞMA ALANI ve ÖZELLİKLERİ

Balya Pb-Zn maden yatağı ve maden atıkları, Marmara Bölgesi'nde Balıkesir il merkezinin yaklaşık 50 km kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1). Maden atıklarının da kapsayan Balya ve çevresi Kocaçay boyunca dik vadilerle ayrılmıştır. Maden atıklarının yer aldığı sahanın yükseltisi yaklaşık 400-500 m arasında değişmektedir. Maden atık sahasının yakınından geçen Kocaçay ilçenin en büyük akarsuyudur. Çalışma alanı Balya ve civarında yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağışlı bir iklim hakimdir. Balya ve civarının temel ekonomisini tarım ve hayvancılık oluşturmasına rağmen; madencilik ilk yerleşimlerden itibaren ilçenin önemli geçim kaynağı olmuştur. Antik dönemlerde de işletilen Balya Pb-Zn maden yatağı Osmanlı döneminde (1839) ve sonrasında yabancı sermayeli şirketlerce 1939 yılına kadar işletilmiştir. Bu işletmelerden arta kalan maden ve atıkların yeniden işletmesine yönelik çalışmalar 1997 yılına kadar sürmüştür (Akyol, 1978). Son dönemde Balya sahasında yeni maden arama çalışmaları ve var olan atıkların yeniden değerlendirilmesi çalışmaları sürmektedir.

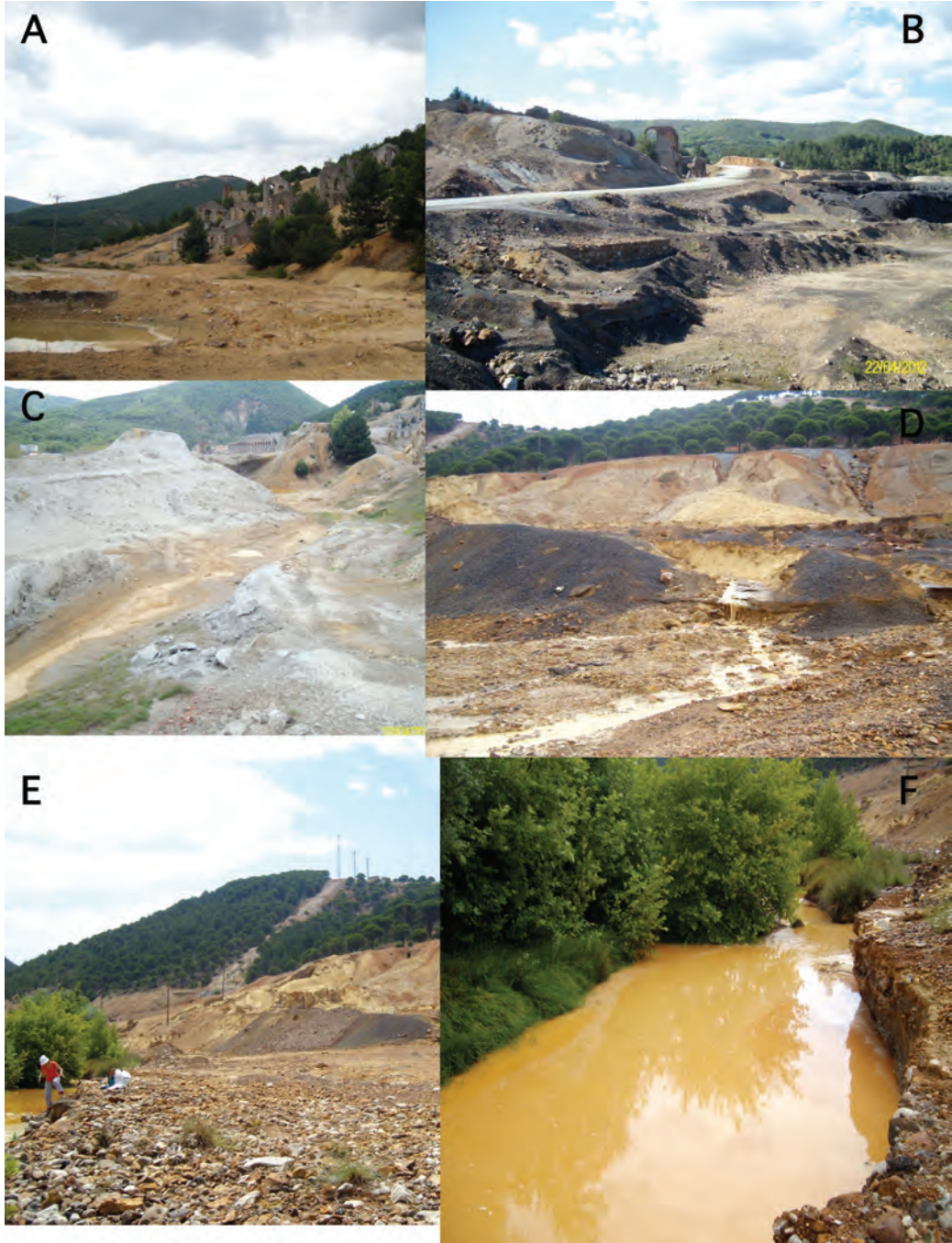
Çalışma sahasında temelde Permien yaşlı alloktan kireçtaşları ve temel kayası üzerine uyumsuzlukla Triyas yaşlı kiltası, kumtaşı, kireçtaşı ve çakıl taşlarından oluşan seri (Karakaya Formasyonu) geldiği belirtilmiştir (Akyol, 1980). Permien kireçtaşları, Triyas yaşlı Karakaya formasyonu içerisinde olistoitler şeklinde bulunmaktadır. Balya Pb-Zn cevher oluşumunun genellikle dasit-kireçtaşı dokanağında kontakt pirometasomatik ve kireçtaşının çatlaklarında hidrotermal damar türünde geliştiği ortaya konmuştur (Akyol, 1982; Aygen, 1956). Cevherleşmeler dasit, dasit porfiri ve mikrodiyorit türü kayaçlar içerisinde yer almaktadır (Özışık, 2013). Cevherleşmeler, dasit çatlaklarında realgar, orpiment, galenit, sfalerit ve pirit; kireçtaşının çatlaklarında ise galenit, sfalerit, antimonit, pirit, realgar ve orpiment birlikteliklerinden oluşmaktadır (Ağdemir vd., 1994). Genel olarak cevher mineralleri pirit, markazit, sfalerit, galen, kalkopirit ve arsenopiritten oluşmaktadır. Akyol (1982), Balya maden yatağının rezervini 4.4 milyon ton olarak cevherin içeriğini ise % 2.7 Pb, % 7.2 Zn ve % 0.3 Cu olarak belirtmiştir. Bu cevher minerallerinin yanı sıra daha az oranda markazit, bizmut, sülfat tuzları, bornit, arjenit, tetrahedrit, hematit, piroluzit, orpiment, realgar bulunduğu belirtilmiştir (Kovenko, 1940; Akyol, 1982).

Balya maden atık sahasında, daha önce çıkarılmış, kısmen cevher hazırlama işlemlerine tabii tutulmuş işletme atıkları, ocaklardan çıkarılmış olan düşük tenörlü, işlenmemiş cevher ve pasalar yamaçlara ve dere kenarlarına dökülmüştür (Şekil 2e,f). Bugün, Balya ve çevresinde 300.000 ton izabe cürufu (Şekil 2d), ve 1.200.000 ton flotasyon atığı (Şekil 2a,b,c). ve jig artığı olmak üzere toplam 1.500.000 ton kadar atık bulunduğu öngörülmektedir (Öngür, 2003; MTA, 1984; Akyol, 1978).





Şekil 1. Çalışma alanının konumu ve örnek lokasyon haritası  
Figure 1. Location of the study area and sampled sites.



**Şekil 2.** Balya Pb-Zn maden atıklarından görüntüler A, Flotasyon atıkları; B, Balya Pb-Zn flotasyon ve izabe atıkları; C, Balya Pb-Zn flotasyon atığı; D, Flotasyon atıklarının yağmurlarla etrafa taşınması; E, Ocaklardan çıkarılmış olan düşük tenörlü, işlenmemiş cevher ve yantaşlar; F, Atıkların içinden geçen Maden Deresi ve derede oluşan renk değişimi

**Figure 2.** Photographs of features related to Balya Pb-Zn mine tailing sites A, View to flotation wastes; B, View to flotation and smelter wastes; C, View to flotation wastes; D, Dispersing of flotation waste via rain; E, View to Sulfide rich debris and ores with low tenor; F, View to Maden Creek crossing the mine tailings and colored development in the creek.



## MATERYEL ve METOD

### Asidik Maden Drenajı ve Yüzeysel Su Örneklemeleri

Balya Pb-Zn atıklarının etrafında oluşan asidik sular ile atık sahasından geçen Maden deresi üzerinde yağmur sonrası takiben Nisan 2012 tarihinde su örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Atıkların etrafında oluşan asidik maden drenajından 5 adet asidik su (AS1-5) örneği, Maden deresi üzerinde ise 6 ayrı noktadan yüzeysel su (YS) örneği alınmıştır (Şekil 3a,b,c,d). Asidik ve yüzeysel sularının fiziksel parametreleri (pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve yükseltgenme-indirgenme potansiyeli) taşınabilir cihazla yerinde ölçülmüştür (Şekil 3a). Su örnekleri yerinde 0,2 µm filtreden geçirilerek alınmış, 50 ve 100 mL'lik polietilen şişelerde +4°C'de portatif buzluklarda muhafaza edilmiştir. Filtre edilen örneklerin 10 ml'sinde spektrofotometre cihazı ve Ferrozin metodu kullanılarak yerinde  $Fe(II)_{aq}$  ve  $Fe_{tot}$  ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Katyon ve element analizleri için 50 mL örnekleme yapılmış ve % 5'lik  $HNO_3$  asit kullanılarak örneğin pH'sı 2'ye kadar düşürülmüştür. Örnekler analiz edilene kadar +4°C'de ağzı kapalı olarak muhafaza edilmiştir. Katyon ve element analizleri İTÜ Adnan Tekin Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde ICP-MS (endüktif eşlenik plazma – kütle spektrometresi) yöntemi ile analiz edilmiştir. Anyon analizleri ( $Cl$ ,  $SO_4$ ,  $NO_3$ ) asit eklenmeyen 100 mL örnek kullanılarak İTÜ Jeomikrobiyoloji Laboratuvarında spektrofotometrik olarak gerçekleştirilmiştir.

### Maden atık ve sediman örneklemeleri

Çalışma alanındaki atıkların jeokimyasal karakterizasyonu için, sahadaki atıklardan toplam 5 adet örnekleme yapılmıştır. Atıkların etrafında gelişen asidik su göletlerinden toplam 3 adet (ASS1-ASS3), atıkların ulaştığı Maden deresinden

ise toplam 5 adet sediman örnekleme (MDS1-MDS5) gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Dereden sediman örneklemeleri, burğu yardımı ile 20 cm derinliğinde yaklaşık 2.5 kg sediman örneği alımı şeklinde gerçekleştirilmiştir. Asidik göletlerden elde edilen çökel örnekleri ağırlıklı olarak ince bir tabaka halinde çökelen kırmızı renkli Fe-oksit/hidroksitleri içermektedir (Şekil 3a, b, c, d). Tüm katı (sediman, maden atığı) örneklerindeki majör ve iz element analizleri İTÜ Adnan Tekin Uygulama ve Araştırma merkezinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, katı örnekler 60°C'de kurutulduktan sonra 63 µm boyutuna öğütülmüştür. Öğütülüp hazırlanan 1 gr örnek 6 mL HF (%40), 3 mL HCl (%37) ve  $HNO_3$  (%67) asit çözeltisinde çözülmüş, tekrar filtre edildikten sonra saf su ile 100 mL'ye tamamlanarak ICP-MS ile analiz edilmiştir. Maden atıkları ile asidik çökeller üzerinde mineralojik çalışmalar XRD ile gerçekleştirilmiştir.

### Sedimentte Organik karbon analizi

Ortamdaki (dere yatağı, atık sahası vb.) organik karbon miktarı, gelişebilecek biyojeokimyasal reaksiyonlar ve türleri için belirleyici faktörlerden biridir. Bu nedenle, asidik çökel örneklerinde (asidik ASS1-ASS3; MDS1-MDS5) Walkley ve Black metodu kullanılarak (Gaudette vd., 1974) organik karbon analizi yapılmıştır. Bu amaçla, örnekler 105 °C de kurularak öğütülmüş ve her bir örnekden yaklaşık 0.5 gr alınarak üzerine 10 ml potasyum dikromat solüsyonu ilave edilip iyice karıştırılmıştır. Ardından, numuneye 20 ml konsantirik sülfirik asit ilave edilerek 20-30 dakika karıştırılıp 200 ml distile su ile seyreltildikten sonra 10 ml fosforik asit 0,2 gr sodyum florid ve 1 ml difenilamin eklenmiştir. Daha sonra örnek titrasyona tabi tutulmuş ve titrasyon yeşil rengin açığa çıkmasıyla sona erdirilmiştir.

Organik madde miktarı:

$C_{org} = 3.951 / g (1 - T / S)$  formülü kullanılarak (%) cinsinden hesaplanmıştır.

g = örneğin ağırlığı (gr),

T= ml demir çözeltisi örnek titrasyonu,

S= ml demir çözeltisi blank titrasyonu.

### **Mikrobiyolojik Çalışmalar**

Maden atık sahasındaki mikrobiyolojik topluluğu belirlemek amacıyla kultivasyon ve moleküler biyoloji teknikleri birlikte kullanılmıştır: 1-Atık sahasında Sülfür ve Demir döngüsünde aktif olan mikrobiyal türler ve miktarlarını belirlemek amacı ile En Muhtemel Sayı (Most probable number (MPN)) kultivasyon tekniği 2-Atık sahasının genel mikrobiyal topluluğunu belirlemek için 16S rDNA Moleküler biyoloji tekniği kullanılmıştır.

### ***En Muhtemel Sayı (Most Probable Number) Tekniği***

Bu teknik aktif /canlı mikroorganizmaların tayini için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. EMS tekniği kullanılarak, atıkların çevresinde oluşan asidik maden drenajı ile Maden Deresinde asidofilik Sülfür oksitleyen bakteri (aSOB), demir oksitleyen bakteri (FeOB) ile asidofilik demir indirgeyen bakteri (aFeIB) tayinleri yapılmıştır. Bakteri tayinlerinde, saptanmak istenen bakteri türüne uygun olarak önceden hazırlanan besiyerleri içeren ve steril hale getirilen aerobik kültür tüpleri (9 ml) ve anaerobik serum şişeleri (9 ml) kullanılmıştır. Araziye getirilen kültür tüpleri ve serum şişeleri her bir örnekleme noktasında steril pipet uçları kullanılarak istenen su örneği ile inoküle edilmiştir. Inokülasyonda 5 tüp tekniği (Cochran, 1950) kullanılmıştır. Hazırlanan tüp ve serum şişeleri oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C} \pm 2$ ) 4 hafta süreyle inkübe edilmiştir. Söz konusu mikroorganizmaların büyütülmesi için gerekli

besiyeri ile pozitif tüplerin tanınması için önceki çalışmalarda başarıyla uygulanan yöntemler kullanılmıştır (Balcı vd., 2009, 2012 ; Hulshof vd., 2006 ve Benner vd., 2000).

### ***16S rDNA Methodu ile mikrobiyal topluluğun belirlenmesi***

Atık sahası içerisindeki farklı asidik maden drenajı göletlerinden 3 adeti (AS1-AS3) ve atıkların dereye ulaştığı noktadan alınan sediman örneklerinden 4 adeti (MDS1-MDS4) bu analizler için kullanılmıştır. Söz konusu sediman örnek alımları için, daha önce otoklav kullanılarak (humitsu -120 °C ve 1 kbar basınç) steril hale getirilmiş spatula ve 50 ml steril santrifüj tüpleri kullanılmıştır (Şekil 3e, f). Sediman örnekleri steril spatula kullanılarak, 50 ml santrifüj tüpleri içerisine toplanmış bunu takiben tüplerin ağızları sıkıca kapatılarak kilitli torbalar içine yerleştirilmiştir. Örnekler, moleküler biyoloji analizine kadar geçen sürede -21 °C'de saklanmıştır. Sediman örneklerinden (2-5 gr) yüksek verimde genomik DNA (gDNA) izolasyonu için FastPrep DNA ekstraksiyon kiti kullanılmıştır. Kit kullanılarak elde edilen DNA çözeltisi, sonraki moleküler analizlere kadar -21°C'de saklanmıştır. Sediman örneklerinden elde edilen DNA çözeltisi üzerinde 16S rDNA bölgesinden seçilmiş pA-F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') ve pH-R (5' AAGGAGGTGATCCAGCCGCA-3') primer çifti kullanarak polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) gerçekleştirilmiştir. PZR reaktifleri, (25 µL) 1 X PCR tamponu, 200 mM dNTP (deoksिनükleosid trifosfat), 0.25 mM ileri ve geri primerler , 0.5 U Taq polimerazı ve 1 ml DNA çözeltisinden oluşmaktadır. PZR aşamasından sonra, agaroz jel üzerinde PZR ürünlerinin kontrolü yapılmış ve uygun klonlama yöntemi kullanılarak (TOPO TA® Cloning Kit, Invitrogen) vektöre aktarılmış plazmidler, transformasyon sonrası uygun konakçı hücreye aktarılarak katı besiyerinde geliştirilmiştir.



İlgilenilen PZR ürününün vektörde olduğunu gösteren agar besiyeri üzerindeki beyaz koloniler mavi/beyaz tarama yöntemi ile seçilmiştir. Seçilen beyaz koloniler sıvı besiyerinde büyütülmüş ve plazmid DNA örnekleri izole edilmiştir. ABI Prism 3100 Avant Automated Sequencer cihazının kullanılması ile herbir farklı mikroorganizmaya

karşılık gelen DNA dizileri 2 yönlü M13 primer kullanılarak analiz edilmiştir. Tanımlanan dizi analizlerinin NCBI BLAST yardımı ile 16S rDNA dizi analizlerinin karşılaştırılması sonucunda diziler arasındaki farklılıklardan yararlanılarak cins ve tür düzeyinde hangi mikroorganizmaların bulunduğu tesbit edilmiştir.



**Şekil 3.** A ve B: Atıkların üzerinde oluşan asidik göletler ve yapılan örnekleme çalışmalarından görüntü; C ve D: Flotasyon ve izabe atıkları içinde oluşan asidik göletler; E ve F, Asidik göletlerden mikrobiyolojik çalışmalar için örnek alımı.

**Figure 3.** A,B, View to acidic ponds developed in the tailings site and samplings campaign; C,D, Acidic ponds developed in the flotation and smelter wastes; E, F, View to sampling for microbiological analysis from acidic ponds.

## BULGULAR

### Maden Atık ve Sediman Jeokimyası

Balya Pb-Zn Maden sahasında bulunan atıklar, asidik maden drenajı içeren gölet ve dere sedimanları üzerinde gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Atıklar üzerinde gerçekleştirilen analiz sonucunda major element sıralaması Fe>Ca>Al>K>Mg>Mn>Na>Ti>P şeklinde tespit edilmiştir. Major element sıralaması atıkların yüksek oranda Fe, Ca ve Al içerdiğini ortaya koymuştur.

Atıkların metal içeriği oldukça yüksek olup sırasıyla azalan oranda ortalama % 12.8 Fe, 9845 mg/kg Pb, 8975.3 mg/kg Zn, 3300 mg/kg As, 1501 mg/kg Cu, 255 mg/kg Co ve 221 mg/kg Cd içermektedir. Atıklarda tespit edilen metaller, Balya Pb-Zn maden yatağının sülfür mineralojisi ile uyumludur ve ana kaynak olarak sülfürlü mineralleri işaret etmektedir (Çizelge 2). Maden atıklarında tespit edilen yüksek Pb (9845 mg/kg) ve Zn (8975,3 mg/kg) değerleri, ana kaynak olarak galen ve sfaleriti işaret etmektedir. Ayrıca, atıklarda tespit edilen ikincil mineraller Pb, Zn, Fe ve As metalleri için önemli birer kaynaktır (Çizelge 3). Özellikle atıklarda tespit edilen düşük çözünürlüklü anglezit minerali Pb elementi için kaynak teşkil etmektedir (Çizelge 2). Pirit ve ikincil Fe oluşumları atıklarda ölçülen yüksek Fe (%12.81)’in kaynağını oluşturmaktadır. Atıkların ortalama As ve Cu konsantrasyonu sırasıyla 3300 mg/kg ve 1501 mg/kg olarak saptanmıştır. Atıkların içerdiği arsenopirit ve kalkopirit ile Balya cevherleşmesinde daha az oranda bulunduğu bilinen tetrahedrit, realgar ve orpiment mineralleri söz konusu metallerin ana kaynakları olmalıdır. Atıkların Cd ve Co içerikleri diğer elementlere oranla daha düşüktür. Atıkların içinde bolca bulunan pirit, ve özellikle sfaleritin Cd ve Co ile Sn, Se ve Ni gibi diğer iz elementlere kaynak

teşkil ettiği daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Kovenko, 1940). Yine aynı çalışmada, galenin % 0.11 Sn, % 0.01 Bi, % 0.54 Cu, % 0.03 Fe, 0.004 Ni ve % 0.01 oranında As içerdiği tespit edilmiştir (Kovenko, 1940).

Asidik maden drenajı içeren göletlerden toplanan Fe oksit-hidroksitlerle zengin çökellerin metal içeriği, atıkların metal içeriği ile benzerlik sergilemektedir (Çizelge 1). Bu veriler, atıklardan salınan Pb, Zn, Cd, Co, As ve Cu’nun Fe-oksitlere adsorb olduğunu göstermektedir. AS1 asidik göletinden alınan Fe’ce zengin çökeller üzerinde yapılan XRD çalışmaları sonucunda elde edilen veriler Çizelge 3’de sunulmuştur. Çizelge 3’den görüldüğü gibi asidik göletler içerisinde As, Zn, Pb ve Fe’li birçok değişik mineral bulunmaktadır. Fe’ce zengin çökellerin tüm metal içerikleri yüksek olmasına karşın özellikle As ve Cu değerleri dikkat çekicidir; ve söz konusu elementlerin Fe oksitlere olan yüksek bağlanma isteği ile uyumludur (Balcı, 2010). Asidik göletlerde tespit edilen plumbojarosit, jarosit ve götit gibi Fe oksit-hidroksitlerin geniş yüzey alanları nedeniyle metalleri kolaylıkla adsorb ettikleri daha önceki çalışmalarda da tespit edilmiştir (Balcı, 2010; Randall vd.,2001). Tüm bu veriler, atıkların çevresinde oluşan Fe oksit-hidroksitlerin atıklardan salınan metalleri adsorb ederek taşınmalarını denetlediğini göstermektedir. Atık sahasından geçen Maden deresinden toplanan sediman örneklerinde gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarına göre Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı %11,9 ortalama değeri ile maden atık kimyasına oldukça yakın değerler vermiştir. Atık sahasına olan yakınlıkla bu değerler yükselmiş ve en yüksek değer % 18,2 olarak MDS2 sediman örneğinde saptanmıştır. Maden atıkları ile uyumlu olarak, dere sedimanlarında da yüksek metal değerleri elde edilmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Balya Pb-Zn Maden atık sahasından alınan maden atığı, asidik su sedimanı ve Maden Deresi sedimanlarının kimyasal analiz sonuçları.

**Table 1.** Chemical data for mine wastes and sediment from acidic ponds and Maden Creek.

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Pb	Zn	Cu	As	Co	Cd	Corg
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
<b>Maden Atığı</b>																
ortalama	6.75	12.81	1.23	11.23	0.52	3.75	0.19	0.07	0.76	9845	8975.3	1501	3300	255	221	0.1
(n=5)																
<b>Asidik Su Sedimanı</b>																
ortalama	12.6	30.23	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	7550	6232.8	2560.4	5230	56.4	45.8	2.4
(n=3)																
<b>Dere Sedimanı</b>																
ortalama	8.32	11.9	0.85	5.36	0.65	1.98	0.28	0.14	0.65	4678.2	4332.1	875	1876	45.7	35.3	12
(n=5)																

**Çizelge 2.** Balya Pb-Zn maden atıklarında XRD ile tespit edilen mineraller

**Table 2.** Mineralogical composition of Balya Pb-Zn Mine tailings determined by XRD

Mineral	İdeal Bileşimi
Sfalerit	(Fe,Zn)S
Pirit	FeS <sub>2</sub>
Galen	PbS
Kalkopirit	CuFeS <sub>2</sub>
Arsenopirit	AsFeS
Kuvars	SiO <sub>2</sub>
Kükürt	S
Anglezit	PbSO <sub>4</sub>
Jips	CaSO <sub>4</sub>
Kalsit	CaCO <sub>3</sub>
K-Felspat	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Dolomit	Ca,Mg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

**Çizelge 3.** ASS1 asidik sediman örneğinde XRD ile tespit edilen Fe ve diğer metallerin ikincil türleri

**Table 3.** Fe minerals and secondary minerals of ASS1 acidic sediment sample determined by XRD

Mineral isimleri	İçerikleri
Scorodit	Fe, As minerali
Paulmooreit	Pb, As minerali
Anglezit	Pb minerali
Kintoreit	Fe, Pb minerali
Adamit	Zn, As minerali
Koritnigit	Zn,As minerali
Plumbojarosit	Fe, Pb minerali
Götit	Fe minerali
Jarosit	Fe minerali

## Asidik ve Yüzeysel Su Jeokimyası

Balya Pb-Zn atık alanlarında oluşan asidik maden suları ile Maden deresinden toplanan yüzeysel su örneklerinin analiz sonuçları Çizelge 4 ve 5’de sunulmuştur. Maden atık sahası civarında yağışlar nedeniyle oluşan küçük ve büyük boyutlu sığ asidik sular oldukça düşük pH değerlerine sahiptir. Asidik suların ortalama pH değeri 2.69 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4). Oldukça düşük pH’lı ve yüksek Eh’li bu asidik sular etraftaki kayaları çözerek birçok metali bünyesine katmaktadır. Asidik sularda ölçülen yüksek elektriksel iletkenlik değerleri suların yüksek çözünmüş iyon içeriği ile uyumludur (Çizelge 4). Asidik suların sülfat içeriği 4500 mg/L ile 9750 mg/L arasında değişmektedir. Bununla uyumlu olarak, Mg, ve K değerleri de yüzeysel sularına oranla daha yüksektir (Çizelge 2). Maden atıklarının yakınından geçen Maden Deresi üzerinden alınan yüzeysel su örneklerinin (YS1-YS5) iyon içerikleri asidik su örneklerine oranla oldukça düşüktür. Atıklara olan uzaklık ile bu değerler daha da azalmaktadır. Atıklardan oldukça uzakta, Kocaçaya yakın kontrol amaçlı alınan örneğin (YS6), atıklara yakın kesimden alınan diğer su örneklerine oranla tüm iyon içeriği önemsiz değerler sergilemiştir

(Çizelge 4 ve Şekil 6). Atıklardan uzakta alınan YS6 örneğinin sülfat değeri de diğer örneklere oranla oldukça düşüktür. Bu veriler atıklardan kaynaklanan yüksek iyon içerikli asidik suların derelere taşındığını; ve ana kaynağın atıklar olduğunu göstermektedir. Kuru ve yağış dönemine ait asidik ve yüzeysel su örneklerinin metal içerikleri Çizelge 5’de sunulmuştur. Her iki dönemde de asidik sular, yüksek metal ve Al içerikleri ile yüzeysel sularından kolaylıkla ayrılmaktadır. Zn konsantrasyonu asidik sularda en düşük 68.9 mg/L en yüksek 546.5 mg/L olarak ölçülmüştür. Fe<sub>tot</sub> konsantrasyonu Zn ile uyumlu olarak asidik sularda yüksek ölçülmüştür. Asidik sularda ölçülen Fe<sub>tot</sub>’ın % 90’ını Fe(III)<sub>aq</sub> iyonu oluşturmaktadır (Çizelge 5). Pb ve Cu, Zn’den sonra ölçülen en yüksek metallerdir. Yüzeysel su örneklerine oranla, asidik sular yüksek oranda Cu, As ve Pb içermektedir. Özellikle asidik sularda 3.12 mg/L’ye ulaşan Pb konsantrasyonu pek çok su standartlarına göre oldukça yüksektir (WHO, EPA). Cu konsantrasyonu en yüksek 26.67 mg/L olarak AS2 örneğinde, en düşük 9.8 mg/L olarak AS5 asidik su örneğinde ölçülmüştür. Analizler sonucunda asidik suların As içeriğinde WHO ve EPA standartlarına oranla yüksek tespit edilmiştir (Çizelge 5).

**Çizelge 4.** Balya Pb-Zn atık sahasından toplanan asidik sular (AS) ve yüzeysel sularının (YS) jeokimyası ile toplam S ve Fe oksitleyen mikroorganizma miktarı

**Table 4.** *Aqueous geochemistry and Total S and Fe oxidizing microorganisms of acidic (AS) and surface water (YS) collected from Balya Pb-Zn mine tailings site.*

Asidik Sular	pH	Eh (mV)	EC (µS/cm)	T °C	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	MPN-S (cell/ml)	MPN-Fe (cell/ml)
AS1	2.83	450	19000	22	8690	95.1	45.2	456	5.2	35.2	6	4.4 x 10 <sup>8</sup>	2.8 x 10 <sup>8</sup>
AS2	2.60	550	15200	26	9750	89.2	15.2	231	n.d	56.1	5.1	3.7 x 10 <sup>9</sup>	2.1 x 10 <sup>7</sup>
AS3	2.75	323	12500	25	9636	56	16.1	552	3.4	35.1	13.2	2.7 x 10 <sup>7</sup>	1.7 x 10 <sup>8</sup>
AS4	2.80	230	13200	25	7686	75.2	23.1	123	10.1	30	11.2	2.3x10 <sup>6</sup>	1.5 x 10 <sup>6</sup>
AS5	2.50	320	10890	26	4500	78.1	22.3	168	12.2	45	10	5.1x 10 <sup>7</sup>	1.1x 10 <sup>7</sup>
<b>Yüzeysel Sular</b>													
YS1	3.83	230	230	24	1560	41.2	12.3	596	9.5	11.1	125	1.7 x 10 <sup>8</sup>	1.7 x 10 <sup>4</sup>
YS2	3.6	235	320	24	1035	39.2	13.5	652	9.8	15.6	145	1.0 x 10 <sup>6</sup>	2.7 x 10 <sup>3</sup>
YS3	3.75	94	450	24	1356	52.8	9.5	752	n.d	12.3	56	1.7 x 10 <sup>7</sup>	1.7 x 10 <sup>3</sup>
YS4	4.5	80	321	22	900	41.3	7.1	589	7.1	15.2	126	3 x 10 <sup>6</sup>	1.7 x 10 <sup>2</sup>
YS5	5.5	n.d	458	24	750	63	8.2	663.1	n.d	16.3	132	1.7 x 10 <sup>3</sup>	n.d
YS6*	7.2	132	562	23	36	6.2	5.6	74.1	2.1	9.5	n.d	n.d	n.d

### Kültür Temelli Mikrobiyolojik Çalışmalar

Asidik maden suları içerisinde ototrofik asidofilik sülfür oksitleyen bakteri (aSOB) ve Fe(II) oksitleyen bakteri (aFeOB) miktarları Çizelge 4’de verilmiştir. aSOB için en yüksek değer  $4.4 \times 10^8$  cell/ml, aFeOB için aynı değer  $2.8 \times 10^8$  cell/ml olarak en geniş ve uzun ömürlü asidik gölette ölçülmüştür (AS1) (Şekil 3a). Asidik sular içerisinde asidofilik Fe(III)<sub>aq</sub> indirgeyen bakteri (aFeIB)  $10^3$  cell/ml olarak yalnızca AS1 ve AS2 sularında tespit edilmiş ve diğer mikroorganizmalara oranla oldukça düşük değerlere ulaşmıştır. Atıkların Maden deresine ulaştığı kesimlerden alınan yüzey sularında en yüksek aSOB  $1.7 \times 10^7$  cell/ml olarak, aFeOB ise  $1.7 \times 10^4$  cell/ml olarak YS1 su örneğinde tespit edilmiştir. Asidik sular, yüzey su örneklerine oranla daha yüksek miktarda bakteri içermektedir. Özellikle aFeOB miktarı  $10^4$  oranında daha azdır. Hem asidik hem de yüzey sularında aSOB miktarı oldukça yüksektir.

