

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2020 Cilt 63 Sayı 2
April 2020 Volume 63 Issue 2

ISSN 1016-9164



TMMOB JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD

Hüseyin ALAN	Başkan / <i>President</i>
Yüksel METİN	İkinci Başkan / <i>Vice President</i>
Faruk İLGÜN	Yazman / <i>Secretary</i>
D. Malik BAKIR	Sayman / <i>Treasurer</i>
M. Emre KIBRIS	Mesleki Uygulamalar Üyesi / <i>Member of Professional Activities</i>
Gonca ŞAHİN	Sosyal İlişkiler Üyesi / <i>Member of Social Affairs</i>
Buket YARARBAŞ ECEMİŞ	Yayın Üyesi / <i>Member of Publication</i>

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ
Geological Bulletin of Turkey

Yayın Kurulu / Publication Board

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

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Mustafa AVCIOĞLU
m_avcioglu@comu.edu.tr

İsmail Onur TUNÇ
onurtunc@comu.edu.tr

İngilizce Editörleri / English Editors

Catherine YİĞİT

Graham Howard LEE

Editör Kurulu / Editorial Board

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

Yazışma Adresi

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

Corresponding Address

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

Yayın Türü	: Yaygın Süreli Yayın
Yayının Şekli	: 4 Aylık Türkçe - İngilizce
Yayın Sahibi	: TMMOB JMO Adına Hüseyin ALAN
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü	: Hüseyin ALAN
Yayının İdari Adresi	: Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara Tel: 0 312 432 30 85 Faks: 0 312 434 23 88
Baskı (Printed by)	: ERS Matbaacılık Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı No: 87/7 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88
Baskı Tarihi	: Nisan 2020
Baskı Adedi	: 500

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2020 Cilt 63 Sayı 2
April 2020 Volume 63 Issue 2

İÇİNDEKİLER CONTENTS

- Bekir Levent Mesci, Halil Gürsoy, Bassam Ghaleb, Orhan Tatar**
An Extensional Fracture Acting as Hot Water Source for Travertine Deposition on the North Anatolian Fault Zone, Turkey: the Reşadiye Fissure-Ridge
Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda Traverten Çökeliminde Sıcak Su Kaynağı Olarak Görev Yapan Bir Açılma Çatlağı: Reşadiye Çatlak Sırtı 145
- Fuat Şaroğlu, Bahadır Güler**
Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın Güncel Deformasyonu: Batıya Doğru Kaçıştan Kaynaklanan Blok Hareketleri
Recent Deformation of the Western Anatolia Tectonic Wedge: Block Motions Caused by Escape to the West 161
- Mustafa Açlan, Yusuf Altun**
Çarpışma Sonrası Pliyo-Kuvaterner Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) Volkaniklerinin Jeokimyasal Özellikleri ve Magma Kaynak Bölge Karakteristikleri, Doğu Anadolu, Türkiye
Geochemical Features and Magma Source Regional Characteristics of the Post-Collisional Plio-Quaternary Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) Volcanics, Eastern Anatolia, Turkey 195
- Maan H. Abdullah Al-Majid**
Porosity and Density Evaluation of Fatha-Hartha Interval in East Baghdad Oil Field Using Well Log Data
Doğu Bağdat Petrol Sahası'nda Fatha-Hartha Aralığındaki İstifin Kuyu Logu Verisi Kullanılarak Porozite ve Yoğunluk Değerlendirmesi 215
- Aziz Özyavaş**
Susuzdağ ve Tekkedağ (Kapadokya-Türkiye) Çevresindeki Volkanik Kayaçların ASTER Görüntüsü Kullanılarak Haritalanması
Mapping of Volcanic Rocks Around Susuzdağ and Tekkedağ (Cappadocia-Turkey) Using ASTER image 225

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation, Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, Asos Indeks ve ULAKBİM TR Dizin Veri Tabanlarında yer almaktadır.

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation, Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, Asos Indeks and ULAKBİM TR Dizin Databases.