### 16S rDNA Metodu ile Tür Belirleme Çalışmaları

Asidik sediman ile Maden Deresinden toplanan sediman örnekleri üzerinde biyomoleküler tekniklerle tespit edilen ve yalnızca S ve Fe döngüsünde etkili mikroorganizma türleri Çizelge 6’da verilmiştir. Analiz edilen tüm sediman örneklerinde  $\gamma$ -*Proteobacteria* ve  $\beta$ -*Proteobacteria* grubu ağırlıklı, daha az oranda ise Firmicutes ve  $\delta$ -*Proteobacteria* grubuna ait mikroorganizmalar tespit edilmiştir.

Atıkların içerisinde ve yakınlarında gelişen göletlerden toplanan ASS1, ASS2 ve ASS3 sediman örneklerinde, sülfür ve Fe oksidasyonunda etkili türler tespit edilmiştir. Söz konusu örneklerde, sülfür oksidasyonunda etkili *Acidithiobacillus spp.* cinsine ait 12 farklı tür saptanmıştır (Çizelge 6). Bunlar arasında en önemlileri, AMD oluşumuna neden olduğu bilinen ve bu tür sahalarda yaygın olarak bulunan *Acidithiobacillus ferrooxidans* türüne sırasıyla % 95, 96, 93 oranında benzerlik gösteren *Acidithiobacillus ferrooxidans strain*

**Çizelge 5.** Balya Pb-Zn atık sahasından toplanan asidik su (AS) ve yüzey su (YS) örneklerinin metal içerikleri  
**Table 5.** Metal contents of acidic (AS) and surface water (YS) from Balya Pb-Zn tailings site.

Su Örnekleri	Al (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Fe (II) (µg/L)	Fe(III) (µg/L)	Mn (mg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)	Si (µg/L)	S (mg/L)
AS1	78520	575	2300	192	30.2	13352	742200	90200	652000	150	54.3	2189	546467	22178	1585
AS2	76612	1506	1143	274	103.2	26670	669675	94425	575250	1076	179.3	3129	215489	15929	4250
AS3	33520	5986	2716	187	66	23350	933425	71425	862000	133.7	100	1914	299410	17140	2909
AS4	19963	3264	978	77.7	62	12365	236200	5200	231000	89	78.5	1230	76744	9652	2562
AS5	15230	1230	589	59.1	45.2	9870	523000	71000	452000	96	89	956.5	68900	6530	1500
YS1	152	440	15.4	12.72	n.d	53.6	52700	n.d.	n.d.	62.3	34.44	78	10980	8964	810
YS2	49	176	23.6	15.3	n.d	36.6	3896	n.d.	n.d.	59	32.5	25	13714	6724	545
YS3	130	88.2	n.d	10.56	n.d	52.3	4410	n.d.	n.d.	68.04	15.3	14.6	68824	n.d	674
YS4	122	5.8	n.d	0.3	n.d	7.6	161.7	n.d.	n.d.	10.2	15.2	33	3910	5960	475
YS5	21	18.2	n.d	58.8	n.d	9.9	786	n.d.	n.d.	70.1	14.4	62.1	72300	3562	250
YS6*	12	2.52	<0.3	1.2	n.d	3.3	56.1	n.d.	n.d.	7.2	0.1	7.08	12.24	n.d	17.8



*S1*, *Acidithiobacillus ferrooxidans strain SY3* ve *Acidithiobacillus ferrooxidans strain N16* türleridir. ASS1, ASS2 ve ASS3 örneklerinde tespit edilen diğer önemli asidofilik sülfür oksitleyen tür ise *Acidithiobacillus thiooxidans strain ATCC 19377* ve *Sulfobacillus* cinsine bağlı türlerdir. Asidik sediman örneklerinde Fe oksidasyonunda ve indirgenmesinde etkili türler de tespit edilmiştir. Fe(II) oksitleyici olarak *Acidithiobacillus spp.* cinsine bağlı *A. ferrooxidans* türü ile *Leptothrix spp.* cinsine bağlı *Leptothrix sp.* ve *Leptothrix sp.S1.1* türleri tespit edilmiştir. Fe(III)'ün indirgenmesinden sorumlu üç farklı cinse bağlı toplam 3 farklı bakteri türü tespit edilmiştir. Bunlar *Ferribacterium limneticum*, *Rhodoferax ferrireducens T118* ve *Geobacter sp.* türleridir. Maden deresi üzerinden alınan sediman örneklerinin tür içerikleri asidik sediman örneklerine oldukça benzerdir. Özellikle, atıklara yakın kesimden alınan sediman (MDS1 ve MDS2) örneklerinde bu benzerlik daha belirgindir. MDS1, MDS2 ve MDS3 örneklerinde  $\gamma$ -*Proteobacteria* ve  $\beta$ -*Proteobacteria* filogenetik grubuna yakın benzerlik gösteren sülfür oksitleyici türler tespit edilmiştir. *Acidithiobacillus* cinsine ait sülfür oksitleyicilerin yanı sıra, *Thiobacillus*

cinsine ait *Thiobacillus thiophilus*, *Thiobacillus denitrificans* ATCC 25259 sülfür oksitleyici türler sadece bu sediman örneklerinde tespit edilmiştir. *Acidovorax sp. G8B1*, *Ferrovum myxofaciens strain P3G* ve *Acidithiobacillus ferrooxidans strain S1* dere sedimanlarında tespit edilen Fe(II) oksitleyici bakterilerdir. *Geobacter* MDS1 ve MDS2 örneğinde, *Ferribacterium limneticum*, *Rhodoferax ferrireducens T118* ise MDS3 örneğinde tespit edilen Fe(III) indirgeyici mikroorganizmalardır. Arsenik döngüsünde etkili olduğu bilinen *Comamonadaceae* bakterium PIV81 bakterisi MDS1, MDS2 ve MDS3 örneklerinde saptanmıştır. Maden atıklarından uzakta alınan MDS4 sediman örneğinde Fe ve S oksitleyici mikroorganizmalar oldukça azdır. S oksitleyici olarak yalnızca *Thiobacillus denitrificans* ATCC 25259 ile *Acidithiobacillus thiooxidans strain ABRM 2011* türleri saptanmıştır. Fe indirgeyici olarak ise *Ferribacterium limneticum* ile *Geobacter* cinsine bağlı tek tür belirlenmiştir. Bunun aksine, MDS4 örneğinde yoğun olarak  $\beta$ -*Proteobacteria* grubuna bağlı nitrojen döngüsünde etkili bakteriler tespit edilmiştir. MDS3 örneğinde olduğu gibi selenatın indirgenmesinde etkili *Dechloromonas sp. HZ* türü bu örnekte de saptanmıştır.

**Çizelge 6.** 16S rDNA Dizi Analizi ile atık sahasında tespit edilen mikroorganizma türleri ve metabolik fonksiyonları.

**Table 6.** Microorganisms determined by 16S rDNA gene sequencing in the mine tailings site and their metabolic functions.

Örnek	Organizma Adı	Benzerlik %	Filogenetik Grup	Metabolik Fonksiyon
	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans strain S1</i>	95	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans strain SY3</i>	96	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans strain N16</i>	93	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
	<i>Acidithiobacillus sp Peru 6</i>	92	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
	<i>Acidithiobacillus sp OP 14</i>	92	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
	<i>Acidithiobacillus albertensis strain DSM 14366</i>	93	$\gamma$ -Proteobacteria	
	<i>Acidithiobacillus thiooxidans strain ATCC 19377</i>	95	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
	<i>Acidithiobacillus sp. lsh-01</i>	92	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	94	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
	<i>Uncultured bacterium clone FZ-7</i>	95	$\gamma$ -Proteobacteria	
	<i>Uncultured Acidithiobacillus sp. clone XJ79</i>	96		Fe ve S oksidasyonu
	<i>Acidithiobacillus sp. Mc9KA-2-1-4</i>	95	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
ASS1	<i>Uncultured Acidithiobacillus sp. clone AS3_bact_h10</i>	95	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe ve S oksidasyonu
ASS2	<i>Uncultured bacterium clone SX2-15</i>	96	$\gamma$ -Proteobacteria	
ASS3	<i>Acidithiobacillus thiooxidans strain ATCC 19377</i>	93	$\gamma$ -Proteobacteria	S oksidasyonu
	<i>Uncultured bacterium clone Z132</i>	93		
	<i>Uncultured bacterium clone Y1-25</i>	91		
	<i>Uncultured bacterium clone M1-24</i>	91		
	<i>Uncultured Sulfolobacillus sp. clone K6-C156</i>	92	Firmicutes	Fe ve S oksidasyonu/ Fe indirgenmesi
	<i>Sulfolobacillus sp. 4G</i>	94	Firmicutes	Fe ve S oksidasyonu/ Fe indirgenmesi
	<i>Uncultured bacteria clone F2-49</i>	95		
	<i>Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone OZ-WIN39</i>	92		
	<i>Ferribacterium limneticum</i>	93	$\beta$ -Proteobacteria	Fe(III) indirgenmesi
	<i>Rhodoferax ferrireducens T118</i>	93	$\beta$ -Proteobacteria	Fe(III) indirgenmesi
	<i>Geobacter</i>	95	$\beta$ -Proteobacteria	Fe(III) indirgenmesi
	<i>Leptothrix sp</i>	93	$\beta$ -Proteobacteria	Mn ve Fe oksidasyonu
	<i>Leptothrix sp. S1.1</i>	87	$\beta$ -Proteobacteria	Mn ve Fe oksidasyonu



**Çizelge 6.** Atık sahasında tespit edilen mikroorganizma türleri ve metabolik fonksiyonları (Devamı)**Table 6.** *Microorganisms determined in the mine tailings site and their metabolic functions (Continued)*

Örnek	Organizma Adı	Benzerlik %	Filogenetik Grup	Metabolik Fonksiyon
	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> strain ABRM2011	91	$\gamma$ -Proteobacteria	S oksidasyonu
	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> strain S1	97	$\gamma$ -Proteobacteria	S ve Fe oksidasyonu
	<i>Thiovirga sulfuroxydans</i>	97	$\gamma$ -Proteobacteria	S oksidasyonu
	<i>Thiobacillus thiophilus</i>	94	$\beta$ -Proteobacteria	S oksidasyonu
	<i>Thiobacillus denitrificans</i> ATCC 25259	97	$\beta$ -Proteobacteria	S ve Fe oksidasyonu
	<i>Thiobacillus denitrificans</i> ATCC 25259	97	$\beta$ -Proteobacteria	S ve Fe oksidasyonu
	Uncultured <i>Thiobacillus</i> sp. clone ENR10	93	$\beta$ -Proteobacteria	S oksidasyonu
	<i>Geobacter</i>	91	$\delta$ -Proteobacteria	Fe indirgenmesi
<b>MDS1</b>	Uncultured <i>Geobacteraceae</i> bacterium	91	$\delta$ -Proteobacteria	Fe indirgenmesi
<b>MDS2</b>	<i>Ferroplasma myxofaciens</i> strain P3G	95	$\delta$ -Proteobacteria	Fe oksidasyonu
<b>MDS3</b>	<i>Comamonadaceae</i> bacterium PIV81	90	$\beta$ -Proteobacteria	Arsenat İndirgenmesi
	<i>Chromatiales</i> bacterium	94	$\beta$ -Proteobacteria	Anaerobik kükürt oksidasyonu
	<i>Acidovorax</i> sp. G8B1	97	$\gamma$ -Proteobacteria	Fe Oksidasyonu
	Uncultured <i>Sulfobacillus</i> sp. clone SNI_2009_10D	91	<i>Firmicutes</i>	Fe ve S oksidasyonu/ Fe indirgenmesi
	Uncultured <i>Sulfobacillus</i> sp. clone K6-C156	91	<i>Firmicutes</i>	Fe ve S oksidasyonu/ Fe indirgenmesi
	<i>Halothiobacillus</i> sp. NP37	95	$\gamma$ -Proteobacteria	S Oksidasyonu
	<i>Dechloromonas</i> sp. HZ	93	$\beta$ -Proteobacteria	Selenat indirgenmesi
	<i>Acidovorax avenae</i>	100	$\beta$ -Proteobacteria	?
<b>MDS4</b>	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> strain ABRM2011	91	$\gamma$ -Proteobacteria	S oksidasyonu
	Uncultured <i>Geobacteraceae</i> bacterium	91	$\delta$ -Proteobacteria	Fe indirgenmesi
	<i>Ferribacterium limneticum</i>	94	$\beta$ -Proteobacteria	Fe indirgenmesi
	<i>Thiobacillus denitrificans</i> ATCC 25259	97	$\beta$ -Proteobacteria	S oksidasyonu

**TARTIŞMA****Balya Pb-Zn Maden Atık Sahasının Mikrobiyal Topluluğu**

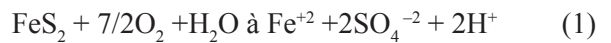
Yapılan bu çalışmayla, Balya Pb Zn Maden atık sahasının mikrobiyal topluluğu, kültürleme ve moleküler ekoloji teknikleri birlikte kullanılarak,

ilk defa ortaya konmuştur. Çalışmayla elde edilen veriler, Balya maden atık sahasının Fe ve S oksidasyonu ile devamlılığını sağlayan mikroorganizmalar tarafından oldukça zengin olduğunu göstermiştir. Bu mikroorganizmalar, kendileri için gerekli tüm besiyerleri (fosfat vb. iyonlar) ve diğer gerekli malzemeler (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>)

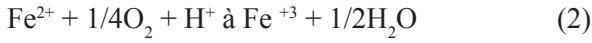
ile enerjiyi havadan, metal sülfür minerallerinden ve asidik drenaj suyundan elde etmektedirler. En yoğun bakteri içeren ortamlar atıklar ile atıkların üzerinde gelişen asidik özellikli su birikintileridir. Yapılan moleküler ve mikrobiyolojik çalışma atık sahasında farklı türlerin varlığını ortaya koysa da; yoğun olarak aynı grup ve türde mikroorganizmanın dominant olduğunu göstermiştir. Dominant olan mikroorganizmalar kendileri için gerekli enerjiyi CO<sub>2</sub>'i ve metal sülfür minerallerini kullanarak elde eden kemolitotrofik gruba aittir. Organik karbonu kullanan heterotrofik mikroorganizma sayısı özellikle asidik sediman örneklerinde oldukça azdır ve bu sonuç asidik sedimanların düşük organik karbon içeriği ile uyumludur (Çizelge 1). Heterotrofik mikroorganizmalar en fazla organik karbon içeriği yüksek olan MDS4 örneğinde saptanmıştır. Saptanan heterotrofik mikroorganizmaların çoğu azot döngüsünü regüle eden türlerdir. Çizelge'6 da sunulan türlerin çoğu Fe(II) ve/veya ortamda bulunan sülfür bileşiklerini oksitleyerek AMD'ı oluşumuna katkıda bulunan prokaryotlardır (Bond vd.,2000; Edwards vd.,2001; Brett ve Banfield, 2003; Druschel vd.,2004). Atıklar ile atıkların ulaştığı Maden Deresinin farklı kesimlerinden alınan örneklerle, ortamdaki mikrobiyal topluluğun yapısında ki değişimler ortaya konmuştur. Mikrobiyal topluluğun yapısı ve türlerin aktivite oranları jeokimyasal faktörlerle sıkı ilişki içindedir. Örneğin, sülfürce zengin, organik karbonca fakir atıklar (AS1-3) Fe ve S oksidasyonunda etkili kemolitotrofik prokaryotların gelişmesine olanak sağlarken; organik karbonca daha zengin ve atıklardan uzaklığı nedeni ile nispeten düşük sülfür bileşikleri içeren dere sedimanları (MDS4) ise S oksidasyonundan çok azot döngüsünde etkili türlerin geliştiği ortamlardır. Bu veriler, sahada değişen jeokimyasal koşullara uyum sağlayan aktif ve dinamik bir mikrobiyal topluluk olduğunu göstermektedir.

## Balya Atık Sahasında Mikrobiyal S ve Fe Döngüsü

Sahada ayrışmaya maruz kalan sülfürce zengin kayaçların madencilik aktiviteleri ve metalurjik işlemler nedeniyle yüzey alanlarının artması, asit oluşumunu engelleyecek doğal tampon etkisi gösteren kireçtaşı/dolomit gibi kayaçların yeterince olmaması nedeniyle Balya'da ki atıklar AMD'ı gelişimine ve çevresel açıdan önemli metallere ( Pb, Zn, Cu, As, Cd, Co) ortama salınımına neden olmaktadır. Atıklarda tespit edilen ana sülfür minerallerinden pirit, galen, sfalerit, ve daha az oranda kalkopirit ile arsenopiritin oksidasyonu Balya atık sahasında asidik ve metalce zengin suların oluşumunu ve bileşimini denetlemektedir. Birçok laboratuvar çalışmasında bu sülfür minerallerinin oksidasyon reaksiyonları araştırılmıştır (Taylor ve Wheeler, 1984b; Gould vd.,1989, 2003; Nordstrom ve Alpers, 1999; Descostes vd., 2004; Brunner vd.,2008; Balcı vd., 2007, 2012). AMD'nın başlamasında, oluşmasında ve devam etmesinde ana rolü oynayan metal sülfür minerali pirit olarak kabul edilmektedir ( Descostes vd., 2001; Rimstidt ve Vanguah, 2003; Balcı vd., 2007 ). Pirit aşağıda detayları verilen oksidasyon reaksiyonlarına maruz kalarak, ayrışmaya başlar. Reaksiyon 1'de pirit moleküler O<sub>2</sub> ve suyla bir araya gelerek ayrışır ve serbest kalan kükürt oksitlenerek sülfat oluştururken, Fe (II)<sub>aq</sub> ve H<sup>+</sup> ortama katılır (Rimstidt ve Vanguah, 2003; Brunner vd.,2008).



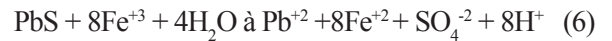
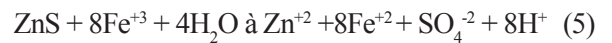
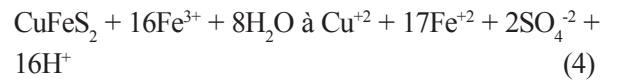
Bu reaksiyonu takiben serbest kalan Fe(II)<sub>aq</sub> reaksiyon 2'de gösterildiği şekilde oksitlenerek Fe(III)<sub>aq</sub> iyonunu meydana getirir. Oluşan Fe(III)<sub>aq</sub> iyonu ise reaksiyon 3'de gösterildiği üzere piriti hızla oksitleyerek, Reaksiyon 1'e oranla daha da fazla asit üretimine ve Fe(II)<sub>aq</sub> salınımına neden olur.



Yapılan laboratuvar ve arazi temelli çalışmalarla (Schippers vd., 1996; Moses ve Nordstrom, 1987; Rimstidt ve Vanguah, 2003; Balcı vd., 2007) AMD gibi düşük pH koşullarında (<3) piritin biyolojik olarak kimyasal reaksiyonlara oranla çok daha hızlı oksitlendiği ortaya konmuştur. Yüzeysel ve düşük pH koşullarında pirit oksidasyonunda etkili mikrobiyal türler çoğunlukla *Acidithiobacillus spp.* grubuna ait türlerdir. Bu gruptan, Fe(II) ve S oksitleme kapasitesine sahip *A. ferrooxidans* türü birçok değişik çalışmaya konu olmuş ve kimyasal reaksiyona oranla piriti reaksiyon(1)de gösterildiği gibi hızla oksitlediği belirlenmiştir (Nordstrom ve Southam, 1997). Balya atık sahasında yapılan moleküler biyoloji çalışmaları ile özellikle asidik sediman (ASS1-ASS3) ve asidik su örneklerinde *Acidithiobacillus spp.* grubuna ait birçok değişik tür tespit edilmiştir (Çizelge 6). Elde edilen bu veriler, Balya atık sahasında reaksiyon 1'de gösterilen mikrobiyal pirit oksidasyonunun önemli olduğunu göstermektedir. Piritin oksidasyonu sırasında açığa çıkan Fe(II) iyonu Fe oksitleyen bakteriler tarafından reaksiyon 2 de gösterildiği gibi oksitlenerek Fe(III) oluşumuna neden olmaktadır. Özellikle pH<3 koşullarında kimyasal olarak Fe(II)'nin Fe(III)'e oksitlenme kinetiğinin çok yavaş olması nedeni ile, asidik koşullarda Fe(II)'nin Fe(III)'e oksitlenmesi mikroorganizmalar tarafından denetlenmektedir (Balcı vd.,2007; Druschel vd.,2004). Asidik su örneklerinde Fe(II)<sub>aq</sub>'ye oranla ölçülen yüksek Fe(III)<sub>aq</sub> konsantrasyonu ve Balya atık sahasında Fe(II)<sub>aq</sub>'yi oksitleyen türlerin varlığı sahada aktif mikrobiyal Fe oksidasyonunu göstermektedir. Balya Atık sahasında Fe(II) oksitleyen mikroorganizmaların varlığı, Fe(III)<sub>aq</sub> iyonunun sürekli ortama salındığını, ve dolayısıyla reaksiyon

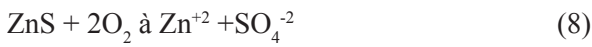
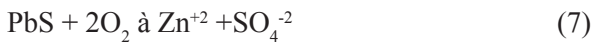
3'ün de piritin oksidasyonunda önemli bir reaksiyon mekanizması olduğunu önermektedir. Elde edilen bu sonuçlar daha önceki çalışmalarla da uyumludur ve Balya atık sahasında tespit edilen *Acidithiobacillus spp* grubuna ait türlerin piritin oksidasyonunu kontrol eden dominant türler olduğunu göstermektedir.

Mikrobiyal Fe(II) oksidasyonu (reaksiyon 2) ile ortama salınan Fe(III) iyonu O<sub>2</sub>'e oranla kalkopirit, sfalerit, ve galen için daha etkili oksitleyicidir (Rimstidt vd., 1994; Plumlee, 1999). Atık sahasında tespit edilen kalkopirit, sfalerit ve galen Fe(III) iyonu tarafından oksitlenerek asit üretimi ile ortama önemli oranda Cu, Zn, ve Pb ve daha az oranda As, Co, Cd elementlerinin salınımına neden olmaktadır. Asidik sularda ölçülen yüksek Zn, Pb, Cu, ile daha düşük değerde ölçülen As, Co, Cd bunu doğrulamaktadır (Çizelge 5). As'in birincil kaynağı arsenopirit olmasına karşın söz konusu bu sülfür mineralleri de ortama As salınımına neden olmaktadır. Sülfürce zengin kayaçlar içerisinde ki sfalerit Cd ve Co'nın ana kaynağıdır.



Fe(III) iyonunun yanı sıra sahada tespit edilen *Acidithiobacillus spp* grubuna ait türler de galen, sfalerit ve kalkopirit ile arsenopiriti oksitleme kapasitesine sahiptir ve yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarında *Acidithiobacillus spp* grubuna ait türlerin bu sülfür minerallerini oksitlemede oldukça başarılı olduğu ortaya konmuştur (Schippers vd., 1996; Schippers vd., 2000; Gleisner vd., 2006; Balcı vd., 2012). Balya atık sahasında tespit edilen *Acidithiobacillus thiooxidans* ve *Acidithiobacillus ferrooxidans* türleri birçok çalışmaya konu olmuştur (Suzuki

vd., 1994; Silva, 2004; Schippers vd.,2004, 2005; Brunner vd., 2008; Balcı vd.,2012). Söz konusu bu türler moleküler O<sub>2</sub>'i kullanarak reaksiyon 7 ve 8'de gösterildiği gibi sırasıyla galen ve sfaleriti oksitleyebilmektedir (Sand vd., 2001). Reaksiyon 7 ve 8 oksidasyon sırasında elektron alış verişi sonucu meydana gelen kütle dengesini ifade etmekte, oluşan ara sülfür türlerini (örn., S<sup>0</sup>, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) göstermemektedir.



Bu oksidasyon işlemlerinde mikroorganizmanın asıl görevi galen ve sfaleritin yüzeyinde oluşan ve oksidan ile mineral arasında bariyer görevi gören inert kükürtü reaksiyon 9'da verilen şekilde oksitlemektir (Balcı vd.,2012; Fowler ve Crundwell, 1998; Sasaki vd., 1995).



Kimyasal olarak oksitlenmesi oldukça yavaş olan kükürt mikroorganizma tarafından kolaylıkla oksitlenerek, ortama daha fazla sülfat ve metal (Pb, Zn) salınımına neden olmaktadır (reaksiyon 9). Arazi çalışmaları sırasında atık yüzeylerinde ve Maden Deresi üzerinde tesbit edilen kükürt oluşumları ile yine MDS1-MDS3 sediman örnekleri üzerinde yalnızca indirgenmiş sülfür türlerini oksitleme kapasitesine sahip türlerin (örn., *Thiovirga sulfuroxydans*) tespiti sahada metal sülfür minerallerinin oksidasyonu sonucunda ortaya salınan indirgenmiş sülfür türlerinin mikrobiyal olarak oksitlendiğini göstermektedir.

Reaksiyon (7), (8) ve (9) sonucunda pirit oksidasyonuna oranla önemsiz asit salınımı meydana gelmekte, ortama yalnızca metal salınmaktadır. Bu nedenle, Balya atık sahasında pirit oksidasyonu (reaksiyon (1), (3) asit oluşumunun asıl kaynağı olarak görülmektedir.

### Balya Atık Sahasında Fe Döngüsü ve Metallerin Dağılımına Etkisi

Fe-oksitler düşük pH ve okside ortamlarda yaygındırlar. Pirit ve Fe içeren sülfür minerallerinin oksidasyonu sonucu ortama salınan Fe(II)'i reaksiyon (2)'de gösterildiği şekilde oksitlenerek Fe(III) iyonunu oluşturmaktadır. Asit koşullarda (pH <3) Fe oksi-hidroksitlerin oluşumu reaksiyon (2) ile sınırlıdır (Moses ve Nordstrom, 1987; Schippers vd., 2000). Asidik sediman örneklerinde tespit edilen Fe oksitleyen bakteri türleri, reaksiyon 2'nin gerçekleşmesinde mikroorganizmaların etkili olduğunu önermektedir (Çizelge 6). Fe(II)'yi oksitleyerek Fe oksi-hidroksitlerin oluşumuna neden olan bu mikroorganizmalar, Balya atık sahasında metallerin sedimanlarda depolanmasını kontrol etmektedirler. Asidik su sedimanlarında yapılan XRD çalışmalarında, jarosit, plumbojarosit ve götit gibi Fe oksit mineralleri tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, aynı örnekte Fe'li ikincil mineral oluşumları da saptanmıştır (Çizelge 3). Bunlara ek olarak Fe oksitlerce zengin sediman örneklerinin metal içeriklerinin, özellikle As ve Cu, oldukça yüksek olması atıklardan salınan metallerin Fe-oksihidroksitlerde tutunduğunu göstermektedir (Çizelge 1). Fe'ce zengin çökellerde baz metal zenginleşmesi Cu, Zn, As ve Pb gibi metallerin oksit yüzeylerine olan tutunma isteğiyle uyumludur (Dzombak ve Morel,1990; Bigham ve Nordstrom, 2000). Asidik koşullarda (pH <3) baz metallerin Fe oksihidroksitlerin yüzeyine etkili bir şekilde tutunması farklı AMD oluşumlarında da saptanmıştır (Schemel vd., 2000). Balya Atık sahasında Çinko ve bakırla 'la karşılaştırıldığında kurşunun suya oranla sedimanlarda zenginleşmesini denetleyen diğer önemli bir faktör anglezit oluşumudur (Çizelge 1 ve 5). Düşük çözünürlüklü anglezit Pb'nun taşınmasını engelleyerek sedimanda birikmesine neden olmaktadır. Asidik sedimalarda tespit edilen anglezit oluşumu bununla uyumludur (Çizelge 2).

Balya Atık sahasında metallerin sedimanlarda depolanmasını kontrol eden diğer önemli bir faktör ise mikrobiyal Fe(III) indirgenmesidir. Atıkların Maden deresine ulaştığı kesimlerde (MDS1-3) *Rhodoferrax ferrireducens T118*, *Ferribacterium limneticum* ve *Geobacter* gibi anaerobik fakültatif Fe(III)<sub>aq</sub> indirgeyen mikroorganizmaların tespit edilmesi, Fe oksidasyonunun yanı sıra Fe(III)<sub>aq</sub> indirgenmesinin de sahada aktif olduğunu ortaya koymuştur. Fe oksihidroksitlerin çözünmesini sağlayan bu bakteriler çözünme işlemleri sırasında Fe oksihidroksitlere tutunan metallerin tekrar serbest kalmasına neden olmaktadır. Balya atık sahasında Fe oksidasyonu ve indirgenmesi şeklinde tespit edilen mikrobiyal Fe döngüsü atıklardan metallerin çözünmesinde (reaksiyon 1,3,4,5,6) taşınmasında ve depolanmasında etkili biyojeokimyasal reaksiyonlardır.

## SONUÇLAR

Balya maden atıklarının çevresinde oluşan asidik suların metal içerikleri ile atıkların metal içerikleri arasındaki benzerlik, metal kaynağı olarak atıkları göstermektedir. Özellikle atıkların içerdikleri cevher mineralleri bu metallerin ana kaynağıdır. Atıklarda ve atıkların çevresinde oluşan asidik su, sediman ile atıkların Maden Deresine ulaştığı kesimlerde moleküler ekoloji teknikleri kullanılarak yapılan çalışmayla sahada kemoototrofik temelli bir mikrobiyal topluluğun geliştiği ortaya konmuştur. Ağırlıklı olarak aSOB ve aFeOB mikroorganizmalardan oluşan bu topluluk Balya Pb-Zn maden atıklarında ki sülfürlü ve Fe'li cevher minerallerini reaksiyon 1-9'da gösterildiği gibi ayrıştırarak ortama asit ve metal salınımına neden olmaktadır. Atık sahasında piritik kükürtün sülfata oksitlenmesinde kemolitoototrofik bakteri türlerinden hem *Acidithiobacillus spp.* hem de *Thiobacillus spp.*

sülfür oksitleyen bakteri türleri rol almaktadır. Atmosferik CO<sub>2</sub>'i karbon kaynağı piriti ise enerji kaynağı olarak kullanan bu mikroorganizmalar piritik kükürt ve Fe(II)'yi oksitleyerek piritin çözünmesine neden olmaktadır. Sahada tespit edilen aFeOB'lerin sahada tespit edilen Pb, As, Cu ve Fe içeren ikincil minerallerin oluşumunda ve dolayısıyla söz konusu bu metallerin taşınımında etkili oldukları ortaya konmuştur.

## KATKI BELİRTME

Bu Çalışma, TÜBİTAK-ÇAYDAG tarafından desteklenen 108Y177 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunarlar.

## EXTENDED SUMMARY

*Oxidation of sulfide minerals such as pyrite at Earth's surface condition result in formation of highly acidic, sulfate rich water known as acidic drainage. Acid drainage formation is accelerated with the extraction and processing of sulfide ore deposits. During the mining activities large volume of sulfide bearing materials with large surface area are produced and exposed to atmospheric conditions. Oxidation of these sulfide rich wastes generate solutions rich in toxic-heavy metals known as acid mine drainage (AMD). AMD can be generated by chemical and biological oxidation of pyrite, and other metal sulfides in mine waste heaps or in tailings from sulfidic ore processing. Recent studies have shown that a diverse microbial population is present in AMD sites that were previously thought voided of life due to limited nutrients and extreme living conditions. A chemo-autotrophically-based biosphere formed by archaea and bacteria largely responsible for the oxidation of sulfide minerals have been identified in these extreme environments. Microbial activity*



can accelerate dissolution of pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, galena and sphalerite causing the release of toxic metals such as As, Pb, Cu and Zn into the environment (Blowes *et al.*, 1998; Benner *et al.*, 2000). Particularly the numerous species of genera *Thiobacillus*, *Acidithiobacillus*, and *Leptospirillum* responsible for the oxidation of sulfide and iron minerals have been determined in AMD sites (Nordstrom ve Southam, 1997; Brett ve Banfield, 2003). Therefore, in order to develop an efficient remediation strategies to prevent AMD formation, it is crucial to identify microbial community and their role during oxidation of sulfide minerals.

Balıkesir –Balya Pb-Zn deposits was mined between 1880 and 1940. After the long inactive period the recent mining operations is underway in the field. Balya Pb-Zn Mine tailings site, the oldest and largest waste site of Turkey, contain approximately 1.5 million ton waste rocks such as flotation tailings, slag from the smelter operation and insignificant amount of jig wastes. These WR are randomly deposited along the Maden Creek and left to atmospheric conditions without any prevention (Fig.1). In this study, biogeochemical characteristics of Balıkesir-Balya Pb-Zn mine tailing site and its influences on generation of AMD was investigated by geochemical, molecular and microbiological approaches. Water, sediment and mine tailing samples were collected and physicochemical characteristics (e.g. pH, Eh and temperature) of water samples were determined *in situ* by using WTW probe.

The oxidation of sulfide rich rocks and wastes, mostly left over from Balya Pb-Zn mining activities, is generating acidic water with low pH (2.7), and high metals containing up to 1.88 mg/L Pb, 24 mg/L Zn, 2.5 mg/L As ve 17 mg/L Cu (Tables 4 and 5). An inverse correlation

between pH and metal concentrations is evident in all water samples from acidic and surface water. Among all waters sampled, acidic waters from acidic ponds have the lowest pH (2.7) and highest concentrations of Cu, Pb, Zn, As, which result from oxidation of sulfide-rich waste in the mine tailings. Geochemical and molecular/microbiological analysis on mine waste, sediment and water samples (acidic, surface) show that acidic surface waters generated from sulfide weathering are principal pathways for mobility and redistribution of environmentally important elements into the environments. Total living microorganisms responsible for S and Fe cycles in the tailings site were determined by using the most probably number method (MPN). For this culture based method, the acidic water and sediments from the acidic ponds and surface water collected from Maden Creek were used. The mean acidophilic sulfur oxidizing bacteria (aSOB) and acidophilic iron oxidizing bacteria were determined as  $8.4 \times 10^8$  cell/ml ve  $9.6 \times 10^7$  cell/ml, respectively. The relatively low values for surface water of Maden creek, where mine wastes reach, were determined as  $3.8 \times 10^6$  cell/ml ve  $5.7 \times 10^3$  cell/ml, respectively (Table 4). Total microorganisms were determined by using 16S rDNA molecular methods. Molecular analysis of 16S rDNA gene sequences from acidic sediment and sediment from Maden Creek show the dominance of S and Fe-oxidizing prokaryotes belonging to *Acidithiobacillus* spp. genus in the primary drainage communities. *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidithiobacillus thiooxidans*, the two sulfur-oxidizing species most commonly isolated from acidic drainage waters, are widely considered to be significant contributors to AMD generation. Relatively small populations of *Sulfobacillus* spp. were also determined. Moreover, species belong to *Thiobacillus* spp. and *Thiovirga* spp. genus were only determined on the sediment samples from Maden creek with low acidity relative

*to acidic sediment (Table 6). Molecular biological and geochemical data suggest that S and Fe cycles are regulated by a dynamic microbial population in the tailing site. Microbial pyrite oxidation is the main biogeochemical reactions controlling acid production in the field. Acid leaching and microbial oxidation of galena and sphalerite is the main source of toxic metals released into the environment. Also, identification of Fe oxidizer and reducer along with Fe-oxides (e.g. Jarosite, plumbojarosite and goethite) in the sediments of acidic ponds indicate significance of microbial Fe cycle governing mobilization and redistribution of the metals in the tailings site.*

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Agdemir, N., Kırıkoglu, S., Lehmann, B. ve Tietze, J., 1994. Petrology and alteration geochemistry of the epithermal Balya Pb-Zn-Ag deposits, NW Turkey. *Miner Deposita*, 29,366–371.
- Akyol, Z., 1978. Balya Madeni ve Atıkları Sorunu, Yeryuvarı ve İnsan, Mayıs, 68-69
- Akyol, Z., 1980. Balıkesir, Balya, Arı-Orta Sahası Pb-Zn-Cu Cevher Yatağı Maden Jeolojisi ve Rezerv Çalışmaları, MTA Rap. No 6973.
- Akyol, Z., 1982. Balıkesir-Balya bölgesinin jeolojisi, mineralojisi ve maden potansiyeli. *Earth Sci Rev* 3(1–2),168–169.
- Aygen, T., 1956. Balya bölgesinin jeolojisi .*Bull Miner Res Expl Inst Turkey D/11*.
- Aykol, A., Orgun, Y., Budakoglu, M., Turhan, M., Gultekin, AH., Yavuz, F., Esenli, V., Kumral, M., 2002. Heavy metal pollution in Kocadere River Balya Balıkesir, Turkey (in Turkey (in Turkish). 55th Geological Congress of Turkey, pp 30–31.
- Balci, N., Bullen, T.D., Witte-Lien ,K., Shanks, W.C., Motelica, M. ve Mandernack, K. W.,2006. Iron isotope fractionation during microbially stimulated Fe(II) oxidation and Fe(III) precipitation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(3), 622-639.
- Balci, N., W.C. Shanks, Mayer , B., ve Mandernack, K. W., 2007. Oxygen and Sulfur Isotope Systematics of Sulfate Produced by Bacterial and Abiotic Oxidation of Pyrite *Geochim. Cosmochim. Acta*, 622-639.
- Balci, N. C., 2010. Effect of bacterial activity on trace metals release from oxidation of sphalerite at low pH (<3) and implications for AMD environment. *Earth and Environmental Sciences*. 60,485–493.
- Balci, N., Mayer, B., Shanks, W. C., ve Mandernack, K. W., 2012. Oxygen and sulfur isotope systematics of sulfate produced during abiotic and bacterial oxidation of sphalerite and elemental sulfur. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 77, 335-351.
- Benner, S.G., Gould, W.D.ve Blowes, D.W., 2000. Microbial populations associated with the generation and treatment of acid mine drainage. *Chem. Geol.* 169, 435–448.
- Bigham, J.M. ve Nordstrom, D.K., 2000. Iron and aluminum hydroxysulfates from acid sulfate waters. In: Alpers, C.N., Jambor, J.L., Nordstrom, D.K. (Eds.), *Sulfate Minerals Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance*. *Rev. Mineral. Geochem.* 40, 351–403.
- Blowes, D.W., Jambor, J.L., Hanton-Fong, C.J., Lortie, L.ve Gould, W.D., 1998. Geochemical, mineralogical and microbiological characterization of a sulphide-bearing carbonate-rich gold-mine tailings impoundment, Joutel, Québec. *Appl. Geochem.* 13, 687–705.
- Bond, P., Druschel, G.K., ve Banfield ,J.F., 2000. Comparison of acid mine drainage microbial communities in physically and geochemically distinct ecosystems. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66,4962-4971.
- Brett J. Baker ve Banfield, J. F.,2003. Microbial communities in acid mine drainage. *FEMS Microbiology Ecology*, 44 ( 2) 139-152.
- Brett J. Baker ve Banfield, Jillian F., 2003. Microbial communities in acid mine drainage. *FEMS Microbiology Ecology*, 44( 2). pp. 139-152.
- Brunner, B., Yu, J.-Y., Mielke, R.E., MacAskill, J.A., Madzunkov, S., McGenity, T.J. ve Coleman, M., 2008. Different isotope and chemical patterns of pyrite oxidation related to lag and exponential growth phases of *Acidithiobacillus ferrooxidans* reveal a microbial growth
- Cochran, W.G., 1950. Estimation of bacterial densities by means of the most probable number. *Biometrics* 6, 105–116.
- Descostes M., Mercier F., Beaucaire C., Zuddas P., ve Trocellier P., 2001. Nature and distribution of chemical species on oxidized pyrite surface: Complementarity of XPS and nuclear microprobe analysis. *Nucl. Inst. Methods Phys. Res. B.*,181,603– 609
- Descostes, M., Vitorge, P.ve Beaucaire, C., 2004. Pyrite dissolution in acidic media. *Geochim. Cosmochim. Acta* 68, 4559–4569.
- Druschel, G.K., Baker, B.J., Gihring, T.H. ve Banfield, J.F., 2004. Acid mine drainage biogeochemistry at Iron Mountain, California. *Geochemical Transactions* 5 (2), 13-32.



- Edwards, K.J., Hu, B., Hamers, R.J. ve Banfield, J.F., 2001. A new look at microbial leaching patterns on sulfide minerals. *FEMS Microbial Ecology*, 34(3): 197-206
- Dzombak, D.A. ve Morel, F.M.M., 1990. Surface Complexation Modeling: Hydrous Ferric Oxide. Wiley, New York. 320
- EPA (United States Environmental Protection Agency) <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/>
- Fowler, T.A., ve Crundwell, F.K., 1998. Leaching of zinc sulfide by *Thiobacillus Ferrooxidans*: Experiments with a controlled redox potential indicate no direct bacterial mechanism. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, 3570-3575.
- Garrels R. M. ve Thomson M. E., 1960. Oxidation of pyrite by iron sulfate solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 68, 4559–4569.
- Gaudette H., Flight W., Toner L. ve Folger D., 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Sediment. Petrol.* 44, 249-253
- Gleisner, M., Herbert, R. B., ve Kockum P. C. F., 2006. Pyrite oxidation by *Acidithiobacillus ferrooxidans* at various concentrations of dissolved oxygen. *Chem. Geol.* 225, 16–29.
- Gould, W.D. ve Kapoor, A., 2003. The microbiology of acid mine drainage. In: Jambor, J.L., Blowes, D.W., Ritchie, A.I.M. (Eds.), *Environmental Aspects of Mine Wastes, Short Course Series, vol. 31. Mineralogical Association of Canada, Ottawa*, 203–226.
- Gould, W.D., McCready, R.G.L., Rajan, S., Krouse, H.R., 1989. Stable isotope composition drainage in the western United States. In: Alpers, C.N., Blowes, D.W. (Eds.), *Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation. American Chemical Society*. 450
- Gül, S., 2014. Balıkesir Balya Pb-Zn madeni atık sahasının biyojeokimyası ve asidik maden drenajı oluşumuna etkilerinin araştırılması . İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü., İstanbul, Yüksek Mühendislik Tezi, s.117.
- Hulshof, A.H.M., Blowes, D.W. ve Gould, W.D., 2006. Evaluation of in situ layers for treatment of acid mine drainage: a field comparison. *Water Res.* 40, 1816–1826.
- Johnson, D.B. ve Hallberg, K.B., 2003. The microbiology of acidic mine waters. *Res Microbiol.* 154(7), 466-473.
- Kovenko V (1940) Balya lead mines (Turkey). *Bull Miner Res Expl Inst Turkey* 4/21:587–594
- Moses, C.O. ve Nordstrom K., 1987. Aqueous pyrite oxidation by dissolved oxygen and by ferric iron. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51, 1561-1571.
- MTA, 1984, Balya (Balıkesir) Kurşun-Çinko Cevher Yatağı Ön Fizibilite Çalışması
- Nordstrom, D.K., Alpers, C.N., Ptacek, C.J. ve Blowes, D., 2000. Negative pH and extremely acidic mine waters from Iron Mountain, California. *Environ. Sci. Technol.* 34, 254–258.
- Nordstrom, D.K., ve Alpers, C.N., 1999. Geochemistry of Acid Mine Waters in, *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits*. G.S. Plumlee and M.J. Logsdon, eds. *Rev. Econ. Geol.* 6A, 133-160.
- Nordstrom, D.K. ve Southam, G., 1997. Geomicrobiology of sulfide mineral oxidation. In: Banfield, J.F., Nealson, K.H. (Eds.), *Geomicrobiology: Interactions between microbes and minerals. Rev. Mineral.* 35, 361–390.
- Öngür, T., 2003. Balya Çinko-Kurşun Madeni, Çevre Sorunları ve Toplumsal Yeniden Kalkınma. TMMOB .
- Plumlee, G.S., 1999. The environmental geology of mineral deposits. In: Plumlee, G.S., Logsdon, M.J. (Eds.), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A, Processes, Techniques, and Health Issues. Rev. Econ. Geol.* 6A, 71–116.
- Randall, S.R., Sherman, D.M., Ragnarsdottir, K.V., 2001. Sorption of As(V) on green rust (Fe<sub>4</sub>(II)Fe(II)(OH)<sub>12</sub>SO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O) and lepidocrocite (γ-FeOOH): surface complexes from EXAFS spectroscopy. *Geochim. Cosmochim. Acta* 65 (7), 1015–1023.
- Rimstidt, J. ve Vaughan, D., 2003. Pyrite oxidation: a state-of-the-art assessment of the reaction mechanism. *Geochim. Cosmochim. Acta* 67, 873–880.
- Rimstidt, J.D.; Chermak, J.A., ve Gagen, M.P. 1994. Rate of reaction of Galena, Sphalerite, Chalcopyrite and Arsenopyrite with Fe (III) in Acidic solutions, *Environmental geochemistry of sulfide oxidation: Washington , D.C., American chemical society, symposium series* 550, 2-14.
- Sand W., Gehrke T., Jozsa P. G. ve Schippers A. 2001. (Bio)chemistry of bacterial leaching-direct vs. indirect bioleaching. *Hydrometallurgy* 59, 159–175.
- Sasaki, K., Tsunekawa, M., Ohtsuka, T. ve Konno, H., 1995. Confirmation of a sulfur-rich layer on pyrite after oxidative dissolution by FeIII ions around pH 2. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 3155–3158.
- Schemel, L.E., Kimball, B.A. ve Bencala, K.E., 2000. Colloidal formation and metal transport through two mixing zones affected by acid mine drainage near Silverton, Colorado. *Appl. Geochem.* 15, 1003–1018.
- Schippers, A., Jozsa, P.G. ve Sand, W., 1996. Sulfur chemistry in bacterial leaching of pyrite. *Appl. Environ. Microbiol.* 62, 3424-3431.
- Schippers, A., Rohwerder, T. ve Sand, W., 1999. Intermediary sulfur compounds in pyrite sediments and soils. In: Amend, J.P., Edwards, K.J., Lyons, T.W. (Eds.), *Sulfur Biogeochemistry — Past and Present. : Special Paper*, 379. Geological Society of

- Schippers, A., Jozsa, P.-G., Sand, W., Kovacs, Z.M. ve Jelea, M., 2000. Microbiological pyrite oxidation in a mine tailings heap and its relevance to the death of vegetation. *Geomicrobiol. J.* 17, 151–162.
- Schippers, A., 2004. Biogeochemistry of metal sulfide oxidation in mining environments, sediments and soils. In: Amend, J.P., Edwards, K.J., Lyons, T.W. (Eds.), *Sulfur Biogeochemistry — Past and Present. : Special Paper, 379.* Geological Society of America, Boulder, Colorado, USA, 49–62.
- Schippers, A. ve Bosecker, K., 2005. Bioleaching: analysis of microbial communities dissolving metal sulfides. In: Barredo, J.-L. (Ed.), *Methods in Biotechnology. Microbial Processes and Products, Vol. 18.* Humana Press Inc, Totowa, New York, 412.
- Silverman, M. P. ve Lundgren, D. G., 1959. Studies on the chemoautotrophic iron bacterium *Ferrobacillus ferrooxidans*. I. An improved medium and a harvesting procedure for securing high cell yields. *J. Bacteriol.* 77, 642-647.
- Singer P. C. ve Stumm W., 1970. Acid mine drainage: The rate-limiting step. *Science* 167, 1121–1123.
- Stumm ve Morgan, 1981. *Aquatic chemistry: An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters.* John Wiley and Sons, New York, 780s.
- Suzuki, I. ve Chan, C. W., 1994. Oxidation of inorganic sulfur compounds by Thiobacilli. *Environmental geochemistry of sulfide oxidation: Washington, D.C., American chemical society, symposium series 550, 61-67.*
- Suzuki, I., Chan, C. W., 1994. Oxidation of inorganic sulfur compounds by Thiobacilli. *Environmental geochemistry of sulfide oxidation: Washington, D.C., American chemical society, symposium series 550, 61-67.*
- Sweerts, J. R. A., Beer, D. D., Nielsen, L. P., Verdouw, H., Heuvel, J. C. V. d., Cohen, Y. ve Cappenberg, T. E., 1990. Denitrification by sulphur oxidizing *Beggiatoa* spp. mats on freshwater sediments. *Nature* 344, 762-763.
- Taylor, B., ve Wheeler, M.C., 1984b. Stable isotope geochemistry of acid mine drainage: experimental oxidation of pyrite. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 48 : 2669-2678.
- Taylor, B.E. ve Wheeler, M.C., 1994. Sulfur- and oxygen-isotope geochemistry of acid mine treatment of acid mine drainage: a field comparison. *Water Res.* 40, 1816–182

---

Makale Geliş Tarihi : 04.04.2014  
Kabul Tarihi : 15.07.2014  
*Received* : 04.04.2014  
*Accepted* : 15.07.2014



## **Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri**

*Hydrochemical Changes in Geothermal Systems with Simav(Kütahya) Earthquakes*

**Özkan ATEŞ<sup>1</sup>, Salih Zeki TUTKUN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 17100, Çanakkale  
(e-posta: ozkan.ates@hotmail.com)

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale

### **ÖZ**

Kütahya ve Simav Fayları arasında kalan bölgede birçok jeotermal alan - Eynal, Çitgöl ve Naşa (Simav), Ilıcasu-Abide (Gediz), Muratdağı, Yoncalı, Emet, Yeniceköy, Dereli, Göbel, Ilıca (Harlek), Sefaköy ve Hamamköy (Hisarcık), Şaphane- bulunmaktadır. Türkiye Diri Fay Haritalarında da aktif fay olarak gösterilen Simav Fayı'nın hemen kuzeyinde kalan çalışma alanı, Simav (Kütahya) civarında yer almaktadır. Bölge aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler bakımından da oldukça zengin bir bölgedir. Bu jeotermal alanların çoğu da aktif fay zonları üzerinde yer almaktadır. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Aletsel dönemde, Mayıs 2010-Mayıs 2013 tarihleri arasında bu bölge ve yakın civarında M=3.0 ten büyük yaklaşık 735 adet deprem olmuştur. Ayrıca, Gediz'de 1970 yılında 1 adet M=6.0 dan büyük ve Simav'da 2009, 2011 ve 2012 yıllarında da büyüklüğü 5.0 ve 5.0 ten büyük depremler meydana gelmiştir. Kütahya ili Simav ilçesinde bulunan Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal alanlarındaki sıcak su kaynaklarından 2010 ile 2013 yılları arasında yaklaşık üç yıl süren bir izleme çalışması yapılmıştır. Çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar ile aktif fayların ilişkisi, jeotermal suların hidrojeokimyasal özellikleri ile bölgedeki yoğun deprem aktivitesi ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. İzleme döneminde meydana gelen özellikle M=5.0 ve daha büyük depremlerle birlikte jeotermal kaynakların fiziko-kimyasal özelliklerinde sıcaklık artışı, Cl<sup>-</sup> iyonu değerinde artış ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> iyonu değerinde azalış gibi değişimler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif Fay, Deprem, Jeotermal Enerji, Kütahya, Simav

**ABSTRACT**

*Many geothermal fields in Kütahya including Eynal, Çitgöl ve Naşa (Simav), Ilıcasu-Abide (Gediz), Muratdağı, Yoncalı, Emet, Yeniceköy, Dereli, Göbel, Ilıca (Harlek), Sefaköy ve Hamamköy (Hisarcık) and Şaphane are located between Kütahya and Simav active faults in Western Turkey. Studied area in Simav (Kütahya) is situated in the north of Simav Fault and indicated as an active fault zone in the active fault maps of Turkey. This area is fairly active region in terms of earthquakes occurred in the instrumental period and has many geothermal systems. Most of these geothermal fields are located on active fault zones. Approximately 735 earthquakes ( $M > 3.0$ ) occurred between May 2010 to May 2013, including 1 earthquake with the magnitude of greater than 6.0 at Gediz in 1970 and 4 earthquakes with the magnitude of greater than 5.0 at Simav in 2009, 2011 and 2012. Data from a monitoring study during three years (2010-2013) from thermal springs in Eynal, Çitgöl ve Naşa geothermal fields which located at Simav (Kütahya) were used in this study. This study tried to find out relationship between geothermal springs and active faults, and relationship between hydrochemical features of geothermal waters and high seismic activity. The results of this study indicated that some physic-chemical parameters of geothermal waters change especially increasing temperature, increasing  $Cl^-$  ion value and decreasing  $SO_4^{2-}$  ion value with earthquakes with has 5.0 and greater magnitude value.*

**Key Words:** Active Fault, Earthquake, Geothermal Energy, Kütahya, Simav

**GİRİŞ**

Yeraltısuyu bileşimlerindeki fiziksel ve kimyasal değişimlerin deprem öncesinde oluşan ilk sarsıntılarla başladığı ve enerji boşalımı ile maksimum değerine ulaştığı, sonra zamanla normale döndükleri bilinmektedir (Şimşek ve Yıldırım, 2000). Deprem öncesi, depremle birlikte ve deprem sonrası yeni kaynak oluşumları veya mevcut kaynakların kaybolması da olağandır. Sıcak ve mineralli su kaynaklarındaki değişimlerin bir depremin önceden belirlenebilmesi amacıyla sağlıklı olarak kullanılabilmesi için, bu kaynak bölgelerinin ayrıntılı jeolojik özelliklerinin bilinmesi gereklidir. 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinde de bazı jeotermal kaynak ve kuyu sularında fiziksel ve kimyasal değişimler izlenmiştir (Şimşek ve Yıldırım, 2000). Bu çalışmada, Kütahya ili Simav ilçesi güneyi boyunca uzanan Simav Fayı üzerinde yer alan üç farklı jeotermal alanda bulunan sıcak su sondaj kuyuları belirlenmiştir. Bu kuyuların

başında yerinde ölçümler (pH, iletkenlik-EC ve sıcaklık- $T$   $^{\circ}C$ ) ve alınan sıcak su örneklerinden hidrojeokimyasal analizler ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  ve  $HCO_3^-$ ) yapılarak termal suların hidrojeokimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Örneklem ve yerinde ölçümler düzenli olarak belirli periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, bir depremin önceden tahmin edilmesine de katkı sağlamak amacıyla, sismik açıdan da oldukça aktif olan Simav civarında yer alan sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve bölgenin aktif tektonik yapısı ile olan ilişkisinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

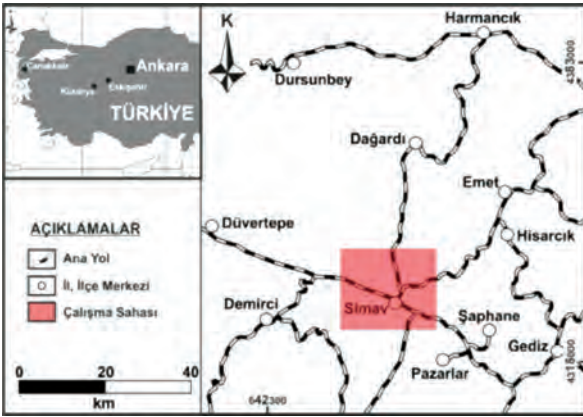
**MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu çalışmada Kütahya ili, Simav ilçesi kuzeyinde yer alan jeotermal alanlarda aktif fay hatları ile ilişkili sıcak su kaynakları belirlenmiştir. Bununla beraber, jeotermal alanların ve yakın civarının jeoloji ve aktif fay haritaları revize edilmiştir. Ayrıca arazide belirlenen üç adet jeotermal

alandaki sıcak su kaynak ve sondajlarında 3 yıl içerisinde 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme gerçekleştirilmiştir. Kuyuların başında pH, iletkenlik (EC) ve sıcaklık ( $T^{\circ}C$ ) ölçümleri yapılmıştır. Sıcak suların  $HCO_3^-$  analizleri laboratuvarda titrasyon yöntemi ile yapılmıştır. Alınan sıcak su örneklerinin kimyasal analizlerinden major anyon, katyon analizleri ise Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında ICP-OES ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) ve iyon kromatografisi ( $SO_4^-$  ve  $Cl^-$ ) cihazlarında yapılmıştır.

## ÇALIŞMA SAHASININ JEOLojİSİ, AKTİF TEKTONİĞİ ve DEPREMSELLİĞİ

Çalışma alanı Orta-Batı Anadolu'da Kütahya ili, Simav ilçesi ve yakın çevresi ile sınırlanan bir alandır (Şekil 1).

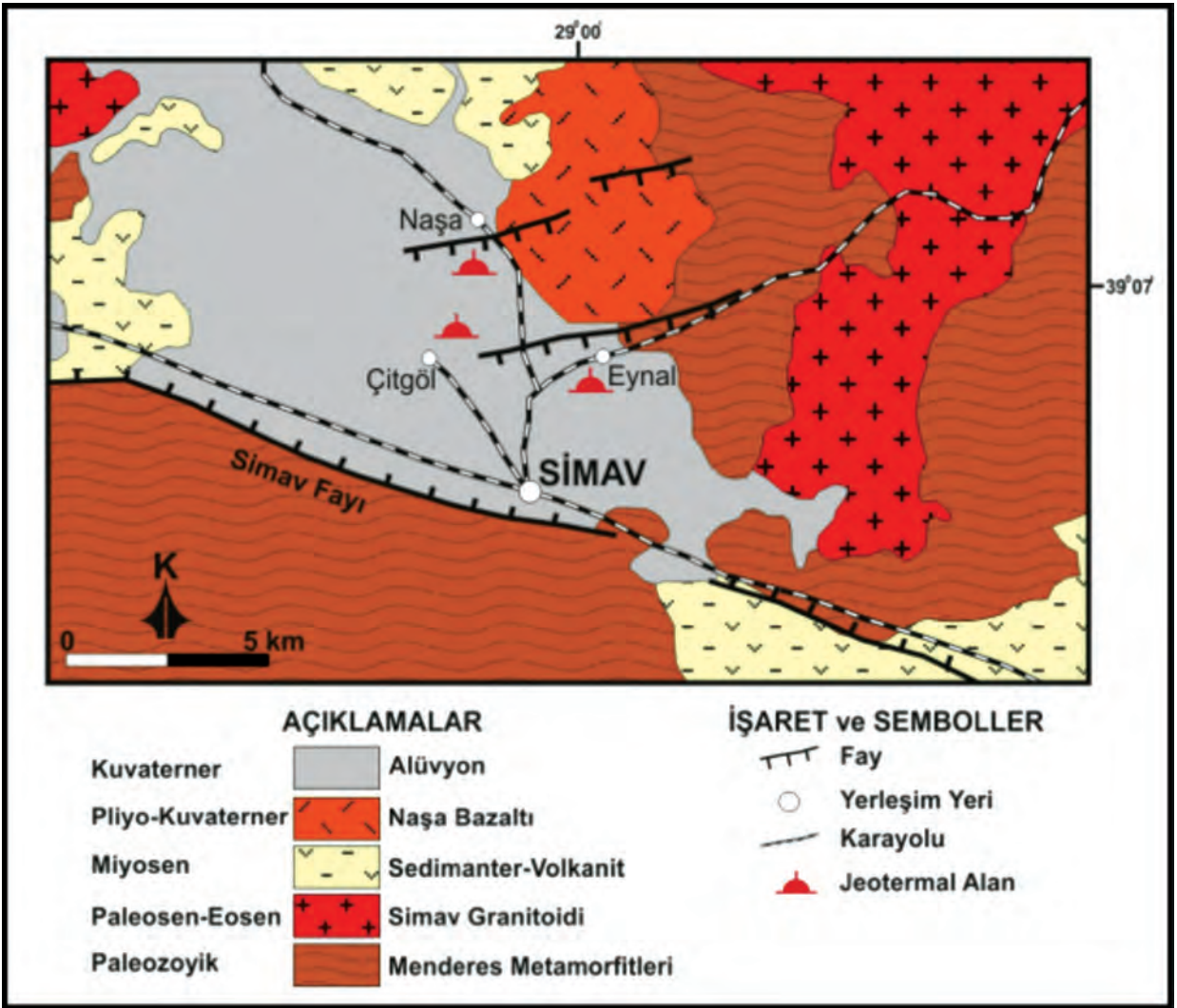


Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası  
*Figure 1. Location map of study area*

Çalışma alanı ve yakın civarı jeolojik olarak Menderes Masifi'nin en kuzey ucunu temsil eder. Bu kesim günümüzde Simav Fayı ile sınırlıdır. Masifin kuzeyindeki alanlarda, Oligo-Miyosen yaşlı plütonik kayalar yer almaktadır. Bu birimleri üzerleyen Miyosen yaşlı volkanik, kırıntılı ve karbonatlı kayalar geniş yayılımlar sunarken, Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal kırıntılı ve karbonatlarla örtülmekte ve çok genç volkanik kayalar tarafından da kesilmektedir (Konak, 2002).

Çalışma alanının temelinde; gnays, migmatit ve şist türü metamorfik kayalardan oluşan Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri vardır (Akdeniz ve Konak, 1979). Bu metamorfik kayaları keser durumda granodiyorit-monzogranitten oluşan Paleosen-Eosen yaşlı Simav granitoidleri yer alır (Akdeniz ve Konak, 1979; Yücel ve diğ., 1983). Bu kayaların üzerinde uyumsuz olarak Orta-Üst Miyosen yaşlı konglomera, kumtaşı, marn, kiltası, killi kireçtaşı ve tuf gibi sedimanter ve volkanik kayalardan oluşan bir istif yer alır (Gün ve diğ., 1979; Akdeniz ve Konak, 1979). Pliyo-Kuvaterner yaşlı Naşa bazaltı ise bölgedeki en genç volkanik etkinliktir (Ercan ve diğ., 1982; Yücel ve diğ., 1983). Tüm bu kaya birimlerini de Kuvaterner yaşlı alüvyon uyumsuz olarak örter (Şekil 2).





Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın civarının jeoloji haritası (Konak, 2002'den değiştirilerek)

*Figure 2. Geological map of study area and surroundings (modified from Konak, 2002)*

Çalışma alanında gözlenen fayların çoğunluğu eğim atımlı normal fay karakterindedir. Bu fayların genel doğrultuları KB-GD, BKB-DGD ve D-B'dir (Yücel ve diğ., 1983). Bu faylardan en önemlisi ve aktif olanı çalışma sahası güneyi boyunca uzanan, BKB-DGD doğrultulu, kuzeye eğimli Simav Fayı'dır (Şekil 3). Simav Fayı, Simav grabenini güneyden sınırlayan yaklaşık 60

km uzunluğunda bir faydır. Fayın başlangıçta sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak çalıştığı bilirse de özellikle Kuvaterner'de, Batı Anadolu'da etkin olan genel KKD-GGB doğrultulu genişleme tektoniği içerisinde bir rejim değişikliğine maruz kalmıştır ve günümüzde normal bir fay olarak çalışmaktadır (Özden ve diğ., 2012).