TÜRKİYE JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey



An Extensional Fracture Acting as Hot Water Source for Travertine Deposition on the North Anatolian Fault Zone, Turkey: the Reşadiye Fissure-Ridge
Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda Traverten Çökeliminde Sıcak Su Kaynağı Olarak Görev Yapan Bir Açılma Çatlağı: Reşadiye Çatlak Sırtı

Bekir Levent Mesci¹, **Halil Gürsoy¹**, **Bassam Ghaleb²**, **Orhan Tatar¹**

¹*Sivas Cumhuriyet University, Department of Geological Engineering, Faculty of Engineering, 58140 Sivas, Turkey*

²*Université du Québec à Montréal GEOTOP CP, 8888 Montréal, Québec, Canada*

• Geliş/Received: 23.09.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 15.10.2019 • Kabul/Accepted: 30.10.2019
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 05.11.2019 • Baskı/Printed: 01.04.2020

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

Abstract: The Reşadiye (Tokat) geothermal field is located in the northern part of the right-lateral North Anatolian Fault Zone. Geothermal waters at temperatures between 48-52°C from this geothermal field are currently used mostly in hotels, pools and bathrooms and provide significant tourism potential for the region. The area where the geothermal sites are located includes a ~NW-SE trending fissure-ridge type travertine with a length of about 600 meters. Approximately 500 meters south of the geothermal field and parallel to the Kelkit River, the active segment of the North Anatolian Fault Zone comprises the Kelkit Valley fault segment extending N72°W. The average strike direction of Reşadiye fissure-ridge type travertine is around N33°W. There is an angle of 39° between the master trend of NAFZ and the direction of the Reşadiye fissure-ridge travertine. This 39° angle between the extensional cracks in the fissure-ridge travertine and the NAFZ is compatible with extensional fractures developing in well-formed strike-slip faults at an angle of ~45° with the master fault. U/Th determination of two samples from banded travertines from the travertine deposits yielded ages of 7,563 and 12,529 years. Combined with other evidence, the samples indicate an opening rate of 0.093 mm/year for the Reşadiye geothermal travertine field.

Keywords: Active tectonics, North Anatolian Fault Zone, Reşadiye, Travertine tectonics, Travitronics, U/Th age dating

Öz: Reşadiye (Tokat) jeotermal sahası, doğrultu atımlı sağ yanal Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzeyinde yer almaktadır. Bu jeotermal alanda çıkan 48-52° C sıcaklıktaki jeotermal su çoğunlukla otellerde, havuzlarda ve banyolarda kullanılmakta ve bölge için önemli turizm potansiyeli sağlamaktadır. Jeotermal sahanın bulunduğu alanda yaklaşık 600 metre uzunluğunda ~KB-GD gidişe sahip bir çatlak sırtı tipi traverten bulunmaktadır. Jeotermal alanın yaklaşık 500 metre güneyinde ve Kelkit Nehri'ne paralel olarak K72°B doğrultuda, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun aktif, Kelkit Vadisi segmenti yer almaktadır. Reşadiye çatlak sırtlı traverteninin ortalama doğrultusu K33°B'dir. Kuzey Anadolu Fayı Zonu'nun ana gidişi ile Reşadiye çatlak sırtı tipi traverteninin ortalama doğrultusu arasında yaklaşık 39°'lik bir açı bulunmaktadır. Çatlak sırtlı traverten ve KAFZ arasındaki bu 39°'lik açı, iyi gelişmiş doğrultu atımlı faylarda ana fay ile ~45°'lik açı yapan açılma çatlaklarının açısıyla uyumludur. Reşadiye çatlak sırtı tipi travertende bulunan bantlı travertenlerden alınan iki örneğin U/Th yaş analizleri 7.563 ve 12.529 yıllarını vermiştir. Bu sonuçlar bölgesel anlamda olmasa da Reşadiye jeotermal traverten alanı için 0,093 mm/yıl açılma hızı vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Aktif tektonik, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Reşadiye, Traverten tektoniği, Travitonik, U/Th yaş analizi