Şekil 3. Simav fayı (bakış yönü kuzeyden güneye)  
Figure 3. Simav fault (view from north to south)

Çalışma alanı ve yakın çevresinde depremsellik açısından oldukça yoğun bir aktivite söz konusudur. Bölgede aletsel dönemde meydana gelmiş en büyük deprem 28 Mart 1970 yılında meydana gelmiş  $M=7.2$  büyüklüğündeki Gediz depremidir. Bu çalışmanın başladığı tarih olan Mayıs 2010'dan Mayıs 2013 tarihine kadar  $M \geq 3$  büyüklüğünde yaklaşık 735 adet deprem

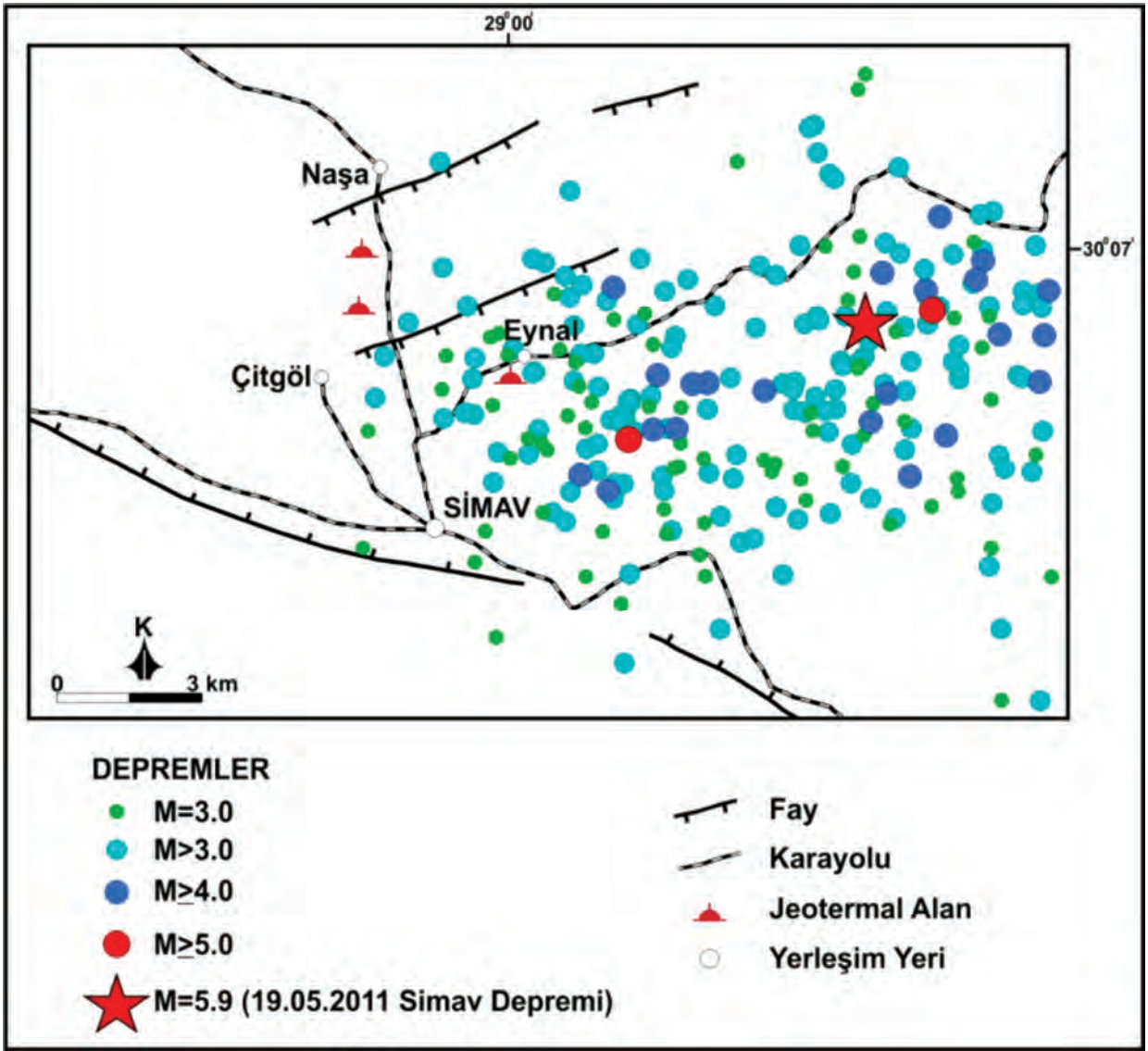
meydana gelmiştir (Şekil 4). Bu depremlerin en büyüğü ve hasar yapıcı olan deprem 19 Mayıs 2011 tarihinde saat 20:15 te meydana gelen Simav merkezli  $M=5.9$  büyüklüğündeki depremdir (Şekil 5). Ayrıca 27 Haziran 2011 tarihinde  $M=5.0$  büyüklüğünde ve 3 Mayıs 2012 tarihinde  $M=5.4$  büyüklüğünde iki adet orta büyüklükte deprem meydana gelmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen  $M \geq 5,0$  depremler (Mayıs 2010-Nisan 2013) ([www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr))

Table 1.  $M \geq 5.0$  earthquakes occurred in study area and surroundings (May 2010-April 2013) ([www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr))

Sayı	Tarih (UTC)	Saat	Enlem	Boylam	Yer	M	Derinlik (km)
1	03.05.2012	15:20	39.1245	29.110	KÜTAHYA - SİMAV	5.4	10.59
2	27.06.2011	21:13	39.1108	29.026	KÜTAHYA - SİMAV	5.0	18.27
3	19.05.2011	20:15	39.1328	29.082	KÜTAHYA - SİMAV	5.9	24.46





Şekil 4. Çalışma alanı ve yakın çevresinin depremselliği (Mayıs 2010-Mayıs 2013) ( $M \geq 3$  ten büyüğü) (www.deprem.gov.tr)

*Figure 4. Seismicity of study area and surroundings (May 2010-April 2013) ( $M \geq 3$  earthquakes) (www.deprem.gov.tr)*



Şekil 5. Simav depremi sonrası meydana gelen yapısal hasarlar (a, b, c) ve yüzey çatlakları (d)  
Figure 5. Structural damages after Simav earthquake (a, b, c) and surface rupture (d)

## ÇALIŞMA ALANINDAKİ JEOTERMAL ALANLARIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada Mayıs 2010-Mayıs 2013 tarihleri arasında Simav ilçesindeki Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal alanlarında belirlenen sıcak su sondaj kuyularından periyodik olarak yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Çizelge 2). Tüm jeotermal alanlarda doğal sıcak su çıkış kaynağı bulunmadığından en yüksek yüzey çıkış

sıcaklığına sahip sondaj kuyuları örnekleme yeri olarak belirlenmiştir. Bu çalışmalar 3 yıl içerisinde 10 örnekleme döneminde, 28 Mayıs 2010, 13 Mayıs 2011, 21 Mayıs 2011, 14 Temmuz 2011, 26 Kasım 2011, 23 Nisan 2012, 25 Temmuz 2012, 25 Ağustos 2012, 03 Kasım 2012 ve 30 Mart 2013 tarihlerinde yapılmıştır. Alınan su örneklerinden laboratuvarında yapılan analizler sonucu sadece majör anyon ve katyon analiz değerleri belirlenerek hidrojeokimyasal değerlendirmeler için sayısal diyagramlara aktarılmıştır.

Çizelge 2. Çalışma alanında incelenen jeotermal alanlara ait lokasyon bilgileri

**Table 2.** Location of geothermal areas in study area

Lokasyon	İlçe	Şehir	Boylam (E)	Enlem (N)	Kot (m)
Çitgöl	Simav	Kütahya	35 S 0669955	4333650	797
Naşa	Simav	Kütahya	35 S 0669446	4334708	793
Eynal	Simav	Kütahya	35 S 0672468	4332920	829

### Eynal Jeotermal Alanı

Eynal jeotermal alanı, Simav (Kütahya) ilçe merkezinin yaklaşık 4 km kuzeyinde yer almaktadır. Eynal jeotermal alanında MTA'nın 2004 yılında açmış olduğu yaklaşık 208 m

derinliğindeki E-9 sondaj kuyusunda yerinde ölçüm ve su örnekleme yapılmıştır (Şekil 6). Bu sondaj kuyusundan 3 yıl içerisinde 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışması yapılarak termal suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 3).



**Şekil 6.** Eynal Jeotermal Alanı (E-9 Kuyusu)

**Figure 6.** Eynal Geothermal Field (E-9 Drilling)



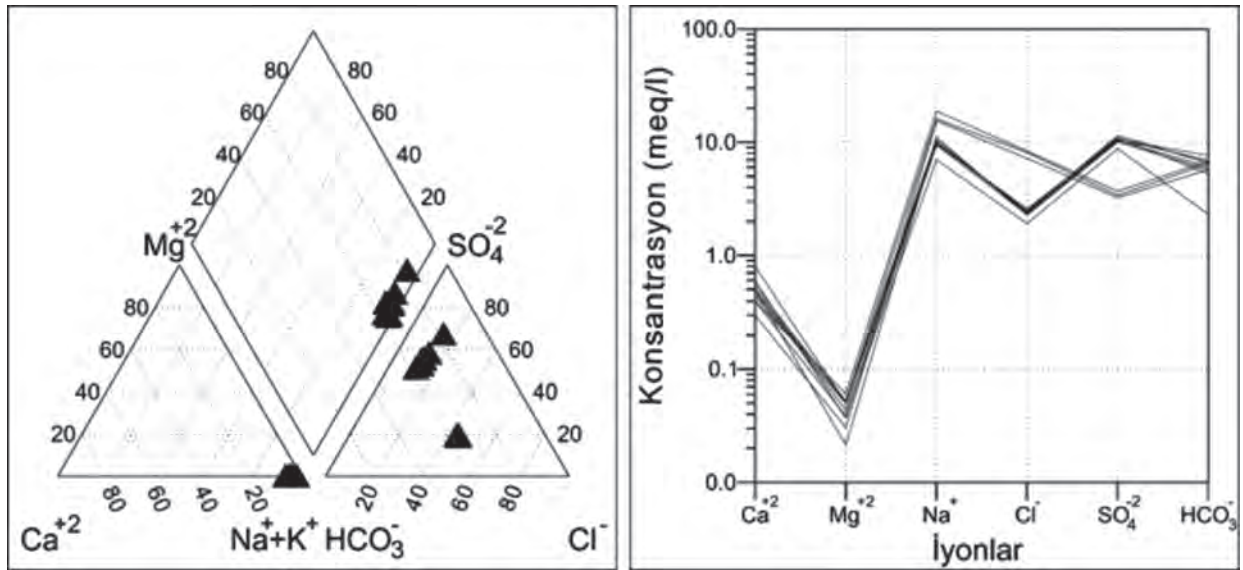
**Çizelge 3.** Eynal Jeotermal Alanındaki sıcak suyun majör iyon derişimleri

**Table 3.** Major ion concentration of thermal water in Eynal Geothermal Field

Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
28.05.2010	86,40	8,25	2230	161,52	38,33	8,62	0,47	68,10	421,60	141,00
13.05.2011	82,10	8,83	2080	356,18	48,98	6,38	0,37	256,70	155,90	350,14
21.05.2011	83,50	8,47	2140	370,32	51,68	11,04	0,62	288,60	163,11	395,28
14.07.2011	90,40	8,11	2160	434,95	66,15	8,78	0,74	296,60	177,98	418,77
26.11.2011	87,00	8,63	2181	229,89	77,69	12,79	0,45	88,51	525,70	321,47
23.04.2012	92,00	8,70	2176	253,32	65,66	10,72	0,26	81,22	485,88	348,01
25.07.2012	83,00	8,59	2532	242,87	76,94	10,99	0,64	84,73	507,85	466,35
25.08.2012	80,80	8,65	2478	222,23	94,35	16,10	0,61	91,10	513,40	421,23
03.11.2012	79,00	8,36	2492	218,01	64,37	10,06	0,53	82,17	496,71	371,19
30.03.2013	87,4	8,57	2126	228,70	142,25	9,75	0,61	86,84	548,57	401,45

Major anyon/kayton analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki termal su

tipleri incelendiğinde, Eynal jeotermal alanındaki E-9 kuyusundaki su tipi Na<sup>+</sup>-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> tipi olarak belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Eynal kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

**Figure 7.** Piper and Schoeller diagrams of Eynal thermal water



### **Naşa Jeotermal Alanı**

Naşa jeotermal alanı, Simav (Kütahya) ilçe merkezinin yaklaşık 6 km kuzeybatısında yer almaktadır. Naşa jeotermal alanında MTA'nın 1986 yılında açmış olduğu yaklaşık 200 m

derinliğindeki N-1 nolu sondaj kuyusundan yerinde ölçüm ve su örnekleme yapılmıştır (Şekil 8). Bu sondaj kuyusundan 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışması yapılarak termal suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4).



**Şekil 8.** Naşa Jeotermal Alanı (N-1 Kuyusu)  
**Figure 8.** Naşa Geothermal Field (N-1 Drilling)

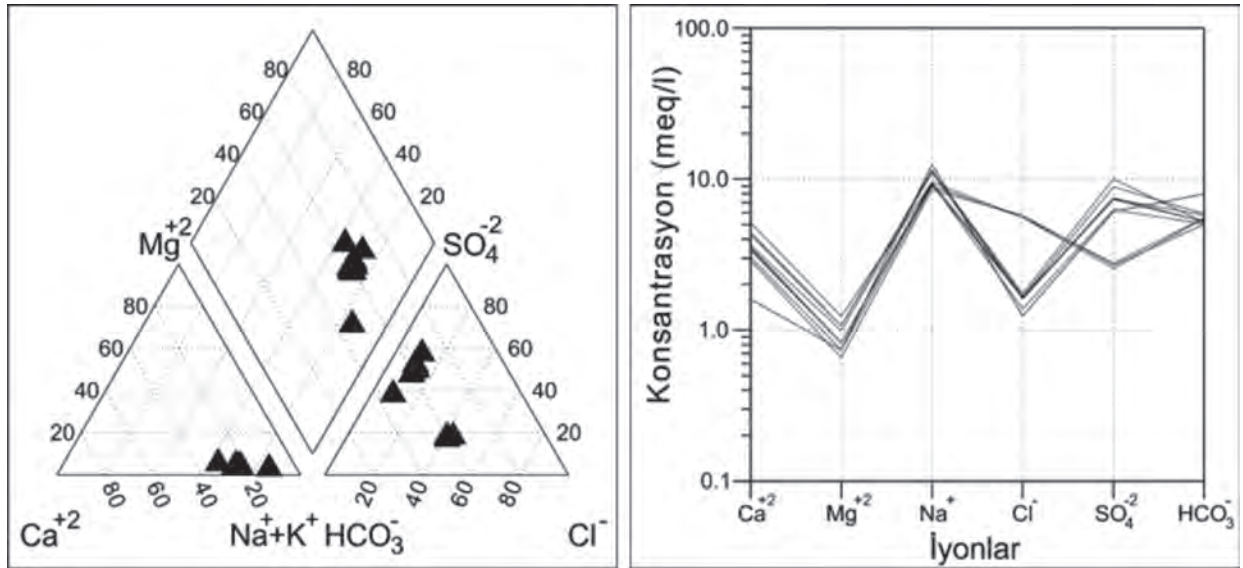
Çizelge 4. Naşa Jeotermal Alanındaki sıcak suların majör iyon derişimleri

Table 4. Major ion concentration of thermal water in Naşa Geothermal Field

Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
28.05.2010	52,00	7,22	1553	288,56	19,60	32,29	9,25	44,50	293,15	488,00
13.05.2011	62,20	7,54	1546	207,79	28,80	61,88	9,81	198,10	123,48	335,50
21.05.2011	62,20	7,44	1573	220,25	29,38	68,17	10,40	198,00	133,27	338,55
14.07.2011	64,80	6,72	1514	196,59	25,23	58,25	8,33	204,40	129,63	307,44
26.11.2011	63,00	6,48	1309	215,61	37,87	71,65	10,24	49,59	301,70	308,97
23.04.2012	60,00	7,18	1762	219,34	47,27	103,30	15,48	59,89	427,27	359,29
25.07.2012	58,90	6,93	1626	255,12	43,81	73,35	12,81	57,11	355,55	353,80
25.08.2012	60,60	7,35	1627	263,28	51,70	86,95	13,21	59,21	352,07	320,19
03.11.2012	57,40	7,21	1630	211,02	37,49	69,85	10,46	58,48	361,09	319,64
30.03.2013	56,00	7,36	1811	262,85	95,70	89,50	13,14	62,60	482,07	315,43

Majör anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki termal su

tipleri incelendiği, Naşa jeotermal alanındaki N-1 kuyusundaki su tipi Ca<sup>+2</sup>-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> tipi olarak belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Naşa kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller Diyagramları

Figure 9. Piper and Schoeller diagrams of Eynal thermal water

### Çitgöl (Simav) Jeotermal Alanı

Çitgöl jeotermal alanı, Simav (Kütahya) ilçe merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında yer almaktadır. Naşa jeotermal alanında MTA'nın 1985 yılında açmış olduğu yaklaşık 100 m

derinliğindeki Ç-1 nolu sondaj kuyusundan yerinde ölçüm ve su örnekleme yapılmıştır (Şekil 10). Bu sondaj kuyusundan 3 yıl içerisinde 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışması yapılarak suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Tablo 5).



Şekil 10. Çitgöl Jeotermal Alanı (Ç-1 Kuyusu)

Figure 10. Çitgöl Geothermal Field (Ç-1 Drilling)

Çizelge 5. Çitgöl Jeotermal Alanındaki sıcak suların majör iyon derişimleri

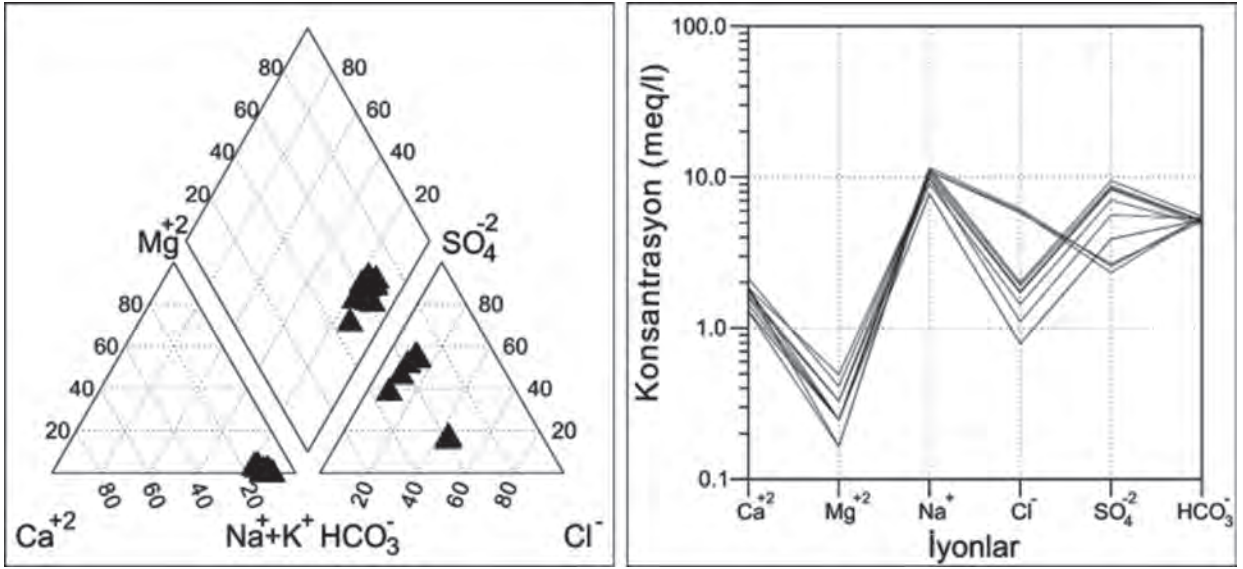
Table 5. Major ion concentration of thermal water in Çitgöl Geothermal Field

Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
28.05.2010	79,30	6,84	1736	178,69	24,13	26,32	3,37	28,55	187,65	318,00
13.05.2011	69,20	7,61	1632	252,05	29,30	29,19	3,30	211,60	112,19	334,89
21.05.2011	60,00	7,59	1655	252,30	29,72	35,51	4,33	206,40	128,75	312,32
14.07.2011	79,90	7,45	1740	265,80	33,09	26,49	2,79	218,40	124,71	330,01
26.11.2011	64,00	7,44	1860	241,90	53,55	43,08	5,11	62,30	406,24	313,24
23.04.2012	61,00	7,45	1526	227,50	31,83	37,48	6,60	39,61	269,19	326,66
25.07.2012	78,70	7,51	1935	266,81	60,61	37,05	3,61	71,10	455,98	336,72
25.08.2012	78,40	7,76	1961	253,45	59,62	37,41	2,78	68,74	419,76	315,26
03.11.2012	60,90	7,35	1744	208,24	35,22	33,66	4,49	51,85	338,58	295,55
30.03.2013	65,20	7,48	1729	227,50	72,70	32,16	3,76	61,27	400,24	302,74



Major anyon/kasyon analiz sonuçları su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki termal su tipleri incelendiğinde, Çitgöl jeotermal alanındaki Ç-1 kuyusundaki su tipi  $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$  tipi olarak belirlenmiştir (Şekil 11).

gelmiştir. Bunların en belirgin olanları her üç kaynaktan da  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{SO}_4^{2-}$  iyon değerlerindeki değişimlerdir (Şekil 12) (Ateş ve diğ., 2011; Ateş ve diğ., 2012). Bu değişimleri genel olarak 5.0 ve daha büyük depremlerde gözlenmiştir. Örnekleme dönemlerinin en önemlileri 19 Mayıs 2011 de meydana gelen  $M=5.9$  büyüklüğündeki depremden



Şekil 11. Çitgöl kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

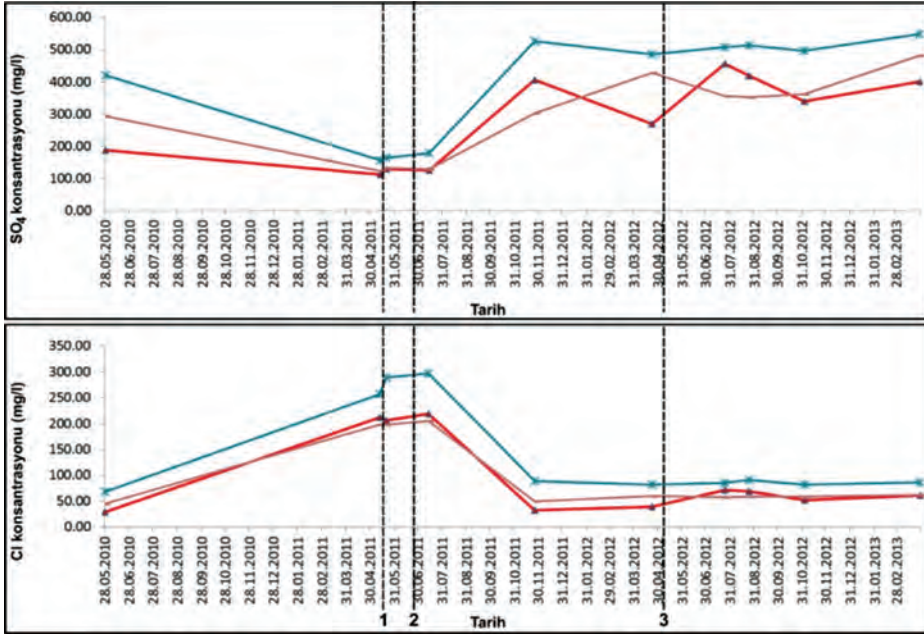
Figure 11. Piper and Schoeller diagrams of Çitgöl thermal water

Derin jeotermal sularda sülfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) miktarı azdır. Yüzeğe yakın yerlerde hidrojen sülfürün yükseltgenmesi ile artış gösterir ( $\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 = 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ). Klorür ( $\text{Cl}^-$ ), jeotermal sistemlerin aranması ve yorumlanmasında çok kullanılan bir iyonudur. Bir kez çözüldükten sonra başka minerallerin bünyesine kolay girmemesi nedeniyle doğrudan jeotermal suyu karakterize eder (Nicholson, 1993). Yüksek derişim doğrudan, derinden ve yüksek debili bir beslenmeyi gösterir. Düşük klorür derişimi yüzey sularının giriş doğrultularını belirtir (Eroğlu ve Aksoy, 2003).

Çalışma alanındaki üç farklı sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri bölgede meydana gelen depremler ile ilişkilendirildiğinde belirgin fiziksel ve kimyasal değişimler meydana

bir hafta önce ve 2 gün sonrası olanlarıdır. 13 Mayıs 2011 tarihindeki örnekleme dönemi sonrası alınan örneklerdeki  $\text{SO}_4^{2-}$  değerindeki belirgin azalış ve  $\text{Cl}^-$  değerindeki belirgin artış trendi bölgedeki depremsellikle ilişkilidir. Benzer artış ve azalış davranışları 27 Haziran 2011 tarihinde meydana gelen  $M=5.0$  büyüklüğündeki ve 3 Mayıs 2012 tarihinde meydana gelen  $M=5.4$  büyüklüğündeki depremler öncesi ve sonrası da elde edilmiştir. Bu tarihten sonra bölgede deprem aktivitesi oldukça azalmış, genel olarak bölgede  $M < 3$  büyüklüğünde depremler meydana gelmektedir. Temmuz 2012 ve bu tarihten sonraki örnekleme dönemlerinde alınan su örneklerinin analiz sonuçları da azalan deprem aktivitesine uygun olarak durağan bir gidiş göstermektedir (Şekil 12).





Şekil 12. SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ve Cl<sup>-</sup> iyon değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler 1. 19 Mayıs 2011 depremi (M=5.9) 2. 27 Haziran 2011 depremi (M=5.0) 3. 03 Mayıs 2012 depremi (M=5.4)

Figure 12. SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ve Cl<sup>-</sup> ion concentration changes connected with seismicity 1. 19 May 2011 earthquake (M=5.9) 2. 27 June 2011 earthquake (M=5.0) 3. 03 May 2012 earthquake (M=5.4)

## TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada Kütahya ili, Simav ilçesi kuzeyinde kalan Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal alanlarında belirlenen sıcak su sondajlarında Mayıs 2010-Mayıs 2013 tarihleri arasında 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Örnekleme dönemleri; 28 Mayıs 2010, 13 Mayıs 2011, 21 Mayıs 2011, 14 Temmuz 2011, 26 Kasım 2011, 23 Nisan 2012, 25 Temmuz 2012, 25 Ağustos 2012, 03 Kasım 2012 ve 30 Mart 2013 tarihlerine karşılık gelmektedir.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde, çalışmanın başladığı tarih olan Mayıs 2010 tarihinden, Mayıs 2013 tarihine kadar  $M \geq 3$  büyüklüğünde yaklaşık 735 adet deprem meydana gelmiştir. 19 Mayıs 2011 tarihinde saat 20:15 te Simav merkezli M=5.9 büyüklüğündeki deprem de dahil 3 adet M=5.0 ve M>5.0 büyüklüğünde 3 adet deprem meydana gelmiştir.

Çalışma alanında meydana gelen depremler ile termal sulardaki fiziksel ve/veya kimyasal değişimler korele edilmiştir. Buna göre üç jeotermal alandaki sıcak sularda da fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana geldiği görülmüştür.

Sıcak suların fiziksel özellikleri kapsamında; en belirgin değişimler sıcaklık değerlerinde gözlenmiştir. Çitgöl jeotermal alanında depremden bir hafta önce suların sıcaklık değeri 10 C° azalmıştır ve depremden 2 gün sonra bu değer 9 C° daha azalmıştır. Naşa jeotermal alanında ise suların sıcaklık değeri 10 C° artmıştır.

Sıcak suların kimyasal özellikleri kapsamında; hemen hemen tüm alanlardaki suların Cl<sup>-</sup> iyon değerleri büyük depremler öncesi yaklaşık beş kat artmıştır. Sıcak sularda Cl<sup>-</sup> iyon değeri ne kadar fazla olursa sular o kadar fazla derin dolaşım olduğu sonucunu vermektedir. Depremin etkisi ile derin kökenli bir beslenmeye ilişkin olduğu düşünülmüştür.

Ayrıca sıcak sulardaki  $SO_4^{-2}$  iyon değerlerinde de büyük depremler öncesi bir azalma meydana gelmiştir.  $SO_4^{-2}$  iyon değeri deprem öncesinde azalma trendine girmiştir. Çünkü sülfür ( $S^{-3}$ ),  $SO_4^{-2}$  iyonuna yükseltgenmeyip, gaz olarak yüzeyle ulaşmıştır. Deprem sonrasında ise HS ve/veya jeotermal akış fazında gözlenen  $H_2S$  gazının normal düzeyine dönmeye başlamasıyla yeniden suda  $SO_4^{-2}$  olarak çözülmeye başladığı düşünülmektedir.

Sıcak sulardaki bu değişimler sadece 19 Mayıs 2011 tarihinde olan  $M=5.9$  büyüklüğündeki depremin etkisiyle gözlenmemiştir. 27 Haziran 2011 tarihinde  $M=5.0$  ve 3 Mayıs 2012 tarihinde  $M=5.4$  büyüklüklerinde depremleri hemen öncesi ve sonrası da benzer değişimler gözlenmiştir.

Elde edilen bu veriler ışığında, jeotermal sistemleri de içeren sismik açıdan aktif bir bölgede, sıcak sular sürekli izlenebilirse, olası bir depremin öncesinde jeotermal sistemdeki sıcak sulardaki fiziko-kimyasal değişimler sayesinde bir depremin önceden tahmin edileceği ortaya çıkmıştır.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (ÇOMÜ-BAP) 2010/166 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca arazi çalışmaları ile verilerin yorumlanması sırasında desteklerinden dolayı Prof. Dr. Süha ÖZDEN'e teşekkürü bir borç biliriz.

## EXTENDED SUMMARY

*It is known that changes in groundwater concentrations start with first shake and reach maximum level with energy discharge than become normal levels by time after earthquakes. Occurring of new springs or disappears of existing springs*

*can be seen before, during or after earthquakes. We should know detail geological features of geothermal fields to use changings in hot or mineral water concentrations as earthquake estimation before. In this scope, a monitoring study is done from thermal water springs which located along the Simav Fault to follow up these springs in the frame of physical and geochemical features and relationship with seismicity. Study area is located around Simav (Kütahya) (Middle West Anatolia) northern of Simav Fault and indicated as an active fault zone in the active fault map of Turkey is fairly active region in terms of earthquakes occurred in the instrumental period. This area also has many thermal areas which located on active faults. These are Naşa, Çitgöl and Eynal geothermal fields located north of Simav.*

*The study area and its vicinity geologically represent the northern part of Menderes Massif. At the present time this area is restricted by Simav Fault. On the basement of the study area consist of Paleozoic aged Menderes Massif which has gneiss, migmatite and schist type metamorphic rocks. In the north of these metamorphic rocks, Oligo-Miocene plutonic rocks are located. These geological units overlying by Miocene volcanic, clastic and carbonate rocks which have widespread. Plio-Quaternary aged Naşa basalt is the youngest volcanic activity of the area. All these rocks are covered by Quaternary aged alluvium.*

*Most of faults are normal fault which observed in the study area and general strike of these faults is NW-SE, WNW-ESE and E-W. The most important and active of these faults is Simav Fault which continues along the south of study area. It has WNW-ESE strike, N dip and about 60 km length. It is known that fault's initial movement is right-lateral strike slip but in Quaternary due to the general NNE-SSW extensional regime in western Anatolia, a regime change has been exposed*

and present Simav fault has been working as a normal fault.

*Due to high seismic activity of Simav and surrounding area, many big earthquakes occurred in the instrumental period. Around the study are about 1000 earthquakes occurred which has  $M > 3$  magnitude between May 2010 and May 2013. Most important and destructive earthquake of these was 19 May 2011  $M=5.9$  earthquake. Also on June 27, 2011 and May 3, 2012 at  $M=5.0$  and  $M=5.4$  magnitude earthquakes occurred.*

*In this study, three thermal springs determined in Naşa, Çitgöl and Eynal geothermal areas. Sampling and in-situ measurements were done from these thermal waters in 10 different periods from May 2010 to May 2013. Due to geochemical analysis of thermal waters Naşa spring is  $Ca^{+2}-SO_4^{-2}-HCO_3^-$  type, Çitgöl spring is  $Na^+-SO_4^{-2}-HCO_3^-$  type and Eynal spring is  $Na^+-SO_4^{-2}-HCO_3^-$  type of water.*

*Also physical and/or chemical changes in thermal water springs are compared between earthquakes. According to this monitoring study many physical (temperature increase and decrease) and chemical (increasing and decreasing of Cl and  $SO_4^{-2}$  concentrations) changing happened in these three thermal springs. These changing are observed at especially after and before earthquakes which have  $M=5.0$  and bigger. According to these data, in seismically active areas including geothermal systems, hot water can be continuously monitored; a possible earthquake can be predicted by changes in water hydrochemistry.*

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Akdeniz N. ve Konak N., 1979b. Simav-Emet-Tavşanlı -Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi, MTA Gen. Müd., Rapor No: 6547, Ankara.
- Ateş, Ö., Özden, S. ve Tutkun, S.Z., 2011. Aktif fayların jeotermal alanlarla ilişkisine bir Örnek: 19 Mayıs 2011 Simav

depremi ile jeotermal kaynaklardan elde edilen verilerin anlamı, ATAG 15. Çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı, Adana, S:58.