INTRODUCTION

Travertines are typically sediments rich in calcium bicarbonate precipitated around hot and cold-water springs reaching the surface along discontinuity surfaces, usually faults or well-developed joint systems. As in the classic Pamukkale (Denizli) example, in addition to their unique natural beauty and use as an attractive construction material, they make an important contribution to several branches of earth sciences including hydrogeology, sedimentology and tectonics. They create unique morphologic landforms (Altunel, 1996) and are usually found where hot and cold springs reach the surface, usually along normal or strike-slip fault systems with an extensional component. Within the classification scheme of Altunel (1996), the travertines developed as fissure-ridge types comprising fault front, channel and cone shapes reflecting a tectonic signature. Where they continue to grow in the present, they can be used to determine the contemporary regional stress field and thus are related to active regional tectonics (Altunel, 1996; Mesci et al., 2008; De Filippis et

al., 2012; Brogi et al., 2009; Mesci, 2012; Brogi et al., 2016; Mesci et al., 2018).

The Reşadiye geothermal and travertine area is located ~90 km east-northeast of Tokat and occurs on the most important active dextral lineament of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) in Turkey (Figure 1). The NAFZ has a complex surface expression with morphologic and structural elements including splay faults, pull-apart basins, sag ponds, extended ridges, offset streams and hot spring sites. The Reşadiye area is located in the Kelkit valley where the local geomorphology has been shaped by a combination of the lithological characteristics of the rock units outcropping in the region, the NAFZ master fracture and the Kelkit River drainage system (Figure 2). The present study was undertaken to determine the relationship between the Reşadiye fissure-ridge travertine formation and the North Anatolian Fault Zone; it further aimed to reveal the age range embraced by the travertine formation and hence to resolve the rate at which the extensional fissure has opened.

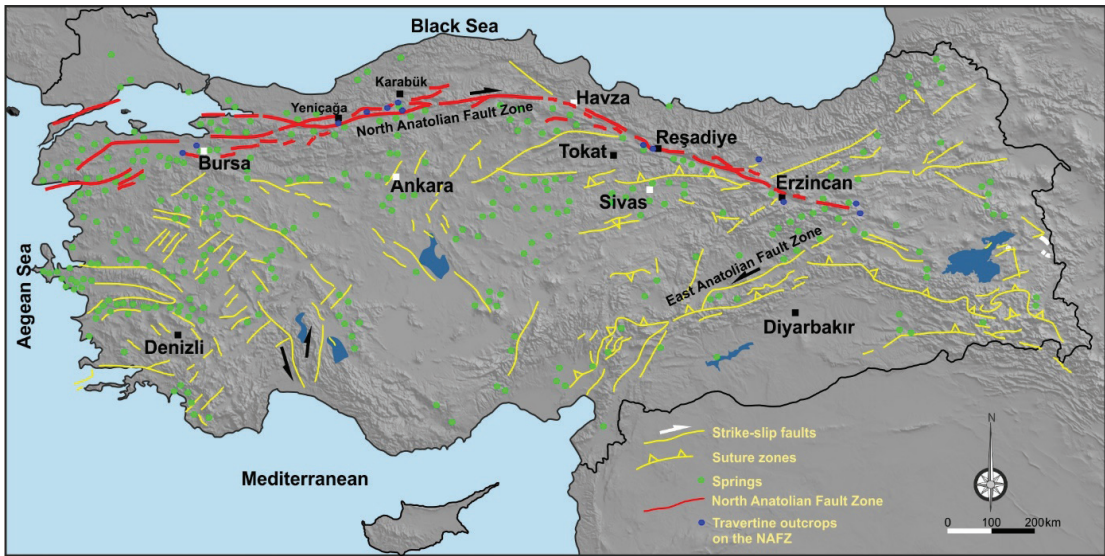


Figure 1. Distribution of hot water springs and active tectonic features in Turkey showing travertine occurrences along North Anatolian Fault Zone (simplified from Şimşek, 2003 and Polat, 2011).

Şekil 1. Türkiye'deki aktif tektonik hatların, sıcak su kaynaklarının ve Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca gözlenen traverten oluşumlarının dağılımı (Şimşek, 2003 ve Polat, 2011'den basitleştirilmiştir).

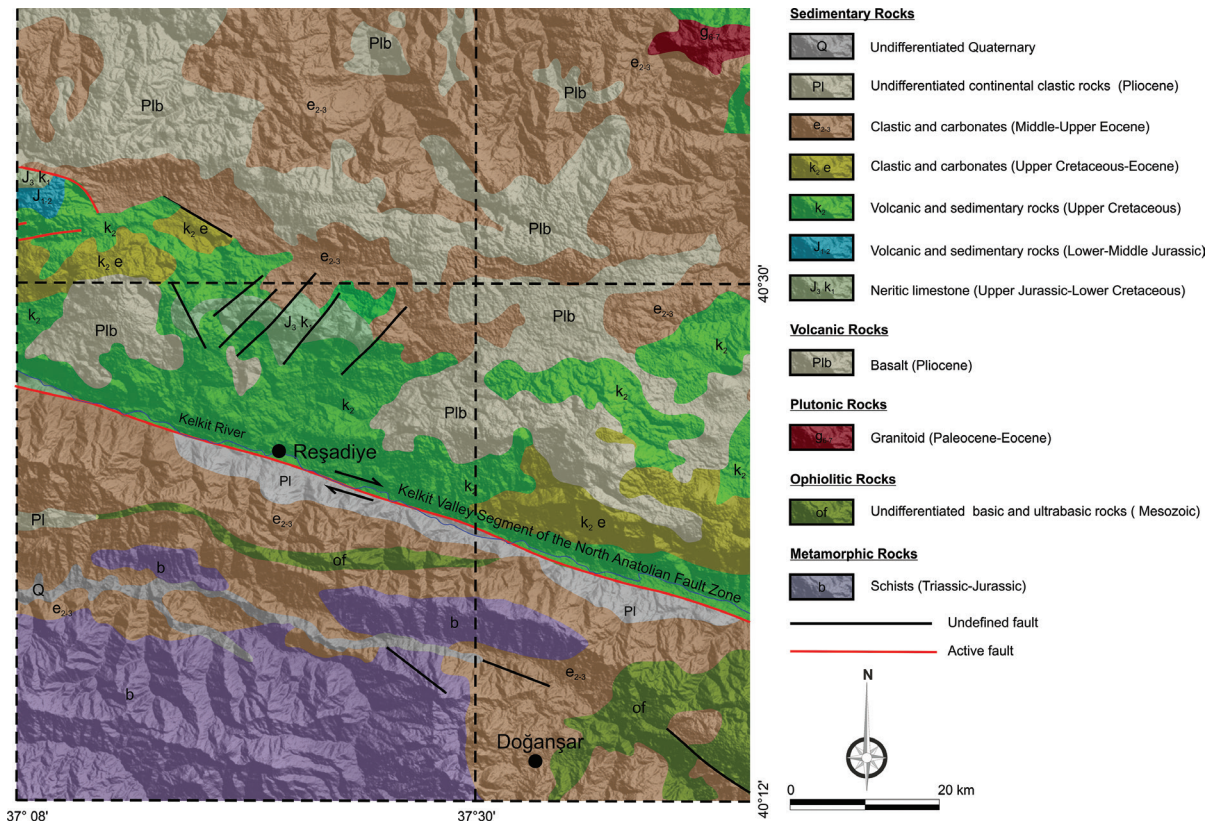


Figure 2. Geological map of Reşadiye and its vicinity (modified from Hakyemez and Papak, 2002).

Şekil 2. Reşadiye ve çevresinin jeolojik haritası (Hakyemez ve Papak'tan değiştirilmiş, 2002).

HISTORICAL BACKGROUND AND TECTONIC IMPLICATIONS OF TRAVERTINES

Travertines were first classified by Russel (1882) and subsequent classifications have been based on a multiplicity of features including plant content, precipitation environment, porosity and morphology (see Mesci, 2004 and references therein). However, more recent studies have focused on their tectonic signature and primarily link their morphologic features to the regional stress fields (Heimann, 1989; Chafetz and Folk, 1984; Altunel and Hancock, 1993a; Mesci et al. 2008).