- Ateş, Ö., Özden, S. ve Tutkun, S.Z., 2012. Jeotermal kaynaklarda depremlere bağlı gözlenen değişikliklere bir örnek: 19 Mayıs 2011 Simav depremi ve etkileri, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, sf 14-15.
- Ercan, T., Günay, E. ve Savaşçın, M.Y., 1982. Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel yorumlanması, MTA Dergisi, 97-98, 86-101.
- Eroğlu, A ve Aksoy, N., 2003. Jeotermal suların kimyasal analizi, VI. Ulusal Tesizat Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri Kitapçığı, 149-183.
- Gün, H., Akdeniz, N. ve Günay, E., 1979, Gediz ve Emet güneyi Neojen havzalarının jeolojisi ve yaş sorunları, Jeoloji Mühendisliği Derg., 8, 3-13.
- Konak, N., 2002. 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası İzmir Paftası, M.T.A., Ankara.
- Nicholson, K.N., 1993. Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques, xv + 263 pp. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong: Springer-Verlag. Price DM 138.00, Ös 1076.40, SFr 138.00 (hard covers). ISBN 3 540 56017 3.
- Özden, S., Tutkun, S.Z., Bekler, T., Karaca, Ö., Komut, T., Kalafat, D., Ateş, Ö., Demirci, A.,
- Gündoğdu, E. ve Çınar Yıldız, S., 2012. Simav Fayı ile Kütahya Fayı (Emet-Orta Batı Anadolu) arasında kalan bölgenin Neotektonik ve Sismotektonik özellikleri, TÜBİTAK 109Y103 nolu proje final raporu, 235 s.
- Şimşek, Ş. ve Yıldırım, N., 2000, Termal Kaynaklar: Depremin habercisi, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 deprem bölgelerindeki termal kaynaklarda gözlenen değişimler ve önemi, Cumhuriyet, Bilim Teknik, 01 Temmuz 2000.
- Yücel, B., Coşkun, B., Demirci, S. ve Yıldırım, N., 1983, Simav yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA Der. Rap. No: 8219, 21s.  
www.deprem.gov.tr

---

Makale Geliş Tarihi : 29.04.2014  
Kabul Tarihi : 07.07.2014

Received : 29.04.2014  
Accepted : 07.07.2014



## **Çameli Havzası'nın Miyosen-Kuvaterner Jeodinamiği, Burdur-Fethiye Makaslama Zonu (GB Türkiye)**

*Miocene-Quaternary Geodynamics of Çameli Basin, Burdur-Fethiye Shear Zone (SW Turkey)*

**İrem ELİTEZ<sup>1</sup>, Cenk YALTIRAK<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Istanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maslak, 34469, İstanbul  
(e-posta: elitezi@itu.edu.tr)*

### **ÖZ**

Çameli Havzası güneybatı Anadolu'da, tektonik olarak oldukça aktif bir bölge olan Burdur-Fethiye Makaslama Zonu'nun (BFMZ) orta kesiminde bulunmaktadır. Bu bölge BFMZ üzerinde genç yaşlı çökellerin en yoğun olduğu yerlerden biridir.

BFMZ, doğu Ege genişleme rejimi, Helen yayı ve Isparta Açısı arasında konumlanan, uzunluğu yaklaşık 310 km, genişliği ortalama 40 km olan aktif bir makaslama zonudur. Orta Miyosen-Kuvaterner yaşlı KD-GB doğrultulu fay ve havzalarla karakterize edilir. Çameli Havzası da bu karaktere sahip dağarası bir havzadır.

Çameli Havzası'nın temelini Likya Napları olarak bilinen Jura-Kretase yaşlı ofiyolit, rekristalize kireçtaşları ve yer yer kırıntılılar ile bunların üzerini uyumsuz olarak örtmüş Eosen yaşlı türbiditik istif oluşturmaktadır. Bu temel üzerinde uyumsuz olarak Orta-Üst Miyosen yaşlı, örgülü ve menderesli akarsu ortamı ürünü olan iri taneli konglomera, kumtaşı, kıltaşı ve silttaşından meydana gelen Gölhisar Formasyonu bulunmaktadır. Gölhisar Formasyonu Üst Miyosen- Alt Pliyosen yaşlı İbecik Formasyonu ile yatay ve düşey geçiş göstermektedir. İbecik Formasyonu kil, kumlu kireçtaşı, bol kırıklı marn, killi kireçtaşı ve kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşan gölsel ortam ürünü bir birimdir. İbecik Formasyonu üzerinde uyumsuzlukla Üst Pliyosen-Alt Kuvaterner yaşlı konglomera, çamurtaşı, silt ve kilden oluşan alüvyal yelpaze çökelleri bulunmaktadır. Dirmil Formasyonu olarak adlandırılan bu birimin üzerine ise yine uyumsuzlukla güncel alüvyon çökelleri yerleşmiştir.

Bölgedeki güncel tektonik aktivite bölgenin KD-GB ve yaklaşık K-G gerilmelerin etkisinde olduğunu göstermektedir. Büyük ve küçük ölçekli fayların ve güncel depremlerin fay çözümleri dikkate alındığında KD-GB doğrultulu sol yanal ve sol yanal oblik normal faylar ile yaklaşık K-G doğrultulu normal faylar tipik bir sol yanal makaslama rejimini göstermektedir. Bunun yanı sıra Miyosen çökelleri içerisinde baskın olarak bulunan KD-GB, KB-GD ve yaklaşık K-G doğrultulu sol yanal oblik normal ve normal faylar bölgedeki makaslama ve rotasyonun bir diğer kanıtıdır.



Çameli Havzası'nın oluşumu Erken Miyosen'de bölgede etkin olan sıkışma ile başlamış, Orta-Geç Miyosen'de sol yanal bir hareketin etkisiyle devam etmiştir. Havza halen Pliyosen'de başlayan sol yanal gerilmeli sistem hakimiyetindedir.

**Anahtar kelimeler:** Aktif tektonik, Burdur-Fethiye Makaslama Zonu, Çameli Havzası, Güneybatı Türkiye

## ABSTRACT

*Çameli Basin is located on the middle of the Burdur-Fethiye Shear Zone (BFSZ) which is tectonically a very active region in southwestern Anatolia. This region is one of the locations on BFSZ which has extensive young sediments.*

*BFSZ is an active shear zone which is located between the eastern Aegean extensional province, the Hellenic Arc and the Isparta Angle. Its length is about 310 km and its average width is 40 km. It is characterized by the Middle Miocene-Quaternary aged NE-SW-trending faults and basins. One of these intermontane basins is the Çameli Basin.*

*Jurassic-Cretaceous aged ophiolites, recrystallized limestones and partly clastic rocks, which are known as Lycian Nappes, and the Eosen aged turbidites, which cover them unconformably, compose the basement of the Çameli Basin. The Middle-Lower Miocene aged Gölhisar Formation consists of meander and braided river deposits that are conglomerate, sandstone, claystone and shalestone and located unconformably on this basement. Gölhisar Formation shows lateral and vertical transition to Upper Miocene-Lower Pliocene aged İbecik Formation. İbecik Formation is a lacustrine environment unit that consists of clay, sandy limestone, marl, clayey limestone and thick bedded limestones. Upper Pliocene-Lower Quaternary aged alluvial fan deposits composed of conglomerate, mudstone, silt and clay overlie unconformably on İbecik Formation. Recent alluvium deposits settled unconformably on this unit that is named the Dirmil Formation.*

*The recent tectonic activity on the region shows that the region is under the influence of NE-SW and almost N-S extension. When considering the fault plane solutions of the earthquakes and small and large scale faults, NE-SW-trending left lateral and left lateral oblique normal faults and almost N-E-trending normal faults indicate a typical left lateral shear regime. Also, NE-SW, NW-SE and almost N-S-trending left lateral oblique normal and normal faults in the Miocene aged sediments are evidence of the shear and rotation on the region.*

*The evolution of Çameli Basin began with a predominant compressional regime in the Early Miocene and proceeded with a left lateral movement in the Middle-Late Miocene. The basin is still situated within a Pliocene-Recent aged left lateral extensional regime.*

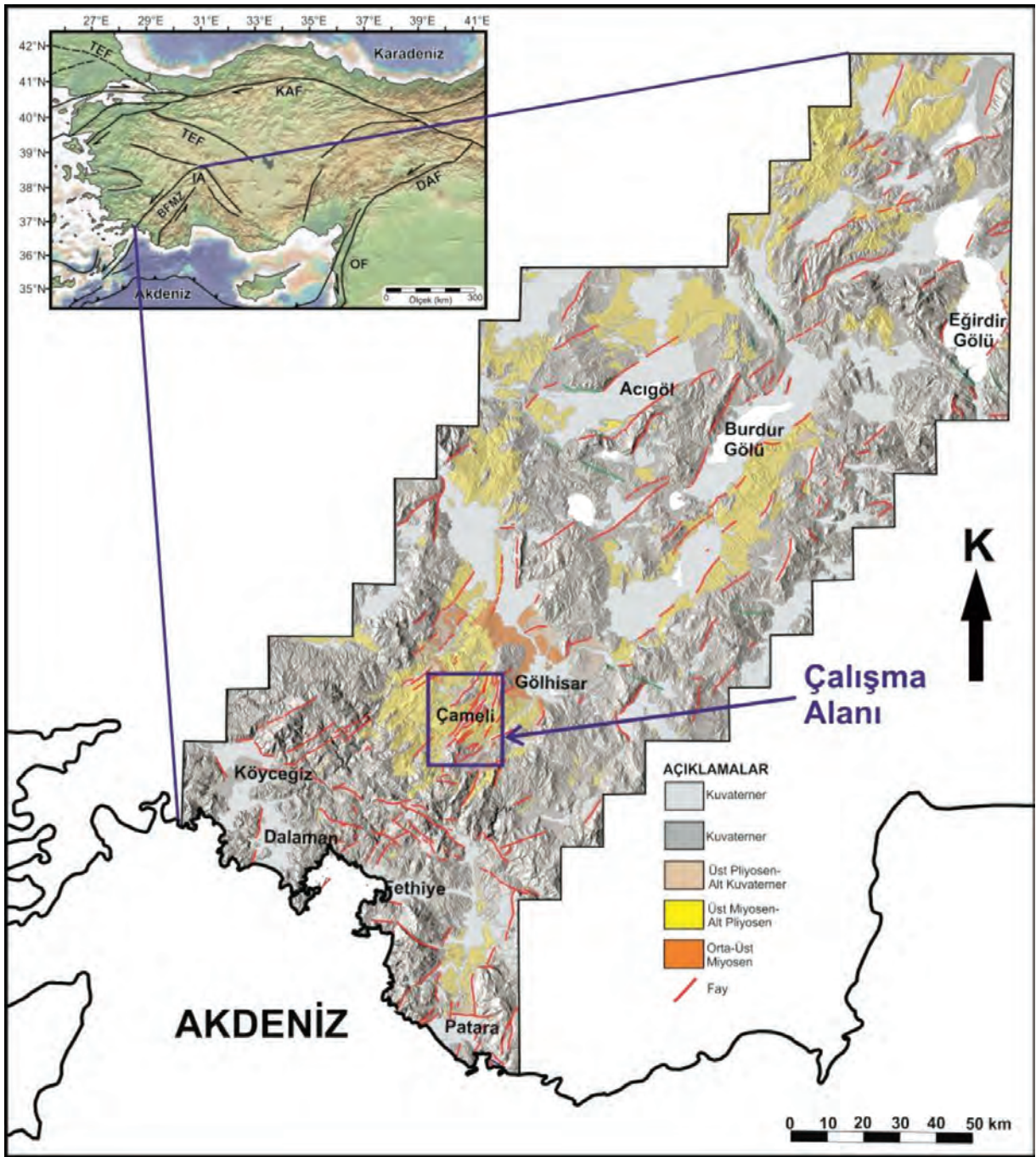
**Key words:** Çameli Basin, Burdur-Fethiye Shear Zone, Southwestern Turkey, active tectonics

## GİRİŞ

Çameli Havzası, güneybatı Anadolu'da tektonik aktivitenin oldukça yoğun olduğu bir bölgede, KD-GB doğrultulu Burdur Fethiye Makaslama Zonu (BFMZ) üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1). Günümüzde BFMZ 310 km uzunluğunda, kuzeydeki ucu Afyon-Çay batısında yaklaşık 30 km, güney ucu ise antik Patara ile Dalaman İztuzu arasında 90 km genişliğinde, sekmeli parçalardan oluşan sol yanal gerilmeli bir makaslama zonu olarak tanımlanır (Elitez ve Yaltırak, 2014). Güneybatı Anadolu'da Burdur ve Fethiye arasında bulunduğu öne sürülen sol yanal atımlı KD-GB doğrultulu faylar çeşitli araştırmacılar tarafından Burdur Fayı, Fethiye-Burdur Fayı/ Fay Zonu veya Burdur-Fethiye Fay Zonu olarak adlandırılmaktadır (Barka vd., 1995; Eyidoğan ve Barka, 1996; Barka vd., 1997; Yağmurlu vd., 1997; Akyüz ve Altunel, 1997 ve 2001; Savaşçın ve Oyman, 1998; Pınar, 1998; Glover ve Robertson, 1998; Alçiçek vd., 2002; Çağlar ve Şahin, 2003; Kalyoncuoğlu ve Özer, 2003; Sintubin vd., 2003; Gürer vd., 2004; ten Veen, 2004; Similox-Tohon vd., 2004; Verhaert vd., 2004 ve 2006; Yağmurlu ve Şentürk, 2005; Alçiçek vd., 2006; Erdoğan ve Şahin, 2006; Bozcu vd., 2007; Dolmaz, 2007;

Erdoğan vd., 2008; ten Veen vd., 2008; Hall vd., 2009; Över vd., 2010 ve 2013; Paradisopoulou vd., 2010; Oçakoğlu, 2011). Son yıllarda Burdur-Fethiye Fay Zonu olarak adlandırılan alanın sınırları ve fayları ayrıntılı olarak tartışılmaya başlanmıştır (Elitez ve Yaltırak, 2014; Hall vd., 2014; Özkaptan vd., 2014). Çameli Havzası'nın sınırları ise farklı yorumlanmakla birlikte genellikle Acıpayam, Gölhisar ve Çameli havzalarının tamamını kapsayan çalışmalarda bu adlandırma ile karşılaşılmakta (Alçiçek 2001; Gürer vd., 2004; Alçiçek vd., 2004, 2005, 2006; Över vd., 2010) ve Alçiçek (2001) ve Alçiçek vd. (2004, 2005, 2006) tarafından öne sürüldüğü şekliyle, Batı Anadolu'da Neotektonik dönemde oluşmuş bir graben olarak tanıtılmaktadır.

Bu çalışmada Çameli Havzası olarak adlandırdığımız alan, Çameli ilçesi ve çevresini sol yanal oblik normal faylar ile sınırlayan dağarası bir havzadır. Miyosen ve daha genç birimlerin en yaygın haritalanabildiği bu bölgede, Miyosen yaşlı flüviyal ve gölsel sedimanlar ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimlerin içindeki yapısal unsurların arasındaki farklılıkların irdelenmesi ve havzanın evrimine açıklık getirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1. Türkiye'nin tektonik haritası. BFMZ: Burdur-Fethiye Makaslama Zonu, KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı, TEF: Trakya-Eskişehir Fayı, IA: Isparta Açısı, ÖF: Ölüdeniz Fayı (Şengör, Zonu 1979; Barka, 1992; Yaltırak vd., 2012'den değiştirilmiştir) ve çalışma alanının Burdur-Fethiye Makaslama üzerindeki konumu (İrem Elitez'in doktora çalışmasından jeoloji ve fay haritasının basitleştirilmiş halidir).

**Figure 1.** Tectonic map of Turkey. BFMZ: Burdur-Fethiye Shear Zone, KAF: North Anatolian Fault, DAF: East Anatolian Fault, TEF: Trakya-Eskişehir Fault, IA: Isparta Angle, ÖF: Deadsea Fault (modified from Şengör, 1979; Barka, 1992; Yaltırak et al., 2012) and location of the study area on Burdur-Fethiye Shear Zone (simplified geological and fault map of İrem Elitez from the PhD study).

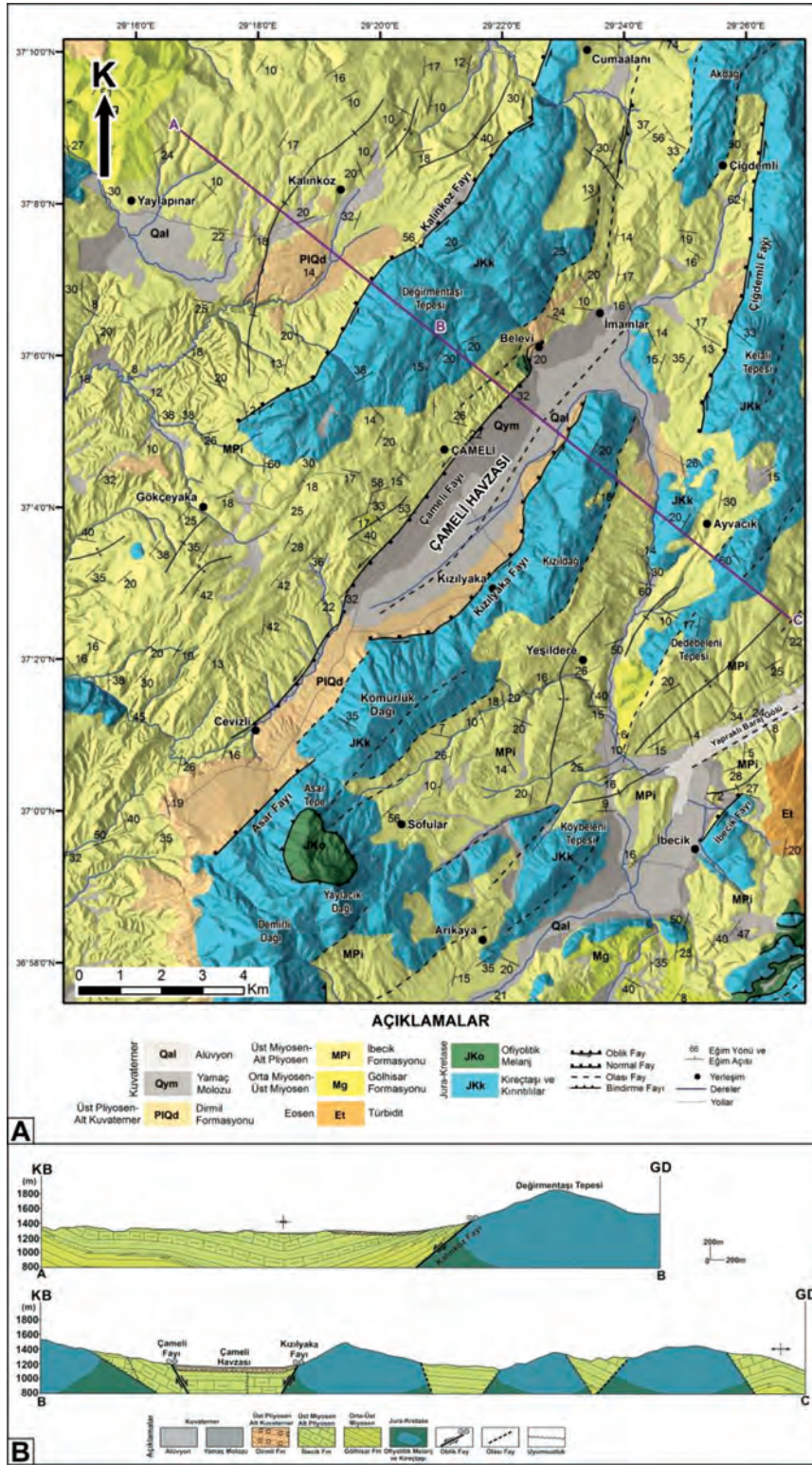
Bu çalışma, 2008-2013 yılları arasında Karamık, Hoyran Gölü, Dalaman, Gelemiş arasında kalan bölgede yürüttüğümüz yüksek lisans ve doktora çalışması kapsamında incelenen saha içinde küçük bir alanı kapsamaktadır. Çalışma başlangıcında hedef alana ait 1/25000'lik sayısal arazi paftaları (165 adet) birleştirilerek, 1-3 m çözünürlüklü uydu görüntüleri yardımıyla ArcGIS üzerinde üretilen veri tabanı üzerinde jeolojik haritalama için alt katmanlar oluşturulmuştur. Sahada yapılan gözlemler ile sayısal ortamda yapılan çizgisellik haritaları ve litolojik sınırlar arazi çalışması ve jeolojik haritalama ile geliştirilmiştir. Çalışmada şimdiye kadar 2686 lokalite de temel gözlemler, küçük ve büyük ölçekli faylarda kinematik ölçümler yapılmıştır. Böylece, Burdur-Fethiye Makaslama Zonu'nun üzerindeki havzaların ve zonun tamamının evriminin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu makalede ise seçilen alan, 1/25000'lik N22c4 nolu pafta ile N22c1, N22c2, N22c3, N22d2, N22d3, O22a2, O22b1 ve O22b2 nolu paftaların bir kısmını kapsayan jeoloji haritasını ve 338 lokalite de gözlem içermektedir.

## **BÖLGESEL JEOLJİ**

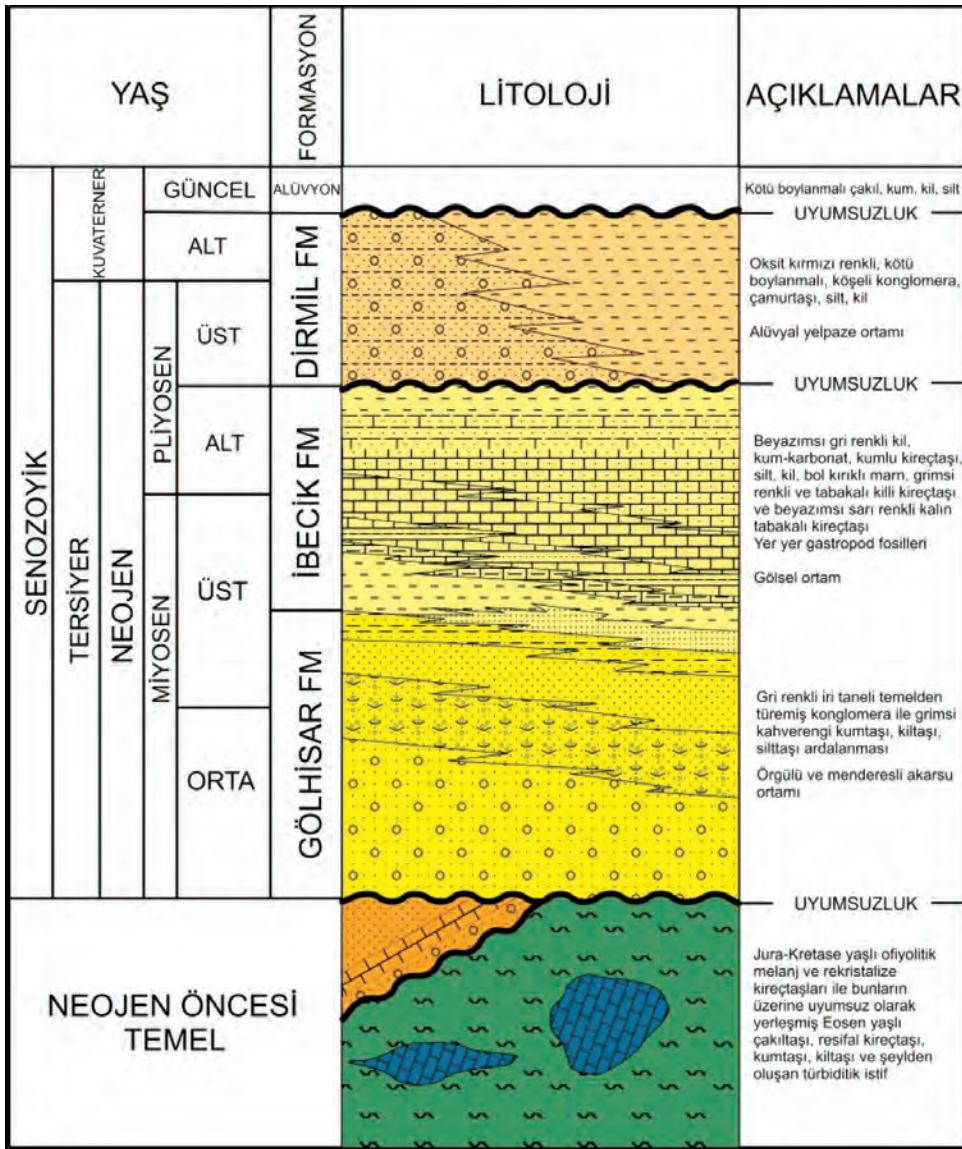
Çalışma alanında yer alan birimler Mesozoyik'ten günümüze kadar uzanan geniş bir zaman dilimini kapsamaktadır. Burdur-Fethiye Makaslama Zonu

üzerinde genç sedimanların en yoğun şekilde gözlemlendiği bu bölgenin temelini Batı Toros Napları veya Likya Napları olarak bilinen Jura-Kretase yaşlı ofiyolitler, rekrystalize kireçtaşları ve yer yer kırıntılılar ile Eosen yaşlı türbiditik istif oluşturmaktadır (Brunn vd., 1970; Önalın, 1979; Ersoy, 1989, 1990; Collins and Robertson, 1997, 1998) (Şekil 2). Çalışma sahasında araştırma konusunun içeriğine uygun olarak incelenen Neojen yaşlı karasal ortam sedimanları bölgede yapılan önceki çalışmalarda Likya naplarını örten Neojen örtü, Çameli Formasyonu veya Yatağan Formasyonu adları altında incelenmiştir (Altınlı, 1955; Becker-Platen, 1970; Kara, 1976; Erakman vd., 1982; Meşhur ve Yoldemir, 1983; Meşhur ve Akpınar, 1984; Göktaş, 1990; Alçiçek, 2001). Çameli Formasyonu adlaması ilk defa Erakman vd. (1982) tarafından yapılmıştır. Bölgedeki haritalarda tek bir birim olarak gösterilen Çameli Formasyonu'nun (Şenel, 1997; Alçiçek, 2001; Kazancı vd., 2002; Alçiçek vd., 2004, 2005, 2006.) tamamı, stratigrafik, sedimantolojik ve çökeldiği havza sınırları ile birbirinden farklılıklar gösteren yaş konakları farklı üç ayrı birimden oluşur. Bu nedenle Gölhisar, İbecik ve Dirmil formasyonları olarak adlandırılma gereksinimi doğmuştur (Elitez, 2010; Elitez vd., 2009, 2011) (Şekil 2 ve 3). Söz konusu formasyonlar, Acıpayam, Çameli ve Gölhisar çevresinde geniş alanlarda taban ve tavan ilişkisiyle tanınabilmektedir.





Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Elitez, 2010'dan değiştirilerek alınmıştır).  
 Figure 2. Geologic map of the study area (modified from Elitez, 2010).



Şekil 3. Çalışma alanının stratigrafik kesiti (Elitez, 2010).

Figure 3. Stratigraphic section of the study area (Elitez, 2010).

### Neojen Öncesi Temel Birimler

Çalışma alanındaki en yaşlı birim Jura-Kretase yaşlı ofiyolitik melanj ve melanj içerisinde yer alan farklı karakterlerdeki kireçtaşı blokları ve yer yer kırıntılılardır. Bunların üzerinde uyumsuz olarak yerleşmiş Eosen yaşlı konglomera ile ara katkılı nummulitli kireçtaşı ile başlayan türbiditik bir istif gözlenmektedir. Bu birimler, Miyosen-Güncel yaşlı çökellerin üzerine oturduğu temeli

oluşturmaktadır (Brunn vd., 1970; Önalın, 1979; Ersoy, 1989, 1990; Collins and Robertson, 1997, 1998).

Ofiyolitik melanj ve kireçtaşları genellikle çalışma alanının topografik olarak yüksek alanlarında bulunur. Temel birimlerinden biri olan Eosen yaşlı türbiditik sedimanlar ise Yapraklı Baraj Gölü'nün güneydoğu kıyısında yüzlekler vermektedir (Şekil 2).

## Neojen Yaşlı Birimler

### Göhlisar Formasyonu (Mg)

Çalışma alanında dar bir alanda yüzeyleyen ve Miyosen yaşlı genç sedimanların en yaşlısı olan Göhlisar Formasyonu yeşil, yeşilimsi gri ve gri renkli konglomera ve kumtaşlarından meydana gelmektedir (Şekil 4). Birimi Alçıçek (2001) Çameli Formasyonu içerisindeki Derindere ve Kumafşarı üyeleri olarak değerlendirmiştir. Bu üyeler Elitez (2010) tarafından istif içinde yer alan litofasiyesler olarak değerlendirilmiş ve istifin en iyi şekilde yüzeylendiği yer Burdur iline bağlı Göhlisar ilçesi ve çevresi olduğundan dolayı akarsu ortamında çökelmiş konglomeratik birimler Göhlisar Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Göhlisar'da bulunan Kibyra antik kentinin kuzeybatısından Göhlisar ilçesi arasında birime ait tip kesit açık şekilde gözlemlenebilmektedir (Şekil 5). Burada birimin kalınlığı 800 m civarındadır.

Göhlisar Formasyonu ofiyolitik melanj ve Jura yaşlı kireçtaşları üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. Tavanda İbecik Formasyonu ile yanal ve düşey geçişli olan birim tabanda boz renkli, yeşilimsi, kırmızı ve gri renklere sahip orta-kalın konglomera tabakaları ile başlamaktadır. Konglomeralar içerisinde bulunan çakıllar iri-orta boyutlu, orta derecede yuvarlanmış, yer

yer bloklu, kum ve ince çakıl matrikslidir ve genellikle temele ait serpantin, radyolarit ve kireçtaşlarından türemişlerdir. Matriks ve tane destekli, orta-iyi derecede tutturulmuş bu konglomeralar üst seviyelere doğru kumtaşları ile yanal geçiş göstermektedir. Genellikle ara katkı olarak bulunan grimsi ve kahverengi renklere gözlemlenen kumtaşları orta-ince tabakalı ve orta-ince taneli bir yapıya sahiptirler.

Göhlisar Formasyonu'nun üstünde yanal ve düşey geçişli olduğu İbecik Formasyonu ile ilişkisine dayanarak formasyonun Orta Miyosen yaşlı, üst seviyelerinin en erken Üst Miyosen yaşlı olduğu düşünülmektedir. Litolojisi göz önüne alındığında tabanda alüvyal yelpaze ve örgülü akarsu ortamını işaret etmekte, üste doğru menderesli akarsu ortamını gösteren fasiyeslere geçmektedir.

### İbecik Formasyonu (MPi)

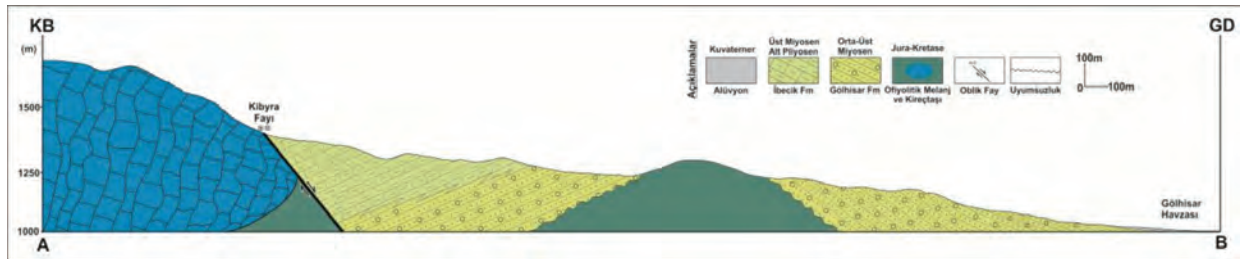
İbecik Formasyonu beyaz, beyazımsı sarı, sarı ve bej renkli kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn ve ince taneli kumtaşlarından meydana gelmektedir. Çalışma alanının güneydoğusunda bulunan İbecik köyü civarında iyi derecede yüzlekler verdiğinden dolayı birim Elitez (2010) tarafından İbecik Formasyonu olarak adlandırılmıştır.





Şekil 4. Çalışma alanının KB kesiminde bulunan Gölhisar Formasyonu'na ait konglomera ve kumtaşları (Koordinat: 37°9'27.66''K 29°15'19.92''D).

Figure 4. Conglomerates and sandstones of the Gölhisar Formation located at the NW of the study area (Coordinate: 37°9'27.66''N 29°15'19.92''E).



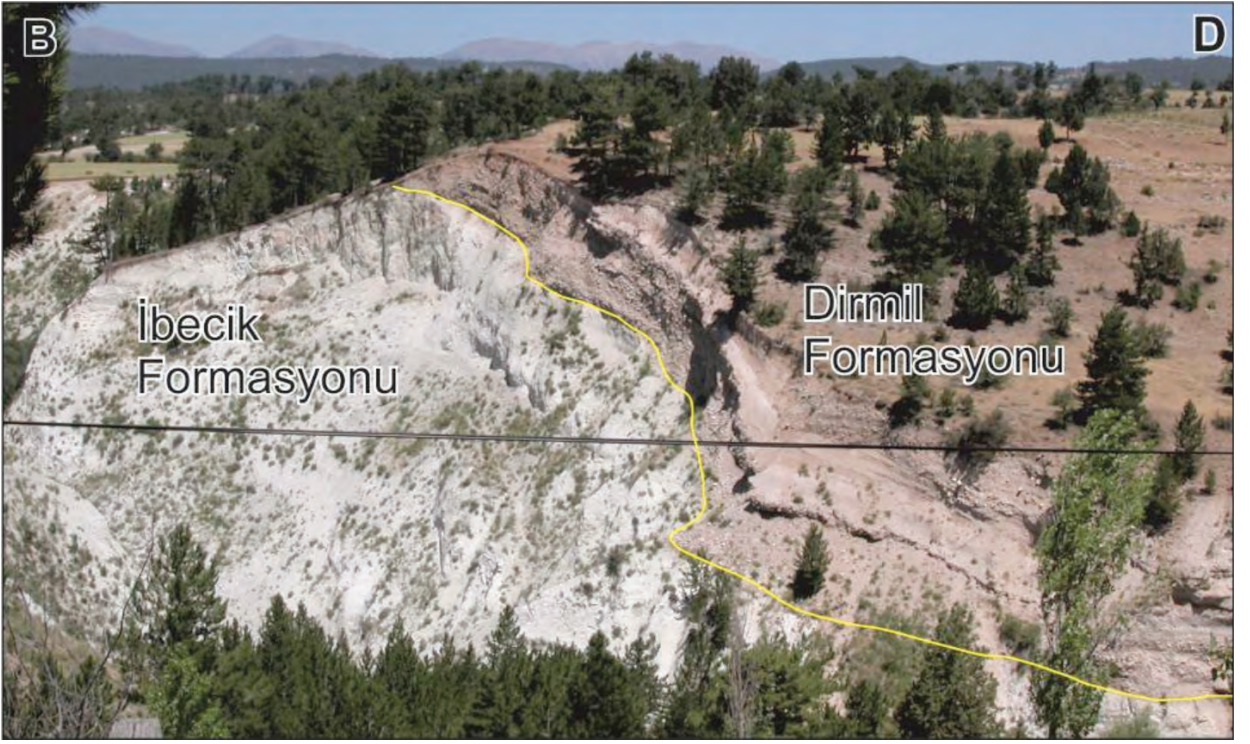
Şekil 5. Gölhisar Formasyonu'na ait tip kesit (Koordinatlar: A: 37°10'19''K 29°27'37.63''D; B: 37°9'14.32''K 29°30'38.42''D)

Figure 5. The type section of Gölhisar Formation (Coordinates: A: 37°10'19''N 29°27'37.63''E; B: 37°9'14.32''N 29°30'38.42''E)

Çalışma alanın büyük kesimini kaplayan birim stratigrafik olarak tabanda Gölhisar Formasyonu ile yanal ve düşey geçiş göstermektedir. Üst kesimde Dirmil Formasyonu birimi uyumsuz olarak örtmektedir (Şekil 6). Çalışma alanının bazı kesimlerinde birim temel ile

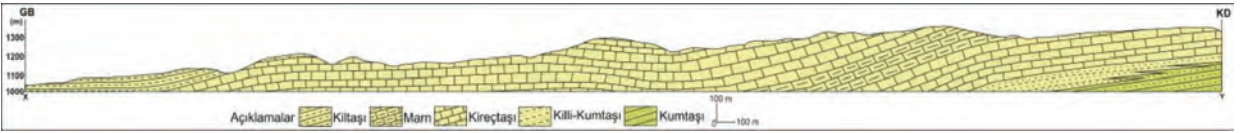
faylı dokanak, yer yer aşmalı uyumsuz olarak bulunmaktadır. Birimin tip kesiti en iyi Yapraklı Baraj Gölü'nden kuzeydoğuya doğru çıkan yol boyunca gözlemlenmektedir (Şekil 7.). Birimin kalınlığı bu kesimde 600-700 m civarındadır.





**Şekil 6.** İbecik Formasyonu ile Dirmil Formasyonu arasındaki uyumsuz dokanak (Koordinat: 37°6'33.35''K 29°18'24.75''D).

**Figure 6.** Unconformable contact between İbecik Formation and Dirmil Formation (Coordinate: 37°6'33.35''N 29°18'24.75''E).



**Şekil 7.** İbecik Formasyonu'na ait tip kesit (Koordinatlar: X: 37°1'6.37''K 29°25'54.17''D; Y: 37°4'16.77''K 29°27'26.12''D).

**Figure 7.** Type section of İbecik Formation (Coordinates: X: 37°1'6.37''N 29°25'54.17''E; Y: 37°4'16.77''N 29°27'26.12''E).

En altta bulunan beyazısı gri renkli killi seviyeler yukarılara doğru dağılgan, laminalı ve konkav kırıklar gösteren beyaz ve grimsi renkli marnlara geçmektedir. Marnlar üzerinde grimsi renkli ve tabakalı killi kireçtaşları yer alır. Üst seviyelere doğru çıkıldığında ise beyazımsı sarı ve sarı renklerde gözlemlenen, boşluklu, sert, yer yer aşırı kırıklı, tabakalı kireçtaşları ortaya çıkmaktadır. Birim içerisinde ince kabuklu gölsel gastropod fosillerine bolca rastlanmaktadır.

İbecik Formasyonu'nun en üst kesiminde şarabi kırmızı renkli karbonatlı, marnlı, killi kurak ortam ürünü olan kalişli ve jipsli tabakalar bulunmaktadır (Şekil 8). Bu kırmızı seviyelerin çökeltim zamanının Messiniyen'deki Akdeniz'in kuruması olayı ile ilişkili olduğu düşünülebilir. İbecik Formasyonu'nun çökeltme ortamı sığ ve sıcak bir gölü ve kıyı fasiyeslerini göstermektedir. Göl bölgesel tektonizmaya bağlı olarak gelişmiştir. Geç Miyosen'de bölgede Çameli Havzası'nın tamamını kaplamıştır.



**Şekil 8.** İbecik Formasyonu'nun üst kesimlerinde bulunan şarabi kırmızı renkli kalişli karbonatlı istif (Koordinat: 37°6'42.51''K 29°23'42.44''D).

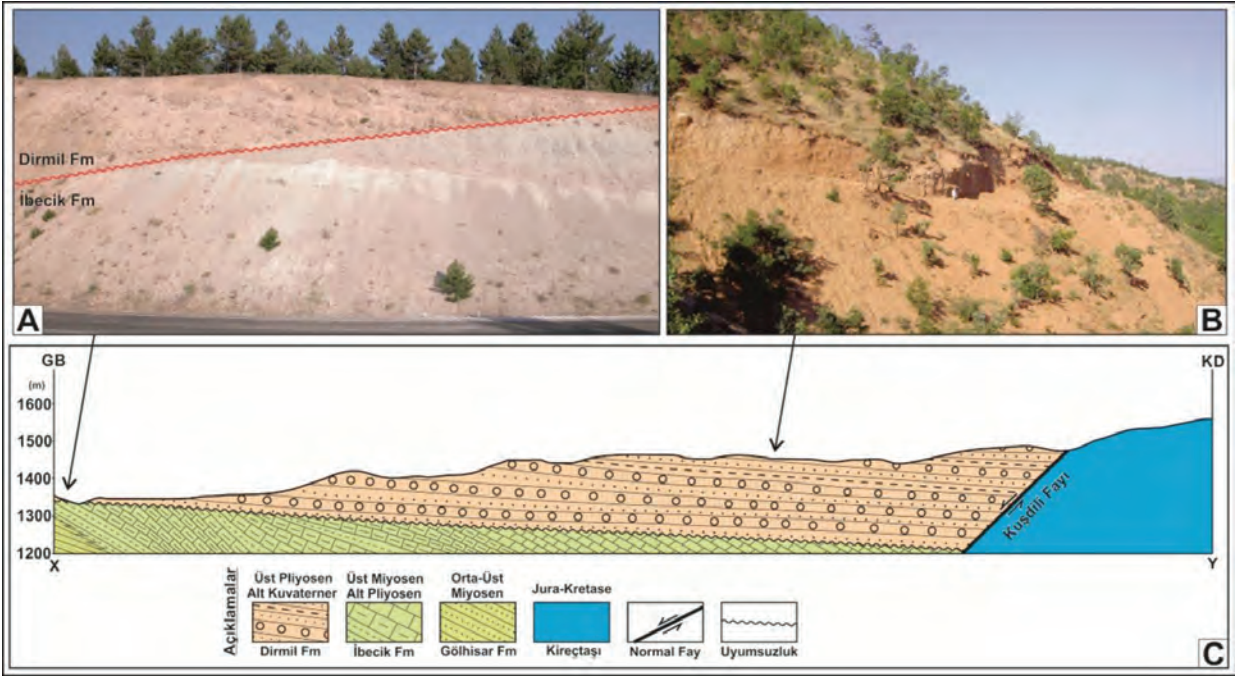
**Figure 8.** Wine coloured red carbonated sequence with caliche located at the top of the İbecik Formation (Coordinate: 37°6'42.51''N 29°23'42.44''E).

Paton (1992) çalışma alanının dışında (kuzeyinde) bulunan Acıpayam ilçesi civarındaki lamproitleri  $4.88 \pm 2.19$ ,  $6.28 \pm 0.48$  ve  $6 \pm 1.54$  m.y. aralığında yaşlandırmıştır. Dolayısıyla lamproitlerin yaş aralığı 2.69 ile 7.54 m.y. arasındadır. Bu lamproitler İbecik Formasyonu'na ait en üst kesimindeki kireçtaşı-kiltaşı birimlerini kesmektedir. Bu lokalitede formasyonun en üstünde yer alan kırmızı seviyeler ile lavların ilişkisi eş zamanlı görülmektedir. Çalışma sahasının dışında (güneyinde) yer alan İbecik Formasyonu'nun taban seviyelerine karşılık gelen killi karbonat seviyelerinde Alçiçek (2001) *Perrisodactyla-Equidae Hipparion cf. Primigeniup* sp. fosillerine Vallesiyen yaş vermiştir. Bu durumda birimin karbonat ağırlıklı alt seviyeleri Tortoniyen, üst kesimlerde yer alan kırmızı renkli jipsli kesimleri Messiniyen ve bunların üstünde yer alan kalişli killi seviyeler ise Alt Pliyosen'e karşılık gelmelidir.

**Dirmil Formasyonu (PIQd)**Dirmil Formasyonu çalışma alanında bulunan oksit kırmızı renkli konglomera ve çamurtaşlarından meydana gelmektedir. Birim özellikle çalışma arazisinin dışında, güneydoğu kesimde kalan Dirmil (Altınyayla) ilçesi civarlarında iyi yüzlekler verdiği için dolayı Elitez (2010) tarafından Dirmil Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Alüvyal yelpaze çökellerinden oluşan Dirmil Formasyonu stratigrafik olarak İbecik Formasyonu'nun üzerine aşılal uyumsuzlukla yerleşmektedir (Şekil 6). Üzerinde ise yine uyumsuz olarak güncel alüvyonlar yer almaktadır. Birimin tip kesiti çalışma arazisinin dışında, doğu kesiminde, Kuşdili-Dirmil arasında yer almaktadır (Şekil 9). Birimin kalınlığı burada 250 m civarındadır.





**Şekil 9.** A. Kuşdili Köyü'nün güneybatısında bulunan, İbecik Formasyonu ile Dirmil Formasyonu arasındaki uyumsuz dokanak. Kırmızı dalgalı çizgi uyumsuzluk düzlemini göstermektedir (Koordinat: 37°2'26,481"N 29°32'11,723"E). B. Kuşdili Köyü'nün güney kesimlerinde Dirmil Formasyonu'na ait birimler (Elitez, 2010) (Koordinat: 37°3'2,301"N 29°33'10,487"E) C. Kuşdili Köyü'nün güney kesiminden GB-KD doğrultulu tip kesit (Koordinatlar: X: 37°2'26.10"N 29°32'2.84"E; Y: 37°3'10.97"N 29°33'53.94"E)

**Figure 9.** A. Unconformable contact between İbecik Formation and Dirmil Formation on the southwest of Kuşdili Village (Coordinate: 37°2'26,481"N 29°32'11,723"E). B. The units located on the south of Kuşdili Village (Elitez, 2010) (Coordinate: 37°3'2,301"N 29°33'10,487"E). C. SW-NE type section from the south of the Kuşdili Village (Coordinates: X: 37°2'26.10"N 29°32'2.84"E; Y: 37°3'10.97"N 29°33'53.94"E).

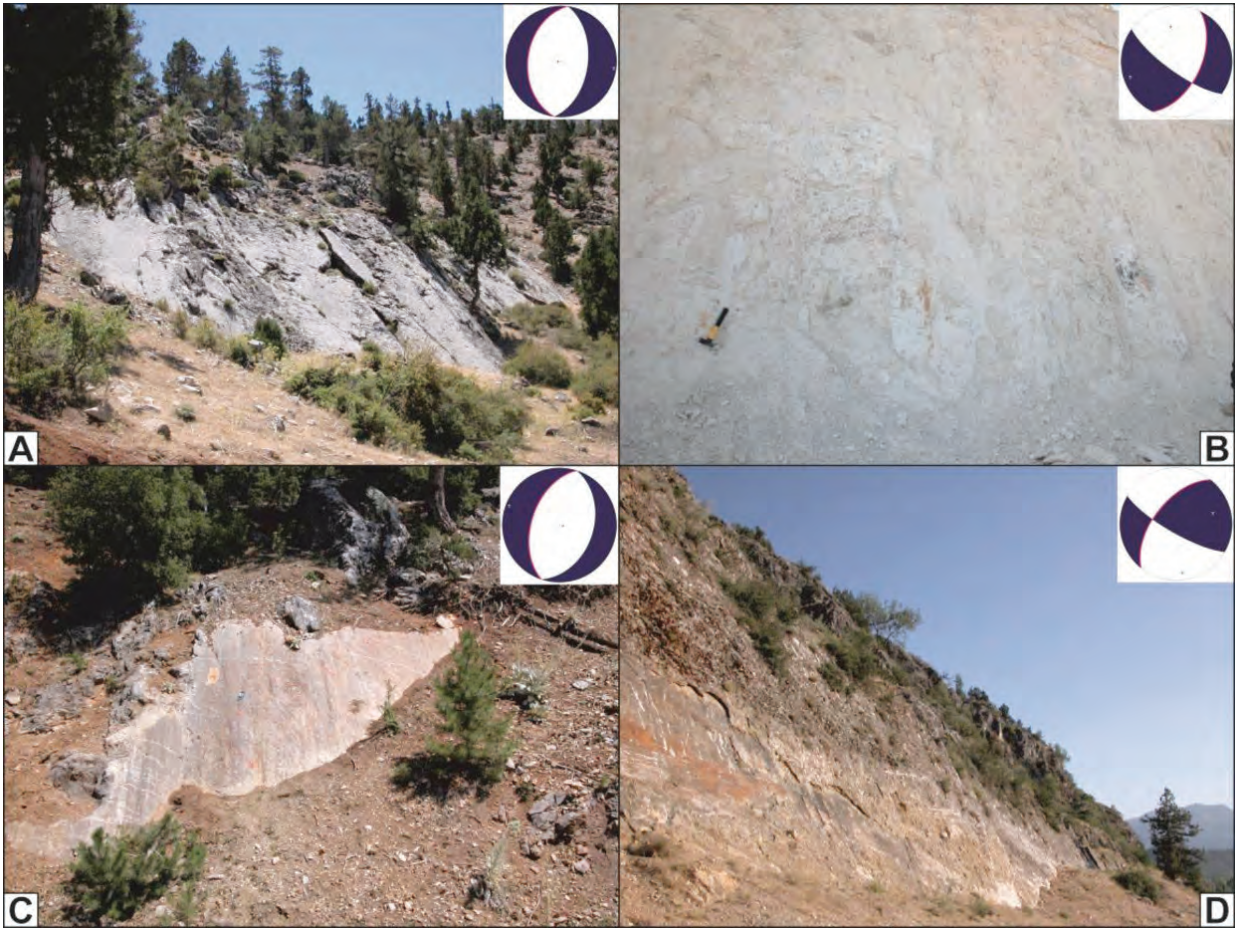
Önceki çalışmalarda Çameli Havzası'nın güneybatısında bulunan *Mimomys pliocaenius*, *Apodemus dominans* ve *Micromys praeminutus* mikro memeli fosillerinin yaşları (2.6-1.8 m.y.) (Alçıçek vd., 2005) bulunduğu lokaliteye göre tekrar yorumlanarak ve birimin stratigrafideki konumugöz önüne alınarak Dirmil Formasyonu Üst Pliyosen-Alt Kuvaterner olarak yaşlandırılmıştır.

## ÇAMELİ HAVZASI'NIN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Çameli Havzası güneybatı Anadolu'daki gerilme rejimine bağlı, sol yanal hareketin sonucu olarak oluşmuş KD-GB yönlü dağlararası bir

havzadır. Kuvaterner yaşlı bu havza GB ve KD kenarlarından sol yanal oblik normal faylar ile sınırlanmaktadır. Havzanın Kuvaterner dolgusu altında Dirmil Formasyonu'na ait alüvyal yelpaze çökelleri bulunmaktadır (Şekil 2B).

Kalınkoz ve İbecik fayları çalışma alanında temele ait Jura yaşlı kireçtaşları ile İbecik Formasyonu arasında faylı dokanak oluşturmaktadırlar (Şekil 2A). Kalınkoz Fayı'nın KD'sunda yer alan Cumaalanı'nın güney kesiminde İbecik Formasyonu içerisinde başka bir büyük ölçekli fay gözlemlenmektedir (Şekil 2A). Bu KD-GB doğrultulu sol yanal oblik normal fayların fay düzlemleri arazide açık şekilde gözlemlenmektedir (Şekil 10A, 10B ve 10D).



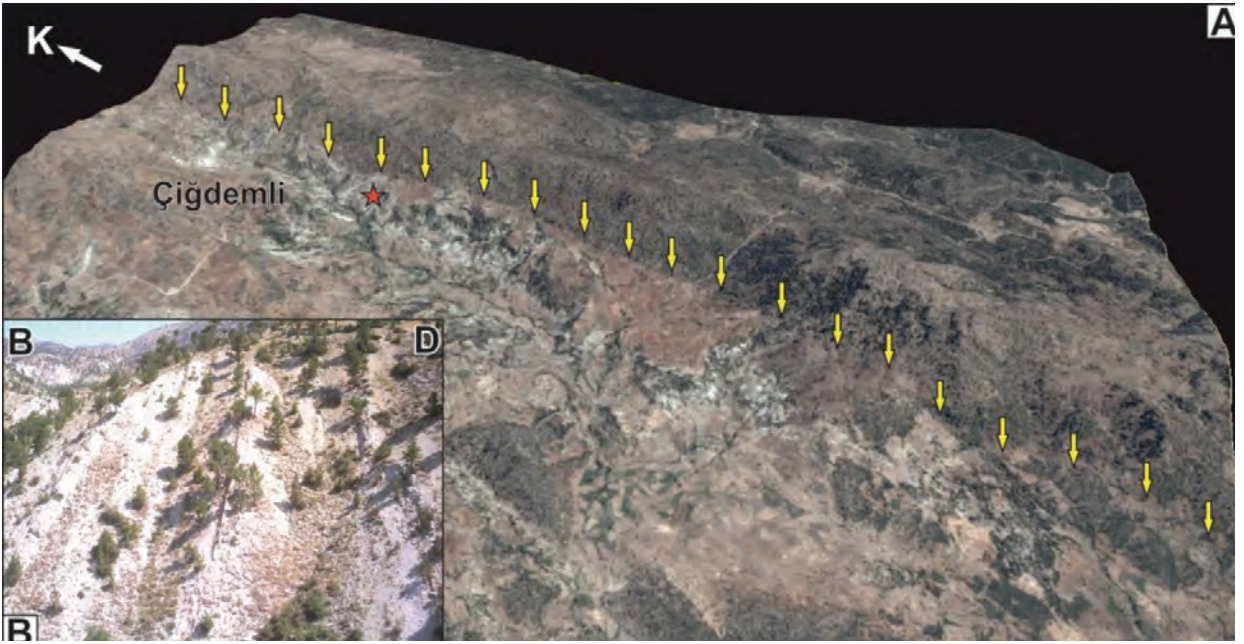
**Şekil 10.** A. Kalinkoz Fayı'na ait fay düzlemi ve fay çözümü. B. Cumaalanı güneyindeki Neojen birim içerisindeki büyük ölçekli fay düzlemi ve fay çözümü. C. Asar Fayı'na ait fay düzlemi ve fay çözümü. D. İbecik Fayı'na ait fay düzlemi ve fay çözümü. (Elitez, 2010'dan değiştirilerek alınmıştır).

**Figure 10.** A. Fault plane and fault plane solution of Kalinkoz Fault B. Fault plane and fault plane solution of large scale Neogene aged fault at the south of Cumaalanı C. Fault plane and fault plane solution of Asar Fault. D. Fault plane and fault plane solution of İbecik Fault. (modified from Elitez, 2010).

Çiğdemli Fayı temele ait Jura yaşlı kireçtaşları ile İbecik Formasyonu ve Dirmil Formasyonu arasında dokanak oluşturmaktadır. Yaklaşık K-G doğrultulu (Şekil 11A) sol yanal

oblik normal bir fay olan Çiğdemli Fayı önündeki İbecik Formasyonu'na ait birimler özellikle fayın kuzey kesimlerinde dike yakın eğimler göstermektedir (Şekil 11B).





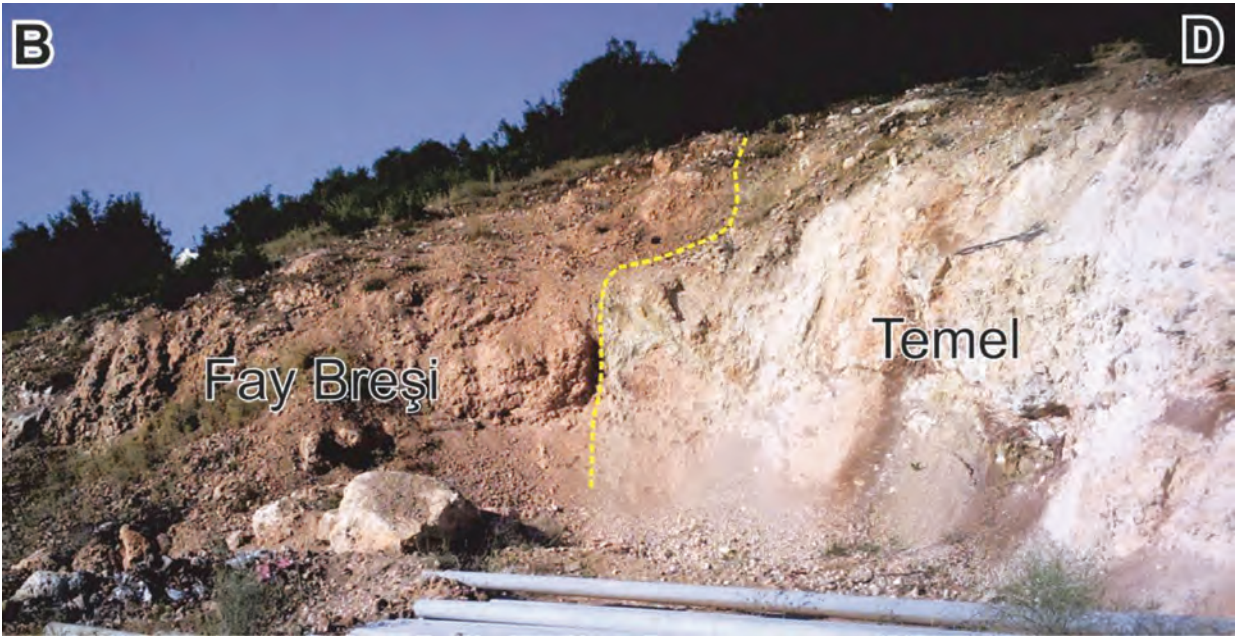
**Şekil 11.** A. Çiğdemli fayının uydu görüntüsü. Sarı oklar fayın doğrultusunu, kırmızı yıldız B'nin lokasyonunu göstermektedir. B. Çiğdemli Fayı fay düzlemine doğru eğimli, dike yakın tabakalanmalardan bir görünüm (Elitez, 2010) (Koordinat: 37°7'45.90"K 29°25'51.12"D).

**Figure 11.** A. Satellite image of the Çiğdemli Fault. Yellow arrows show the direction of the fault, red star shows the location of B. B. A view of nearly vertical beddings dipping to fault plane of Çiğdemli Fault (Elitez, 2010) (Coordinate: 37°7'45.90"N 29°25'51.12"E).

Kızılyaka Fayı çalışma alanında temele ait Jura yaşlı kireçtaşları ile Dirmil Formasyonu'nu sınırlandırmaktadır. Kızılyaka Fayı Çameli Havzası'nı doğu kesimini oluşturur ve havzanın oluşumunda önemli rol oynar. Sol yanal oblik normal karaktere sahip bu fayın varlığı hem topografik olarak (Şekil 2) hem de Kalınkoz civarındaki temele ait melanj içerisindeki deforme kireçtaşları ile fay breşi sınırında rahatça tanımlanabilmektedir (Şekil 12). Bu fayın ve Çameli Havzası'nın güneybatı kesiminde bulunan Asar Fayı ise normal karaktere sahip bir faydır

(Şekil 10C). Fayın önünde Dirmil Formasyonu'na ait geniş bir alüvyal yelpaze yer almaktadır (Şekil 2).

Çameli Fayı, Çameli Havzası'nın batı kesiminde havzayı sınırlayan ve havzanın oluşumunda büyük rol oynayan sol yanal oblik normal faylardan biridir. Çameli Havzası'nın Kuvaterner dolgusu ile İbecik Formasyonu arasında sınır oluşturur. Fayın tavan bloğunu oluşturan birimler Çameli-Bıçakçı yolu üzerinde kuzeybatı yönünde yüzlekler vermektedirler (Şekil 13).



Şekil 12. Kızılyaka Fayı'nı gösteren temel ile fay breşi sınırı (Koordinat: 37°3'47.22''K 29°22'8.82''D).

Figure 12. Basement and fault breccia boundary indicating the Kızılyaka Fault (Coordinate: 37°3'47.22''N 29°22'8.82''E).



Şekil 13. Çameli'nin güneyinde, Çameli Fayı önündeki kuzeybatıya tiltlenmiş kil, silt, yamaç molozlarının deforme kesimlerinden bir görünüm (Elitez, 2010) (Koordinat: 37°4'0.00''K 29°20'39.30''D).

Figure 13. A view of the deformed part of the northwest dipping clay, silt, slope debris in front of Çameli ut at the south of Çameli (Elitez, 2010) (Coordinate: 37°4'0.00''N 29°20'39.30''E).



Çameli Havzası ve çevresinde gözlemlenen en yaygın fay türleri büyük (km) ve küçük (m) ölçekli normal ve sol yanal oblik normal faylardır. Büyük ölçekli faylara ait fay düzlemleri incelendiğinde genellikle KD-GB doğrultulu oldukları görülmektedir (Şekil 14). Saha ölçeğinde Miyosen yaşlı birimler içerisinde gözlemlenen küçük ölçekli faylarda da aynı durum söz konusu olmakla birlikte yer yer yaklaşık B-D ve KB-GD doğrultulu sol yanal oblik normal ve normal faylara da rastlanmaktadır (Şekil 15).

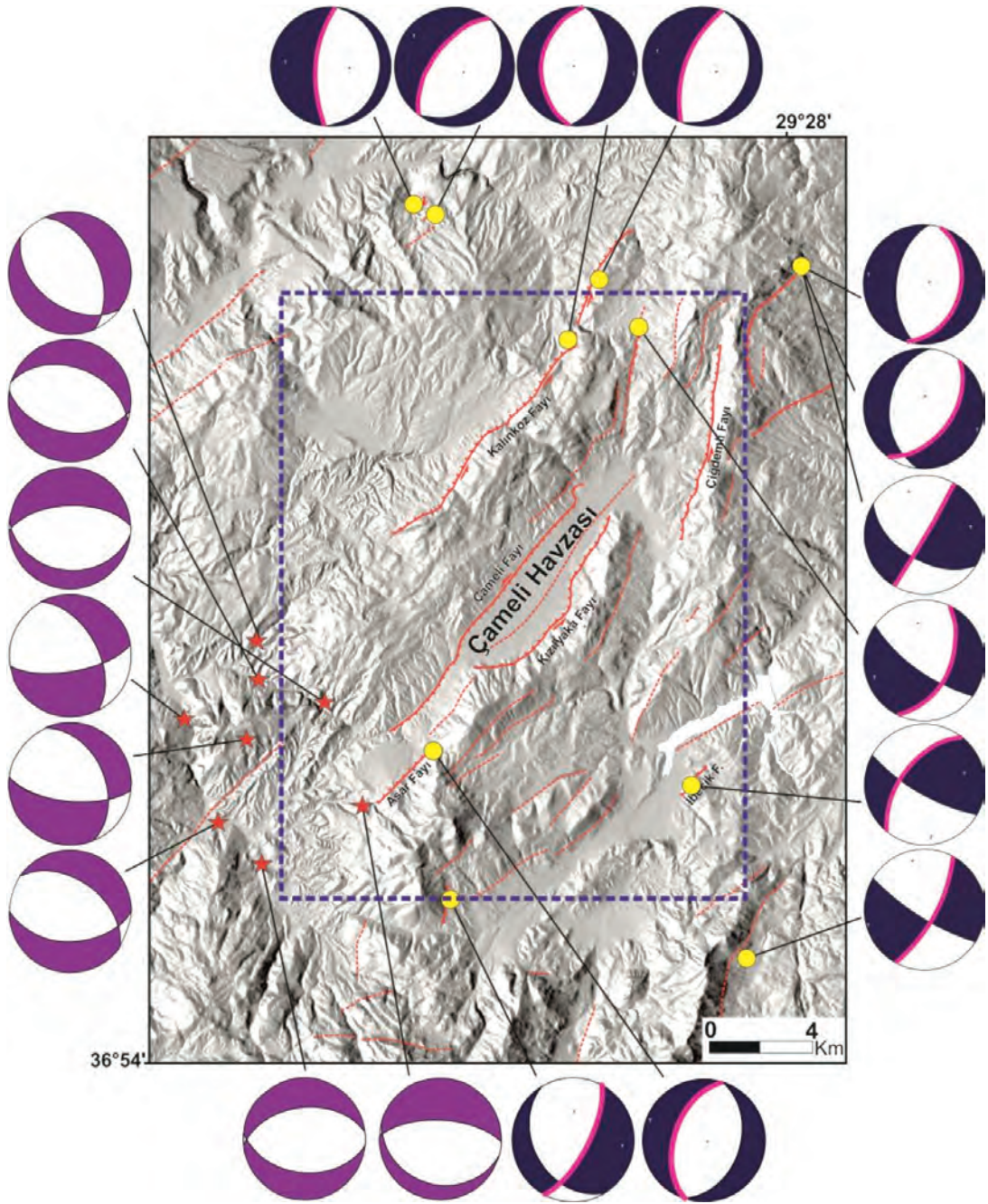
Büyük ve küçük ölçekli fay çözümleri bölgenin iki farklı gerilme sistemi etkisine maruz kaldığını göstermektedir. Bu sistemlerden bir tanesi KB-GD doğrultuludur ve havza çevresinde genellikle sol yanal bileşeni düşük normal fayların oluşumuna neden olmuştur. KD-GB doğrultulu olan diğer gerilme sistemi ise sol yanal oblik normal fayları oluşturmuştur.

Çameli Havzası günümüzde tektonik olarak oldukça önemli bir konuma sahiptir. Bölgede küçük ve büyük ölçekli birçok deprem meydana gelmektedir. 1970-2014 yılları arasında 3'ün üzerinde yaklaşık 169 deprem gerçekleşmiştir (USGS, 2014) (Şekil 16). 2007-2008 yılları arasında gerçekleşen 4 üzerinde büyüklüğe sahip 8 depremin gerçekleştiği fayların fay çözümleri incelendiğinde (Över vd., 2010) günümüzde bölgeye etki eden K-G ve KD-GB doğrultulu iki adet gerilme sistemi görülmektedir (Şekil 14).

Büyük ve küçük ölçekli fayların arazi ölçümlerinden yapılan fay çözümleri yanında

güncel depremlerin fay çözümleri dikkate alındığında KD-GB doğrultulu sol yanal ve sol yanal oblik normal faylar ile yaklaşık K-G doğrultulu normal faylar tipik bir sol yanal makaslama rejimini göstermektedir. Miyosen birimlerinin içinde bulunan küçük ölçekli KB-GD doğrultulu normal faylar ise ilerleyen sol yanal makaslama ile bu sistem içerisinde saatin tersi yöndeki rotasyonu göstermektedir (bkz. Şekil 15; yamulma elipsoidi rotasyonu). Yaklaşık K-G doğrultulu güncel gerilmelerin Hall vd. (2014) tarafından öne sürülen KD-GB doğrultulu gerilmeli genç bir sistem olan Gökova-Yeşilüzümlü Fay zonu'nun etkisi olduğu düşünülmektedir.

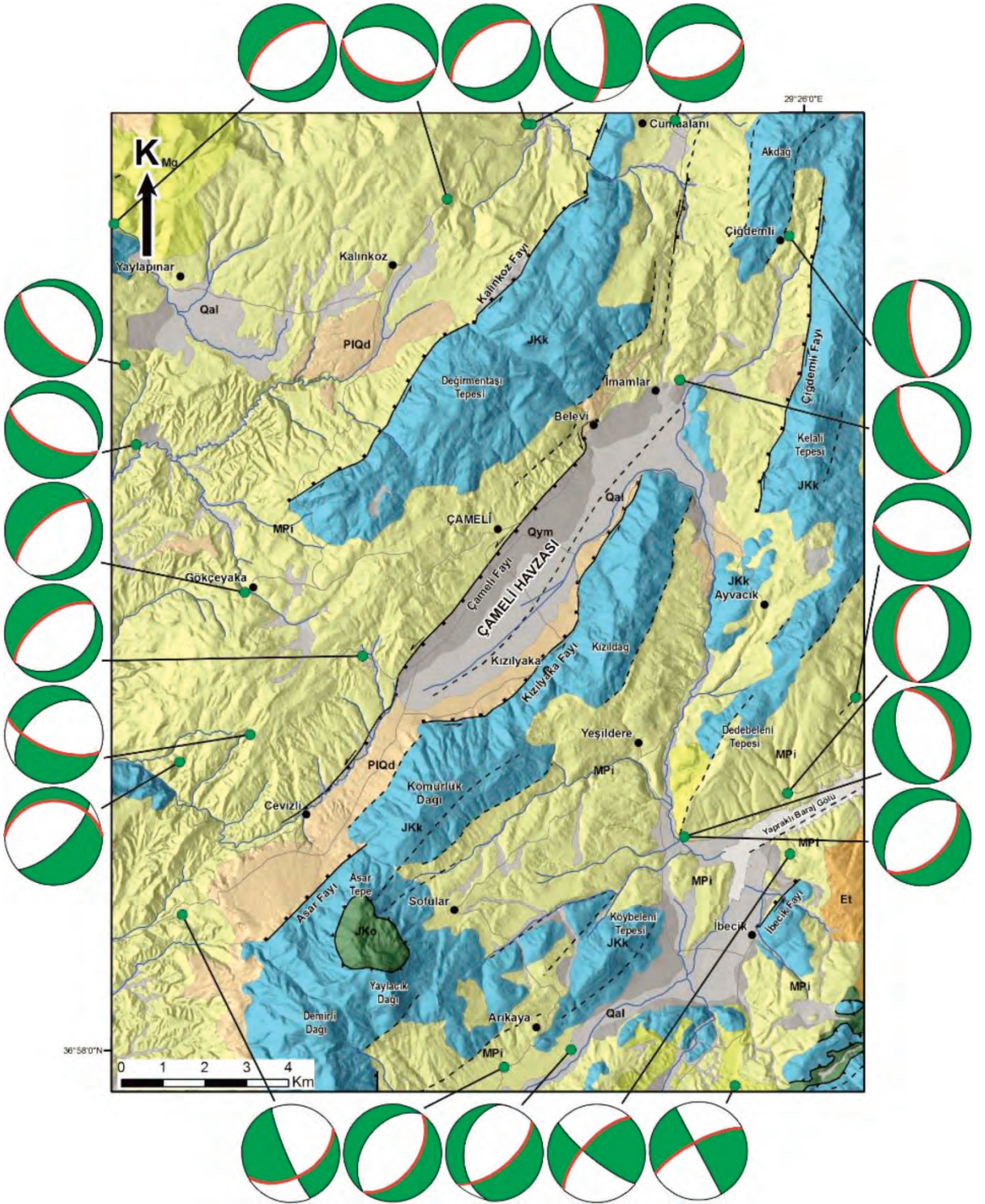
BFMZ gibi gerilme ve makaslanma etkisi altındaki bir sistemde kıvrım oluşumunu gözlemlemek de gereklidir. Fossen vd. (2013) transtansiyonel kıvrımlarla ilgili yaptıkları çalışmada basit makaslama için, kıvrım oluşumunun makaslanma zonuna  $<45^\circ$  olduğunu ve ileriki safhalarda rotasyon ile zona paralel konuma gelmeye başladığını belirtmektedirler. BFMZ üzerinde yaptığımız ölçümler sonucunda Neojen yaşlı birimler içerisinde toplam 239 adet tabaka ölçüsü alınmış ve bu ölçüler Schmidt ağına düşürülerek bölgedeki sıkışmanın ve kıvrım ekseninin doğrultusu belirlenmiştir (Şekil 17). Elde edilen sonuçlarda bölgede KB-GD bir sıkışma ve neredeyse zona paralel bir kıvrım eksenini gözlemlenmektedir. Bu da hem makaslanma hem de gerilme etkisinde olan bölgede karşılaşılabilecek olağan bir durumdur.



Şekil 14. Çalışma alanı ve çevresinin jeomorfolojik haritası. Lacivert kesikli çizgi çalışma alanının sınırını, sarı noktalar büyük ölçekli fay lokasyonlarını, kırmızı yıldızlar ise depremlerin merkez üssünü göstermektedir. Güncel depremlerin fay çözümleri mor, büyük ölçekli fay çözümleri lacivert renklerle gösterilmiştir. Fay çözümleri üzerindeki pembe çizgiler fay düzlemini göstermektedir (Deprem verileri: Över vd., 2010).

**Figure 14.** Geomorphologic map of the study and surrounding area. Dark blue dashed line indicates the boundary of study area. Yellow points indicate the locations of large scaled faults. Red stars indicate the epicenter of the earthquakes. Focal mechanism solutions of the earthquakes are shown as purple, fault plane solutions of large scaled faults are shown as dark blue. Pink lines on the fault plane solutions show the fault planes. (Earthquake data from Över et al., 2010).

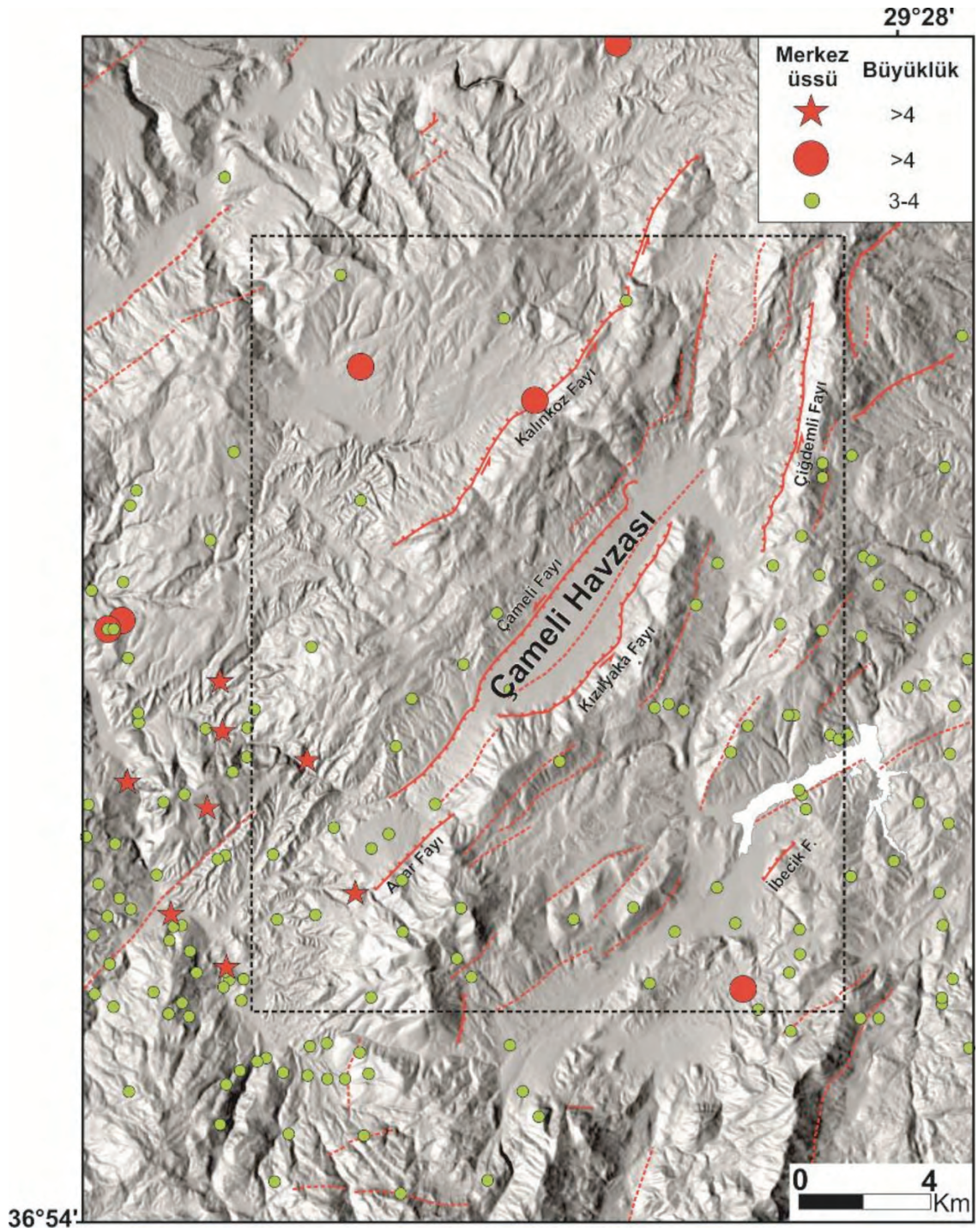




Şekil 15. Çalışma alanının jeoloji haritası ve birkaç küçük ölçekli Miyosen yaşlı fay düzlemi çözümleri. Fay çözümleri üzerindeki kırmızı çizgiler fay düzlemlerini göstermektedir.

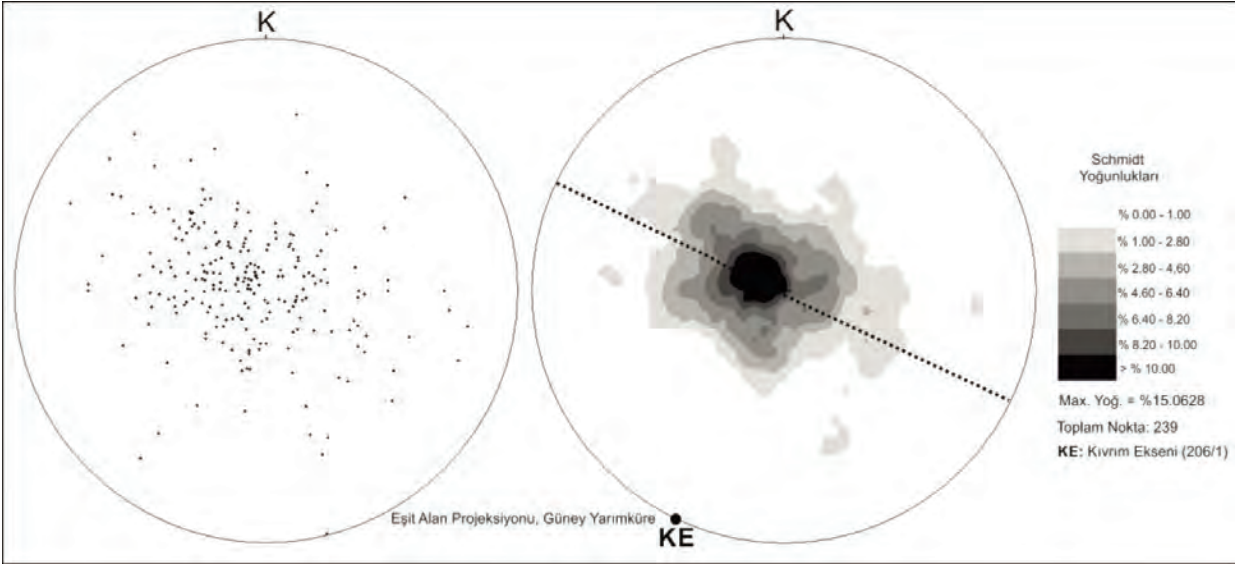
Figure 15. Geologic map of the study area and several fault plane solutions of small scale Miocene aged faults. The red lines on the fault plane solutions show the fault planes.





Şekil 16. Çalışma alanı ve çevresinin sismotektonik haritası. Siyah kesikli çizgi çalışma alanının sınırını göstermektedir. Yıldızlar bu çalışmada kullanılan depremlerin merkez üssüdür (Deprem verileri: Över vd, 2010; USGS).

Figure 16. Seismotectonic map of the study and surrounding area. Black dashed line indicates the boundary of study area. Red stars indicate the epicenters of earthquakes used in this study (Earthquake data: Över et al., 2010; USGS).



**Şekil 17.** Neojen birimler içerisinde ölçülen tabakaların kutup noktaları, yoğunluk diyagramı ve kıvrım eksenini (KE).

**Figure 17.** Poles of the bedding planes measured in the Neogene units, contour diagram and fold axis (KE).

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bölgeye bütüncül olarak bakıldığında Geç Eosen-Erken Miyosen döneminde Batı Toroslar'da sıkışma ve dağ oluşumu tektoniğini gösteren naplar K-G yönde bir sıkışma bulunduğunu gösterir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Bu sıkışma Batı Toroslar'ın halen yükselmesinin sağlamaktadır (Yaltırak vd., 2010). Orta-Geç Miyosen'de Arabistan Levhası'nın Anadolu Levhası'na bindirmesiyle Anadolu batıya doğru yanal harekete geçmiştir (Şengör, 1979). Isparta açısı batı ve doğu kanatlar boyunca, doğu ve batı yönlü eş zamanlı bindirmelerle bir Geç Miyosen sıkışma fazı olarak tanımlanır (Barka vd., 1995, 1997). Batı Toroslar ve Rodos Baseni'nin Geç Miyosen'den Erken-Orta Pliyosen'e kadar saatin tersi yöndeki dönüşü (Kissel ve Poisson, 1986) kıvrım-bindirme kuşağının yönelimini değiştirerek bölgede sol yanal geniş bir fay zonu oluşmasına neden olmuştur (Hall vd., 2009). Bu süreç içerisinde BFMZ üzerinde KD-GB doğrultulu birçok havza oluşmuştur.

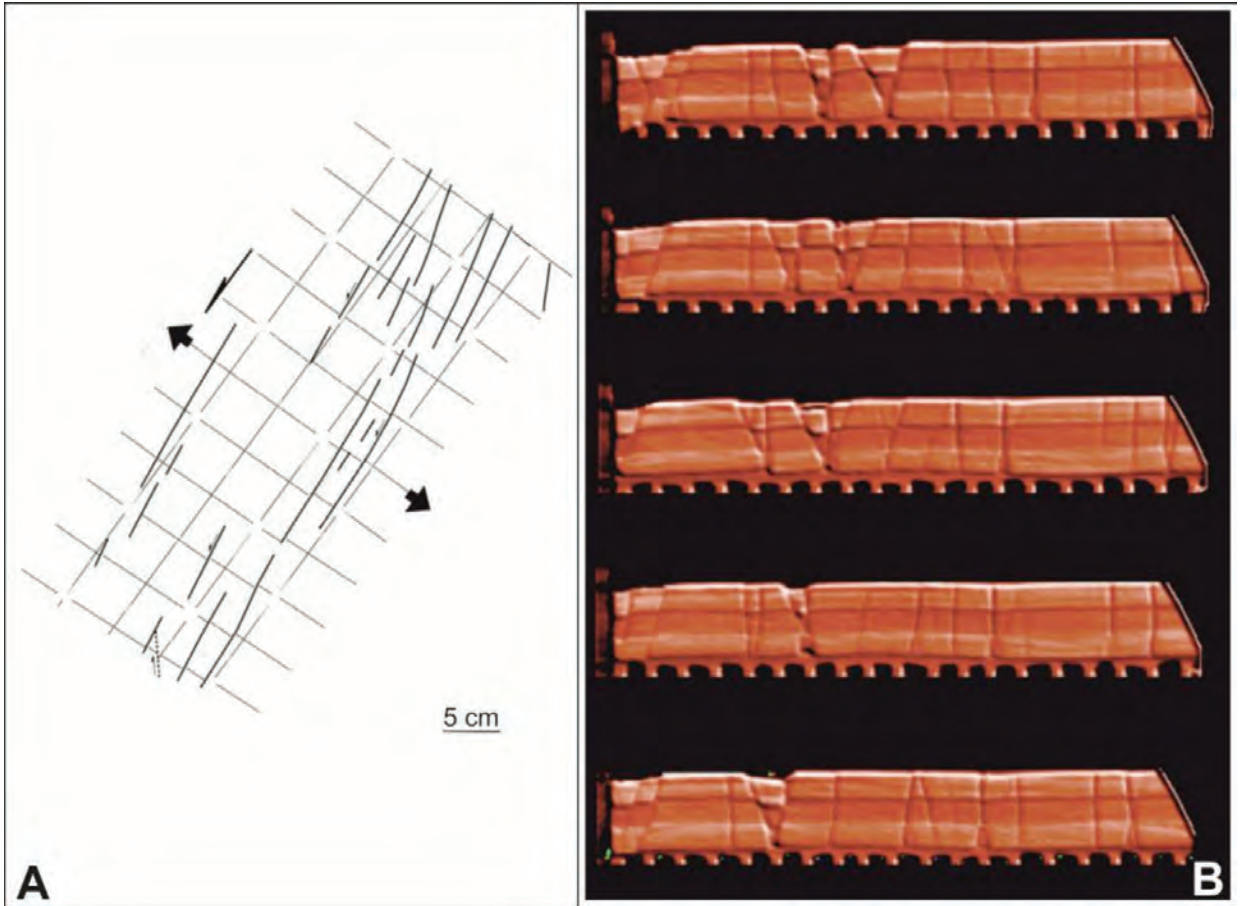
Bölgede yapılan ilk çalışmalarda Çameli Havzası ve çevresinin KD-GB doğrultulu KB-GD gerilme tektoniğinin etkisi altında oluşmuş bir graben olduğu düşünülmüştür (Alçıçek 2001; Alçıçek vd. 2002, 2004, 2005, 2006). Bu grabene Geç Miyosen-Geç Pliyosen yaşı verilmektedir. Över vd. (2010) Çameli Havzası'nın Geç Miyosen'de KB-GD gerildiğini ve daha sonra KD-GB gerilme sistemine geçtiğini düşünmektedir. KB-GD yönlü gerilmenin Kıbrıs yayı, KD-GB yönlü gerilmenin ise Helen Yayı'nın etkisi olduğunu ileri sürmektedirler. Ayrıca yazarlar bölgedeki KKD-GGB yönlü gerilmeyi de Gediz Grabeni'ni oluşturan sisteme bağlamaktadırlar. Bu çalışmada ise havzanın oluşumunun Orta Miyosen'den günümüze dek saatin tersine rotasyona uğrayan, aynı zamanda sol yanal karaktere sahip olan BFMZ'nun evrimiyle ilişkili olduğunu görmekteyiz.

Schreurs ve Colletta (1998, 2003) yaptıkları deney sonucunda sağ yanal makaslanma ve gerilme etkisindeki bir sistemde yanal atımlı



faylara paralel doğrultuda normal faylar oluştuğunu göstermişlerdir. Normal fayların eğimlerini ortalama 60-70 derece olarak belirlemişler ve dik yanal atımlı fayların deformasyon arttıkça oblik karakter kazandığını gözlemlemişlerdir. Bunun yanı sıra yer yer faylanma sonucunda küçük transtansiyonel havzalar oluştuğunu belirtmişlerdir (Şekil 18A ve 18B). Yazarların oluşturduğu model ve deney sonucunda elde ettikleri yanal atımlı ve normal faylar ile havza benzeri yapılar BFMZ'nun gelişimini destekler niteliktedir (Şekil 2B).

Çameli Havzası'nın bulunduğu bölge Miyosen'deki sıkışma etkisiyle yükselmeye başlamış (Şekil 19A), bu yükselme sonucu oluşan dağlar arasındaki çöküntü alanlarına Gölhisar Formasyonu'nun alt kesimlerini oluşturan iri taneli alüvyal yelpaze sedimanları gelmeye başlamıştır. Orta-Geç Miyosen'de bölgedeki sıkışma Isparta Açısı'nın oluşumu ile yerini sol yanal oblik bir harekete bırakmış (Şekil 19B) ve havza ortalarına doğru akarsu sedimanları çökelişi başlamıştır. Geç Miyosen'de akarsu sedimanlarının çökelişi yerini İbecik Formasyonu'na ait gölsel



**Şekil 18.** Schreuers ve Colleta (2003) tarafından oluşturulmuş transtansiyonel modelin sol yanal bir sisteme uyarlanmış şekli. **A.** Fay gelişimi **B.** Deney sonucu elde edilen dikey kesitler.

**Figure 18.** Modification of the transtension model of Schreuers and Colleta (2003) into a left lateral system. **A.** Fault evolution **B.** Vertical sections obtained from the experiment.



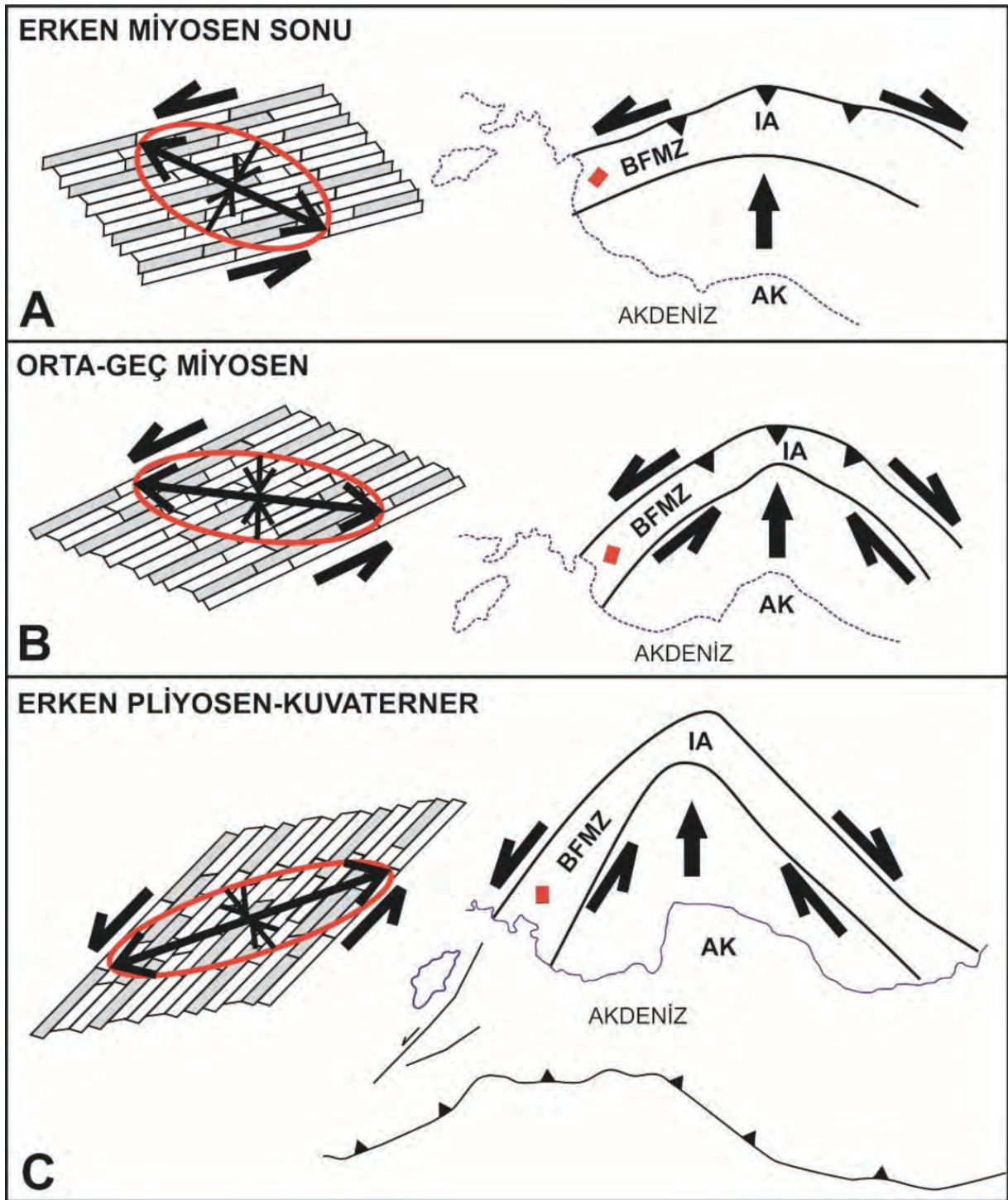
sedimanlara bırakmıştır. Messiniyen’de meydana gelen kuraklık dönemiyle göl ortamı yok olmuştur. Pliyosen’den itibaren bölgeye etki eden Helen Yayı ile ilişkili hale gelen sol yanal sistem gerilmeli bir karakter kazanmıştır (Şekil 19C). Üst Pliyosen-Kuvaterner arasında bölgedeki oblik normal fayların önünde alüvyal yelpaze birimleri çökelmiştir. Bölge günümüzde sol yanal gerilmeli bir makaslama sistemi hakimiyetindedir. Bunun yanında Hall vd. (2014) KD-GB gerilmeli genç bir sistem olan Gökova-Yeşilüzümlü Fay Zonu’nun Rodos Baseni ile ilişkili olarak günümüzde oluştuğu yönünde görüş bildirmektedir.

Çalışma alanına etki eden makaslama zonunun mekanizması birbirine paralel çok sayıda fayın oluşturduğu blokların birbirine nazaran hareketiyle açıklanabilir. Bu zon içerisinde gelişen yapıların saatin tersi yöndeki rotasyonu ile makaslama tektoniğinin etkileri dikkate alındığında Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fayları gibi dar bir zon yerine Schreurs ve Colletta (1998, 2003) tarafından deneysel olarak ispatlandığı gibi geniş bir alanda birbirine paralel faylar ile çalışan bir zon olduğu açıkça görülmektedir. Bu kadar geniş bir alanda makaslama olmasının en önemli nedeni bölgenin Paleojen öncesi temelinde ofiyolitik dilimler ile aralarında bulunan kireçtaşlarının neredeyse tamamının Burdur Fethiye Makaslama Zonu’nu oluşturmasıdır.

Bölgedeki KD-GB doğrultulu sol yanal oblik normal ve yaklaşık K-G doğrultulu normal faylar etkin bir sol yanal makaslama rejimini göstermektedir. Miyosen birimler içerisinde KD-GB, KB-GD ve yaklaşık B-D doğrultulu sol yanal oblik normal ve normal faylar gözlemlenmektedir. KB-GD doğrultulu faylar bu sistem içerisindeki saatin tersi yöndeki rotasyonun kanıtı olarak değerlendirilebilir.

Bu veriler doğrultusunda bölgedeki sol yanal gerilmeden kaynaklanan KD-GB yönlü gerilme açık şekilde görülmektedir. Makaslama zonunun oluşmasının en temel nedeni Miyosen-Pliyosen yaşlı birimlerin tabanında hakim olarak ofiyolitik melanj olması olabilir. Büyük ölçekli faylar ile havza sınırlarında melanj içerisindeki kireçtaşı blokları bulunması rijit alanlardaki fayların düzlemlerinin tanınmasını sağlamaktadır.

Güncel depremlerin fay çözümlerinde günümüzde bölgeye hakim KD-GB ve yaklaşık K-G doğrultulu olmak üzere iki tür gerilme dikkati çekmektedir. KD-GB doğrultulu faylar bölgedeki sol yanal makaslama ile uyumludur. Ancak K-G doğrultulu gerilmenin bu sisteme etki eden ikinci bir sistemden kaynaklandığı düşünülmekte, bunun da genç bir sistem olan Gökova-Yeşilüzümlü Fay Zonu (Hall vd., 2014) olabileceği öngörülmektedir.



Şekil 19. Burdur-Fethiye Makaslama Zonu'nun Erken Miyosen-Kuvaterner tektonik evrimi. Kırmızı dikdörtgen çalışma alanını göstermektedir (BFMZ: Burdur-Fethiye Makaslama Zonu, IA: Isparta Açısı; AK: Antalya Körfezi).

Figure 19. Miocene-Quaternary tectonic evolution of Burdur-Fethiye Shear Zone. Red rectangle shows the study area (BFMZ: Burdur-Fethiye Shear Zone, IA: Isparta Angle; AK: Antalya Gulf).

### Katkı Belirtme

Bu çalışma, İrem Elitez'in yüksek lisans tezi ile başlayan ve kapsamı Burdur Fethiye Makaslama Zonu'nun tamamına kadar genişletilen doktora tezinin verilerini içermektedir. Günay Çifçi yönetimindeki, TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y005 (2008-2012) projesine, İTÜ BAP Yüksek Lisans (2008-2010) ve Doktora (2013-2015) projelerine arazi çalışmalarındaki katkısından dolayı, hakemlere makalenin geliştirilmesi ile ilgili yapıcı katkıları için teşekkür ederiz.

### EXTENDED SUMMARY

*Çameli Basin is a NE-SW-trending intermontane basin located on Burdur-Fethiye Shear Zone (BFSZ) in the southwestern Anatolia (Figure 1). BFSZ is an active left-lateral shear system. Its length is about 310 km and its average width is 40 km (Elitez ve Yaltırak, 2014). It is situated between the eastern Aegean extensional province, the Hellenic Arc and the Isparta Angle and characterized by the Middle-Miocene-Quaternary aged NE-SW-trending faults and basins. Çameli Basin is also one of these basins.*

*The basement of the Çameli Basin consists of Jurassic-Cretaceous aged ophiolites, recrystallized limestones and partly clastic rocks, which are known as Lycian Nappes, and the Eosen aged turbidites which cover them unconformably. The ophiolitic melange and limestones are observed on the topographically high areas of the study field and the Eocene aged turbidites crop out on the south of the Yapraklı Lake (Figure 2).*

*Middle-Lower Miocene aged Gölhisar Formation (Mg) that consists of meander and braided river deposits is located unconformably on this basement (Figure 3). This unit is composed of grey conglomerate, sandstone, claystone and shalestone (Figure 4).*

*Gölhisar Formation displays lateral and vertical transition to Upper Miocene-Lower Pliocene aged İbecik Formation (Figure 3). İbecik Formation consists of a swallow and warm lacustrine and shore facies sediments; white, yellowish white and beige clay, sandy limestone, marl, clayey limestone and thick bedded limestones. The gastropods are abundant in the unit. The wine-coloured carbonated, marly caliche and gypsum beddings that indicate an arid climate environment exist on the top of the unit (Figure 8). It is reasonable that the sedimentation time of these levels are directly related to Messinian crisis.*

*Dirmil Formation that is characterized by Upper Pliocene-Lower Quaternary aged oxidized alluvial fan deposits overlies unconformably on İbecik Formation (Figure 6). It is composed of conglomerate, mudstone, silt and clay. Recent alluvium deposits settled unconformably on this unit.*

*The common fault types around Çameli Basin are NE-SW-trending small and large-scale normal and left-lateral oblique normal faults. In addition to that fault, NE-SW, NW-SE and almost N-S-trending left lateral oblique normal and normal faults exist in the Miocene aged sediment. All these faults indicate two different extension in the region. One of these is NW-SE extension that generally produced the normal faults. The other NE-SW extension generated the left-lateral oblique normal faults.*

*The recent tectonic activity on the region shows that the region is under the influence of NE-SW and almost N-S extension. When considering the fault plane solutions of the earthquakes and small and large scale faults (Figure 14 and 15), NE-SW-trending left lateral and left lateral oblique normal faults and almost N-E-trending normal faults indicate a typical left lateral shear regime.*

*The development mechanism of Çameli basin began with a compressional regime in the Early Miocene and followed by a left lateral movement in the Middle-Late Miocene. The basin is still situated within a Pliocene-Recent aged predominantly left lateral extensional regime (Figure 19).*

## KAYNAKLAR

- Akyüz, H.S. ve Altunel, E., 1997. 417 Cibyra depremi: Burdur-Fethiye Fay Zonu'nun sol-yanal hareketine ait veriler (GB Anadolu). Aktif Tektonik Araştırma Grubu Birinci Toplantısı, İTÜ, İstanbul, 8-9 Aralık 1997, 161-170.
- Akyüz, H.S. ve Altunel, E., 2001. Geological and archaeological evidence for post-Roman earthquake surface faulting at Cibyra, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 14, 95-101.
- Alçıçek, M.C., 2001. Çameli Havzasının Sedimentolojik İncelenmesi (Geç Miyosen-Geç Pliyosen, Denizli, GB Anadolu). Ankara Üniversitesi Fen Bil. Enst., Ankara, Doktora Tezi, 110 s.
- Alçıçek, M.C., Kazancı, N., Çemen, I., ve Özkul, M., 2002. Strike-slip faulting in the Çameli basin, southwestern Turkey: implications for inland transform prolongation of the Hellenic subduction zone. Denver Annual Meeting, 27-30 October 2002.
- Alçıçek, M.C., Kazancı, N., Özkul, M. ve Şen, Ş., 2004. Çameli (Denizli) Neojen Havzasının Tortul Dolgusu ve Jeolojik Evrimi. *MTA Dergisi*, 128, 99-123.
- Alçıçek, M.C., Kazancı, N. ve Özkul, M., 2005. Multiple rifting pulses and sedimentation pattern in the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology*, 173, 409-431.
- Alçıçek, M.C., Kazancı, N. ve Özkul, M. 2005. Üst Miyosen-Üst Pliyosen Çameli Formasyonu'nun litostratigrafisi ve alt bölümleri, Çameli Havzası, GB Anadolu. Türkiye Stratigrafi Komitesi 5. Çalıştayı. Batı Anadolu Tersiyer Karasal Çökellerinin Litostratigrafik Adlamaları, 5-6 Mayıs, 1-2, Ankara.
- Alçıçek, M.C. ve Özkul, M., 2005. Extensional faulting induced tufa precipitation in the Neogene Çameli Basin of southwestern Anatolia, Turkey. *Proceeding of the First International Symposium on Travertines and Technologies Exhibition, Denizli, Türkiye*, 21-25 Eylül 2005, 120-127.
- Alçıçek, M.C., Veen, J.H.T. ve Özkul, M., 2006. Neotectonic development of the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey. In: Robertson, A.H.F. and Mountrakis, D. (eds), Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region. Geological Society, London, Special Publications, 260, 591-611.
- Altınlı, E., 1955. Denizli güneyinin jeolojik incelemesi. İstanbul Üniversitesi Fen Fak. Mecmuası B.XX, 1/2, 1-47.
- Barka, A.A., 1992. The north Anatolian fault zone, *Annales Tectonicae Sp. Publ.*, 6, 164-195.
- Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. ve Şengör, C., 1995. The Isparta Angle: Its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region*, O. Pişkin, M. Ergun, Y. Savaşçın, G. Tarcan (Eds.), 3-18, 9-14 Ekim 1995, İzmir - Göllük, Türkiye.
- Barka, A., Reilinger, R., Saroğlu, F. ve Şengör, A.M.C., 1997. The Isparta Angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region (IESCA-1995)*, Proceedings 1, 3-17.
- Becker-Platen, J.D., 1970. Lithostratigraphische Untersuchungen im Kanozoikum Südwet Anotoliens (Türkei)-(Kanozoikum und Braunkahlen der Türkei). *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*, 97, 244.
- Bozcu, M., Yağmurlu, F. ve Şentürk, M., 2007. Fethiye-Burdur Fay Zonunun Bazı Neotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri, GB-Türkiye. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31(1), 25-48.
- Brunn, J. H., de Graciansky, P. C., Gutnic, M., Juteau, T., Lefevre, R., Marcoux, J., Monod, O. ve Poisson, A., 1970. Structures majeures et corrélations stratigraphiques dans les Taurides occidentales. *Bulletin de la Societe geologique de France*, 3, 515-556.
- Collins, A. S. ve Robertson, A. H., 1997. Lycian melange, southwestern Turkey: an emplaced Late Cretaceous accretionary complex. *Geology*, 25(3), 255-258.
- Collins, A. S. ve Robertson, A. H., 1998. Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey. *Journal of the Geological Society*, 155(5), 759-772.
- Çağlar, M.F. ve Şahin, Ş., 2003. Artificial Neural Network Magnitude Prediction on the Burdur Fault Activities. *International Conference on Earth Sciences and Electronics-2003*, 1-12.
- 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.
- Elitez, İ., 2010. Çameli ve Gölhisar Havzalarının Miyosen-Kuvaterner Jeodinamiği, Burdur-Fethiye Fay Zonu, GB



- Türkiye. İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 72 s (yayınlanmamış).
- Elitez, İ., Yaltırak, C. ve Akkök, R., 2009. Morphotectonic Evolution of the Middle of Burdur-Fethiye Fault Zone: Acıpayam, Gölhisar and Çameli Area, SW Turkey. International Symposium on Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region 500th Anniversary Year of the 1509 September 10 Marmara Earthquake, 10-12 Eylül 2009, İstanbul, Proceedings, 296-297.
- Elitez, İ., Yaltırak, C. ve Akkök, R., 2011. Çameli, Gölhisar ve Acıpayam Havzalarının Miyosen-Kuvaterner Jeodinamisi, Burdur-Fethiye Fay Zonu, GB Türkiye. 64. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 25-29 Nisan 2011, Ankara.
- Elitez, İ., ve Yaltırak, C., 2014. Burdur-Fethiye Shear Zone (Eastern Mediterranean, SW Turkey). General Assembly European Geosciences Union (EGU), 27 Nisan-2 Mayıs 2014, Viyana, Avusturya.
- Erakman, B., Meşhur, M., Gül, M.A., Alkan, H., Öztaş, Y. ve Akpınar, M., 1982. Toros projesine bağlı Kalkan-Köyceğiz-Çameli-Tefenni arasında kalan alanın jeolojisi ve hidrokarbon olanakları raporu. Türkiye Doğalgaz ve Petrol Anonim Ortaklığı (TPAO), Ankara, Teknik Rapor, 1732.
- Erdoğan, S. ve Şahin, M., 2006. Burdur Fethiye fay zonu tektonik hareketlerinin GPS ile belirlenmesi. İTÜ Dergisi, 5, 135-141.
- Erdoğan, S., Şahin, M., Yavaşoğlu, H., Tiryakioğlu, I., Erden, T., Karaman, H., Tari, E., Bilgi, S., Tüysüz, O., Baybura, T., Taktak, F., Telli, A.K., Güllü, M., Yılmaz, I., Gokalp, E. ve Boz, Y., 2008. Monitoring of deformations along Burdur Fethiye fault zone with GPS. Journal of Earthquake Engineering, 12, 109-118.
- Ersoy, Ş., 1989. Fethiye (Muğla)-Gölhisar (Burdur) arasında Güneydağı ile Kelebekli Dağ ve dolaylarının jeolojisi. İÜ. Fen Bilimi Ens., İstanbul, Doktora Tezi, 246 s. (yayınlanmamış).
- Eyidoğan, H. ve Barka, A., 1996. The 1 October 1995 Dinar earthquake, SW Turkey. Terra Nova, 8(5), 479-485.
- Fossen, H., Teyssier, C. ve Whitney, D. L., 2013. Transtensional folding. Journal of Structural Geology, 56, 89-102.
- Glover, C. ve Robertson, A., 1998. Neotectonic intersection of the Aegean and Cyprus tectonic arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta Angle, SW Turkey. Tectonophysics, 298, 103-132.
- Göktaş, F., 1990. Denizli M22-b1, b2, b3 paftalarının jeolojisi. MTA Rap. No. 9114, Ankara (yayınlanmamış).
- Gürer, A., Bayrak, M. ve Gürer, O.F., 2004. Magnetotelluric images of the crust and mantle in the southwestem Taurides, Turkey. Tectonophysics, 391, 109-120.
- Hall, J., Aksu, A.E., Elitez, I., Yaltırak, C. ve Çifçi, G., 2014. The Fethiye-Burdur Fault Zone: A component of upper plate extension of the subduction transform edge propagator fault linking Hellenic and Cyprus Arcs, Eastern Mediterranean. Tectonophysics, doi: 10.1016/j.tecto.2014.05.002
- Hall, J., Aksu, A.E., Yaltırak, C. ve Winsor, J.D., 2009. Structural Architecture of the Rhodes Basin: A Deep Depocentre that Evolved since the Pliocene at the Junction of Hellenic and Cyprus Arcs, Eastern Mediterranean. Marine Geology, 258, 1-23.
- Kalyoncuoğlu, Ü.Y. ve Özer, M.F., 2003. Isparta Sismograf İstasyonu Altındaki Kabuk Yapısının Belirlenmesi: DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 111-127.
- Kara, H., 1976. Acıpayam (Denizli) ovasının ve civarındaki Neojen havzalarının jeolojik etüdü, MTA Enst., Derleme Rap. No: 6153 (yayınlanmamış).
- Kazancı, N., Alçiçek, M.C., Özkul, M., Şen, Ş. ve Erten, H., 2002. Çameli Neojen Havzasının sedimantolojisi. Proje kesin raporu, TÜBİTAK-YDABAG 100 Y 004, 119 s., Ankara.
- Kissel, C. ve Poisson, A., 1986. Etude paleomagnetique prelininaire des formations Cenozoique des Bey Dağları (Taurides occidentales - Turquie). C.R. Acad. Sci., Paris, 302 Ser. 11(8), 343-348.
- Meşhur, M. ve Akpınar, M., 1984. Yatağan-Milas-Bodrum-Karacasu-Kale-Acıpayam-Tavas civarının jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Rap. No: 1963 (yayınlanmamış).
- Meşhur, M. ve Yoldemir, O., 1983. Köyceğiz (Muğla)-Datça (Muğla)-Yatağan (Muğla)-Kale (Denizli) arasında kalan alanın jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Rap. No. 1847 (yayınlanmamış).
- Ocakoglu, N., 2011. Investigation of Fethiye-Marmaris Bay (SW Anatolia): seismic and morphologic evidences from the missing link between the Pliny Trench and the Fethiye-Burdur Fault Zone. Geo-Marine Letters, 32, 17-28.
- Önal, M., 1979. Elmalı-Kaş (Antalya) arasındaki bölgenin jeolojisi. İÜ. Fen Fakültesi Monografileri, 29, İstanbul, Doktora Tezi, 140 s (yayınlanmamış).
- Över, S., Pınar, A., Özden, S., Yılmaz, H., Ünlügenç, U. C. ve Kamacı, Z., 2010. Late cenozoic stress field in the Cameli Basin, SW Turkey. Tectonophysics, 492(1), 60-72.
- Över, S., Yılmaz, H., Pınar, A., Özden, S., Ünlügenç, U.C. ve Kamacı, Z., 2013. Plio-Quaternary Stress State in the Burdur Basin, SW-Turkey. Tectonophysics, 588, 56-68.

- Özkaptan, M., Koç, A., Lefebvre, C., Gülyüz, E., Uzel, B., Kaymakçı, N., Langereis, C.G., Özacar, A.A. ve Sözbilir, H., 2014. Kinematics of SW Anatolia implications on crustal deformation above slab tear. General Assembly European Geosciences Union (EGU), 27 Nisan-2 Mayıs 2014, Viyana, Avusturya.
- Paradisopoulou, P.M., Papadimitriou, E.E., Karakostas, V.G., Taymaz, T., Kiliç, A. ve Yolsal, S., 2010. Seismic Hazard Evaluation in Western Turkey as Revealed by Stress Transfer and Time-dependent Probability Calculations. *Pure and Applied Geophysics*, 167, 1013-1048.
- Paton, S., 1992. The relationship between extension and volcanism in western Turkey, the Aegean Sea and central Greece. Cambridge Üniversitesi, Doktora Tezi, 300 s (yayınlanmamış).
- Pınar, A., 1998. Source inversion of the October 1, 1995, Dinar earthquake ( $M_s = 6.1$ ): a rupture model with implications for seismotectonics in SW Turkey. *Tectonophysics*, 292(3), 255-266.
- Savaşçın, M.Y. ve Oyman, T., 1998. Tectono-Magmatic Evolution of Alkaline Volcanics at the Kırka-Afyon-Isparta Structural Trend, Sw Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7, 201-214.
- Schreurs, G. ve Colletta, B., 1998. Analogue modelling of faulting in zones of continental transpression and transtension. In: Holdsworth, R.E., Strachan, R.A., Dewey, J.F. (Eds.), *Continental Transpressional and Transtensional Tectonics*. Geological Society Special Publications 135, 59-79.
- Schreurs, G. ve Colletta, B., 2003. Analogue modelling of continental transpression. In: Schellart, W.P., Passchier, C. (Eds.), *Analogue Modelling of Large-scale Tectonic Processes*. *Journal of the Virtual Explorer* 7, 103-114.
- Şenel, M., 1997. MTA Genel Müdürlüğü, 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Denizli-K9 Paftası, No:17, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şengör, A. M. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3), 181-241.
- Şengör, A.M.C., 1979. The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Jour. Geol. Soc. London*. vol. 136, 269-282.
- Similox-Tohon, D., Vanneste, K., Sintubin, M., Mucchez, P. ve Waelkens, M., 2004. Two-dimensional resistivity imaging: a tool in archaeoseismology. An example from ancient Sagalassos (SW Turkey). *Archaeological Prospection*, 11, 1-18.
- Sintubin, M., Mucchez, Ph., Similox-Tohon, D., Verhaert, G., Paulissen, E. ve Waelkens, M., 2003. Seismic catastrophes at the ancient city of Sagalassos (SW Turkey) and their implications for the seismotectonics in the Burdur-Isparta area. *Geological Journal*, 38, 359-74.
- ten Veen, J.H., 2004. Extension of Hellenic forearc shear zones in SW Turkey: the Pliocene-Quaternary deformation of the Esen Cay Basin. *Journal of Geodynamics*, 37, 181-204.
- ten Veen, J.H., Boulton, S.J. ve Alcicek, M.C., 2008. From palaeotectonics to neotectonics in the Neotethys realm: The importance of kinematic decoupling and inherited structural grain in SW Anatolia (Turkey). *Tectonophysics*, 473, 261-281.
- USGS (U.S. Geological Survey), 2014. <http://earthquake.usgs.gov>, 24 Mart 2014.
- Verhaert, G., Mucchez, P., Sintubin, M., Similox, Tohon, D., Vandycke, S., Keppens, E., Hodge, E.J. ve Richards, D. A., 2004. Origin of palaeofluids in a normal fault setting in the Aegean region. *Geofluids*, 4(4), 300-314.
- Verhaert, G., Similox-Tohon, D., Vandycke, S., Sintubin, M. ve Mucchez, P., 2006. Different stress states in the Burdur-Isparta region (SW Turkey) since Late Miocene times: a reflection of a transient stress regime. *Journal of Structural Geology*, 28, 1067-1083.
- Yağmurlu, F. ve Şentürk, M., 2005. Güneybatı Anadolu'nun Güncel Tektonik Yapısı. Türkiye Kuvaterner Sempozyumu, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 2-5 Haziran 2005, İstanbul, 55-61.
- Yağmurlu, F., Savaşçın, Y., ve Ergün, M., 1997. Relation of alkaline volcanism and active tectonism within the evolution of the Isparta Angle, SW Turkey. *The journal of geology*, 105(6), 717-728.
- Yalıtırak, C., Elitez, İ., Aksu, A., Hall, J., Çiftçi, G., Dondurur, D., Akkök, R., Küçük, M. ve Güneş, P., 2010. The Relationship and Evolution of the Burdur-Fethiye Fault Zone, the Rhodes Basin, Anaximander Seamounts, the Antalya Gulf and the Isparta Angle since Miocene to Recent in Tectonics of the Eastern Mediterranean. 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 5-9 Nisan 2010, Ankara.
- Yalıtırak, C., İşler, E. B., Aksu, A. E., ve Hiscott, R. N., 2012. Evolution of the Bababurnu Basin and shelf of the Biga Peninsula: western extension of the middle strand of the North Anatolian Fault Zone, Northeast Aegean Sea, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 57, 103-119.

---

Makale Geliş Tarihi : 01.04.2014  
Kabul Tarihi : 20.06.2014

Received : 01.04.2014  
Accepted : 20.06.2014







## TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ

### YAZIM KURALLARI

#### Yazıların hazırlanması

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ'nin yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. 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.

Yazılar, aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır.

- (a) **Başlık** (Türkçe ve İngilizce)
- (b) **Yazar adları** (koyu ve tamamı 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 ve Öneriler"**
- (h) **"Extended summary"/"genişletilmiş özet"**
- (i) **Katkı Belirtme** (gerekliyorsa)
- (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 cm x 21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlardan en az 2.5 cm boşluk bırakılarak, 1.5 cm aralıkla ve 12 puntuyla (Times New Roman) yazılmalı, ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

**Başlıklar şu şekilde olmalıdır:**

**ÖZ**

**ABSTRACT**

**GİRİŞ**

**ANA BAŞLIK**

**Birinci Derece Alt Başlık**

**İkinci derece alt başlık**  
**Üçüncü derece alt başlık**  
**SONUÇLAR VE TARTIŞMA**  
**GENİŞLETİLMİŞ ÖZET**  
**KATKI BELİRTME**  
**KAYNAKLAR**

**Kapak Sayfası**

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır.

- Yazının başlığı
- Yazar(lar)ın ad(lar)ı (ad ve soyadı kısaltılmadan)
- Tüm yazarların açık posta ve e-mail adresleri (Başvurulacak Yazar belirtilerek). Başvurulacak yazarın faks ve telefon numaraları 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 harf olacak şekilde) izlemelidir. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise, İngilizce başlık Türkçe başlıktan önce ve yukarıda belirtilen yazım kuralına göre verilmelidir.

Yazarlara ilişkin bilgi ise aşağıdaki örneğe uygun olarak verilmelidir:

Ahmet Ahmetoğlu                      Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,  
Tandoğan 06100 Ankara  
A. Hüsnü Hüsnüoğlu                 MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdler Dairesi, 06520 Ankara  
(e-posta: husnu56@mta.gov.tr)

**ÖZ**

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, İngilizce olarak verilmelidir. Türkçe hazırlanmış yazılarda Öz'den sonra "Abstract" (italik) yer almalı, İngilizce yazılarda ise italik yazılmış Türkçe Öz Abstract'ı izlemelidir.

**Anahtar Kelimeler**

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

**EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET**

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

**DEĞİNİLEN BELGELER**

(aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır)

**(a) Süreli yayınlar :**

Hoek, E. ve David, M., 1990. Estimating Mohr - Coulomb friction and cohesion values from Hoek - Brown failure criterion. International Journal of Rock Mechanics, 27(3), 220 - 229.

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin başlığı. Süreli Yayının Adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), sayfa no.

**(b) Bildiriler:**

Ünal, E., Özkan, İ. ve Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. ISRM Symposium: Eurock'92 - Rock Characterization, Chester, U.K., 14-17 September 1992, J.A.Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editör(ler) varsa, Basımevi,

Cilt/Sayı No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa), Düzenlendiği Yerin Adı, sayfa no.

**(c) Kitaplar:**

Goodman, R.E., 1988. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, New York, 562 s.  
Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869, 520 s. Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın Adı (ilk harfleri büyük). Yayınevi, Basıldığı Şehrin Adı, sayfa sayısı.

**(d) Raporlar ve Tezler:**

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

Sönmez, H., 1996. T.K.İ.-E.L.İ. Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 99 s (yayınlanmamış).

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya tezin başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa), sayfa sayısı (yayınlanıp,yayınlanmadığı)

**(e) Kişisel Görüşme:**

Sözbilir, H., 2005. Personal communication. Geological Engineering Department of 9 Eylül University, İzmir, Turkey.

**(f) İnternette İndirilen Bilgiler:**

ERD (Earthquake Research Department of Turkey), 2005. <http://www.gov.tr>, 3 April 2005. Kurumun Adı , Tarih. Web adresi, Web adresine girildiği tarih.

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.

**Eşitlikler ve Formüller**

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

Burada; makaslama dayanımı, c kohezyon, normal gerilme ve içsel sürtünme açısıdır". Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin;  $I_d$ ,  $x_2$ ). Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (örneğin;  $c_{mass} = s0.5$ ). Çarpım işlemi göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda "\*" işareti tercih edilmelidir (örneğin;  $y = 5 \cdot 10^{-3}$ ). 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 eşitlikler "eşitlik (1)" şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekliyse, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.



### Çizelgeler

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte, Dergi'nin sayfalarındaki baskı alanını (15.8 cm x 22.5 cm) aşmayacak şekilde hazırlanmalı ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısmında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır (Çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir). Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı, İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, "Çizelge 1" vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler, metinde kullanılan karakterlerden daha küçük (10 veya 11 punto) karakterle yazılmalı ve Dergi'nin tek (7.3 cm-Genişlik) veya çift (15.8 cm-Genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir. Çizelgelerde düşey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için Dergi'nin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalara bastırılarak metnin sonunda (Kaynaklar dizininin sonra) sunulmalıdır. Çizelgelerdeki kısaltma ve simgeler daha küçük karakterlerle çizelgelerin altında verilmelidir (örneğin; c: tek eksenli sıkışma dayanımı; II: illit;...vd.).

### Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak "Şekil" başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekiller orijinal çıktılar olup, ayrı sayfalara bastırılarak ve katlanmadan gönderilmelidir. Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalı, ayrıca şekiller küçültülüp büyütülebilecek halde sunulmalıdır. Şekil açıklamaları; şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya bastırılarak "Şekiller Dizini" başlığıyla verilmeli, ayrıca "Şekil 1." olarak başlamalıdır. Çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe, hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Ayrı sayfalara bastırılmış olan şekiller, çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15.8 cm (Genişlik) x 22.5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin Dergi'nin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir. Katlanmış şekiller ile renkli şekiller Dergi'ye kabul edilmez. Özellikle haritalar, araziyle 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 yerelmalıdır. 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 değerlendirilmeli ve parlak kağıda basılmış orijinal halde verilmelidir. Levha sayısı mümkün olduğunca az tutulmalıdır. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

### MAKALELERİN EDİTÖRLÜĞE GÖNDERİLMESİ

Makaleler yazım kurallarına uygun şekilde hazırlandıktan sonra [www.jmo.org.tr](http://www.jmo.org.tr) adresi üzerinden elektronik olarak sisteme yüklenmeli yada doğrudan aşağıdaki e-posta adresine gönderilmelidir.

### TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ EDİTÖRÜ

Prof. Dr. Orhan TATAR

Tel : 0346-219 1010 / 1548

e-posta : [orhantatar@gmail.com](mailto:orhantatar@gmail.com)

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

Yazarlar, makalelerinin yayıma kabulü halinde, makalenin düzeltilmiş son kopyasını orijinal çıktısıyla birlikte CD'ye de kopyalayarak (metin, çizelgeler ve tablolar) Editör'e göndermelidir. Levhalar iyi kalitede basılmış olarak gönderilmelidir. Metin, çizelgeler ve şekiller elektronik ortamda (internet aracılığıyla) gönderilmemelidir. Makaleler WORD ile hazırlanmalıdır. Diskin üzerinde yazarların adları, kullanılan yazım programının adı ve versiyonu, makalenin başlığı ve dosyanın adı belirtilmelidir. Levhalar hariç, tüm şekiller Corel Draw ile hazırlanmalıdır. Bununla birlikte, şekillerin 300 dpi'dan az olmamak koşuluyla JPG dosyaları da 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 bir duruma getirebilecek değişiklikler ve düzeltmeler yapması kabul edilmez. Prova baskılar, yazarlar tarafından alındıktan sonra en geç üç gün içinde Editör'e gönderilmelidir. Gecikmeli olarak yapılacak düzeltmelerin baskıya verilmesi garanti edilmeyeceği için, yazarların prova baskıları göndermeden çok dikkatli şekilde kontrol etmeleri önerilir.

### **AYRI BASKILAR**

Makalenin onbeş ayrı baskısı, makalenin basıldığı sayı ile birlikte ücretsiz olarak Başvurulacak Yazar'a gönderilir. İlave ayrı baskı talep edilmemelidir.

### **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, yazar(lar)ın makalenin sahibi olma haklarından vazgeçtiği anlamına gelmemektedir. Telif Hakkı Devir Formu, en kısa sürede Editör'e gönderilmelidir. Bu form Editör'e ulaştırılıncaya değin, makale yayıma kabul edilmiş olsa bile, baskıya gönderilmez.



## GEOLOGICAL BULLETIN OF TURKEY

### INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS

#### 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. Papers 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.

Manuscripts should generally be structured as follows:

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

The various levels of headings used in the manuscript should be clearly differentiated. All headings should be in left-aligned. Major headings should be bold capitals. Secondary headings should be considered as sub-headings. Primary- and secondary-subheadings should be given in lower-case and tertiary headings in italics. Headings should not be preceded by numerals or letters. Manuscripts (abstract, main text, acknowledgments, 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**





**(b) Proceedings and Abstracts:**

Ünal, E., Özkan, İ. ve Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. ISRM Symposium: Eurock'92 - Rock Characterization, Chester, U.K., 14-17 September 1992, J.A.Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.

Author(s), Date. Title of paper. Title of Symposium or Congress, Name of Editor(s), Name and Location of Publisher, Vol. (if any), pages

**(c) Books:**

Goodman, R.E., 1988. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, New York.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869.

Author(s), Date. Name of Book. Name and Location of Publisher

**(d) Unpublished Reports and Thesis:**

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234. (yayınlanmamış). [Author(s), Date. Title of report. Name of Organization, Report No., Name of City (unpublished).]

Sönmez, H., 1996. T.K.İ.-E.L.İ. Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütleli içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 99 s (yayınlanmamış).

Author, Date. Title of thesis. Type of Thesis (MSc or PhD), Name of University or Institution, City, Country (unpublished).

**(e) Personal Communications:**

Sözbilir, H., 2005. Personal communication. Geological Engineering Department of 9 Eylül University, İzmir, Turkey.

**(f) Information Downloaded from the Internet**

ERD (Earthquake Research Department of Turkey), 2005. <http://www.gov.tr>, 3 April 2005. [Name of the Organization, Date. Web address, date of access to website.]

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. "

Where  $\tau$  is the shear strength,  $c$  is cohesion,  $\sigma$  is normal stress and,  $\phi$  is internal friction angle." Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller character (e.g.  $\text{Id}$ ,  $x^2$ ). Instead of square-root symbol, an indice of 0.5 should be used (e.g.  $y = 5x^{0.5}$ ). For the of multiplication sign do not use any symbol, however if necessary, the symbol "\*" can be preferred (e.g.  $y=5*10^{-3}$ ). Please use "/" for division instead of a horizontal line between numerator and denominator. In the expression of chemical reactions, ions should be given as  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{CO}_3^{2-}$  (not  $\text{Ca}^{++}$  and  $\text{CO}_3^{--}$ ). In the text, equations should be referred to as equation (1). Computer program listings, if appropriate, must be very clear in an Appendix.

**Tables**

Tables with their titles should not exceed the printed area of the page (15.8 cm (wide) x 22.5 cm (deep)) and be numbered consecutively. Both Turkish and English titles should appear at the top of a table (do not print table captions on a separate sheet). If the manuscript is written in Turkish, English title in italics should follow the Turkish title. For manuscripts in English, a Turkish title should appear below the English title in italics. They should begin "Table 1." etc. Tables should be referred to as Table 1 or Tables 1 and 2 (if more than one table is referred to). Tables can be written in a font size smaller than that of the text (10 or 11 point). Tables should be arranged to fit single column (7.3 cm wide) or double column (15.8 cm wide). No vertical rules should be used.

Horizontal rules should only be used at the top and bottom of the tables, and to separate headings and numbers listed in the tables (Please check the previous issues of the Journal). Tables should not duplicate results presented elsewhere in manuscript (e.g. in graphs). Each table should be separately printed and appear after the text (after references). All abbreviations and symbols must be identified with smaller character underneath the tables (e.g. c: uniaxial compressive strength; II: Illite; 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 presented separately from manuscripts, and not be folded. 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 printed on separate pages and given offer tables together 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. Foldout and colored illustrations are not accepted. 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 Figures 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 submitted as original glossy prints 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 [www.jmo.org.tr](http://www.jmo.org.tr) or directly sent as an e-mail attachment to the editor at below address.

#### **EDITOR**

Prof. Dr. Orhan TATAR

Phone : 0346-219 1010 / 1548

e-mail : [orhantatar@gmail.com](mailto:orhantatar@gmail.com)

be restricted to typesetting errors, change or corrections that constitute departures from the article are not accepted. Proofs should be returned to the Editor within 3 days of receipt. Please note that the authors are urged to check their proofs carefully before return, since the inclusion of late corrections cannot be guaranteed.

#### **REPRINTS**

Fifteen reprints and a copy of the issue are supplied free of charge. They are sent to the corresponding author. Additional reprints must not be ordered.

#### **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.

# TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ

*Geological Bulletin of Turkey*

Ağustos 2014 Cilt 57 Sayı 3  
August 2014 Volume 57 Number 3

## İÇİNDEKİLER CONTENTS

- Nurgül ÇELİK BALCI, Serra GÜL, Meryem Menekşe KILIÇ, Nevin Gül KARAGÜLER, Erol SARI, M. Şeref SÖNMEZ**  
**Balya (Balıkesir) Pb-Zn Madeni Atık Sahasının Biyojeokimyası ve Asidik Maden Drenajı Oluşumuna Etkileri**  
*Biogeochemistry of Balıkesir Balya Pb-Zn Mine Tailings Site and Its Effect On Generation of Acid Mine Drainage* ..... 1
- Özkan ATEŞ, Salih Zeki TUTKUN**  
**Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri**  
*Hydrochemical Changes in Geothermal Systems with Simav(Kütahya) Earthquakes*..... 25
- İrem ELİTEZ, Cenk YALTIRAK**  
**Çameli Havzası'nın Miyosen-Kuvaterner Jeodinamiği, Burdur-Fethiye Makaslama Zonu (GB Türkiye)**  
*Miocene-Quaternary Geodynamics of Çameli Basin, Burdur-Fethiye Shear Zone (SW Turkey)*..... 41

### **Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:**

GeoRef, Geotitles, Geoscience Documentation, Bibliography of Economic Geology, Geo Archive, Geo Abstract, Mineralogical Abstract, GEOBASE, BIOSIS ve ULAKBIM Veri Tabanlarında yer almaktadır.

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

*GeoRef, Geotitles, Geoscience Documentation, Bibliography of Economic Geology, Geo Archive, Geo Abstract, Mineralogical Abstract, GEOBASE, BIOSIS and ULAKBIM Database*

#### **Makale Gönderim Adresi**

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

#### **Corresponding Address**

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