The geothermal fields found extensively across Turkey and related travertine deposits are the prime markers of active tectonics in the present

and also the geological past. Predictably, there is a very close relationship between travertine morphology and regional stress fields deduced from other methods. Hot water springs tend to be located mostly near the three most important structural elements in Turkey, namely, the NAFZ, the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) and the Aegean Extensional Region; while travertine outcrops are generally found near the NAFZ, confirming the correlation between contemporary tectonics and hydrothermal activity (Figure 1).

Travertine research in Turkey began to gain more serious attention from the beginning of the 1990s, when it was identified as an important tool for identifying the age and character of deformation associated with fault activity. It was also recognized as a potential tool for measuring

the rate of dislocation along fissures. Initial investigation of travertines in relation to active tectonic studies in Turkey was first performed on the Pamukkale (Denizli) travertines by Altunel and Hancock (1993a, b, 1996) and Altunel (1994). They studied the relationship between travertine formation and active tectonics and how to use travertines in active tectonic studies by measuring the opening direction of fissure-ridge travertines in order to determine the deformation rate in Western Anatolia.

Altunel and Hancock (1993a) classified travertines in terms of morphology and introduced the term *travertonics* to represent the close correlation between travertines and neotectonics. Çakır (1998) found that carbonate-rich hot waters reached the surface either near the tips of fault segments or in extensional regions at fault offsets. From studies in Italy, Brogi et al. (2009) and Brogi et al. (2014) identified travertines deposited along normal faults, and at points where strike-slip and normal faults intersected. In recent years, many studies have been performed to investigate the correlation between active hot springs and travertine occurrences in both recent and extinct travertine outcrops in the central and western sections of Anatolia (Altunel and Karabacak, 2005; Mesci et al., 2008 and 2012; Temiz and Eikenberg, 2011; Noten et al., 2019), whilst comparable studies have been performed in east and SE Anatolia by Çolak et al. (2015).

GEOLOGICAL SETTING OF REŞADIYE TRAVERTINE FIELD

Two contrasting rock assemblages, which crop out on the northern and southern blocks of the main branch of the North Anatolian Fault Zone, are seen along the Kelkit River valley covering the Reşadiye travertine field (Seymen, 1975). The northern section where the travertines are

concentrated comprises Cretaceous limestones, volcanics and sedimentary rocks with flysch facies as well as Eocene limestone, marl, volcanic flysch, basaltic lava and tuffs. The Eocene sediments, comprising a range of different facies, are located on both sides of the NAFZ in this sector (Seymen, 1975) (Figure 2).

The right-lateral strike-slip character of the NAFZ is initiated in the north of the Aegean Sea and extends nearly 1600 km east to Karlıova in a deformation zone up to 100 km wide, occasionally illustrating an anastomosing structure (Figures 1 and 3). During the last century, dozens of earthquakes with a magnitude above 6 occurred on the NAFZ and their consequences in the light of local and regional scale studies have aided in understanding the age, total offset and formation mechanism of the master fault (e.g. Herece and Akay, 2003; Şengör et al., 2005). Several basins associated with strike-slip faulting along the North Anatolian Fault Zone have been formed. Young volcanic outputs have also developed in some basins, such as the Erzincan and Niksar basins (Akpınar et al., 2016).

Since the 1990s, GPS measurements of the NAFZ and bordering regions have provided important information on fault slip rates (Oral, 1994; McClusky et al., 2000; Reilinger et al., 2006; Tatar et al., 2012), while paleoseismologic studies have yielded data on the timing and recurrence of large earthquakes. Further, geoarcheological research of cultural artifacts with historical and archeological value has been used to provide information on historic seismic activity on the NAFZ (Benjelloun et al., 2018), whilst historical documents from the 16th century onwards have revealed details about historical seismic activity on the NAFZ, as well as elsewhere in Turkey and surrounding regions (Ambraseys and Finkel, 1995).

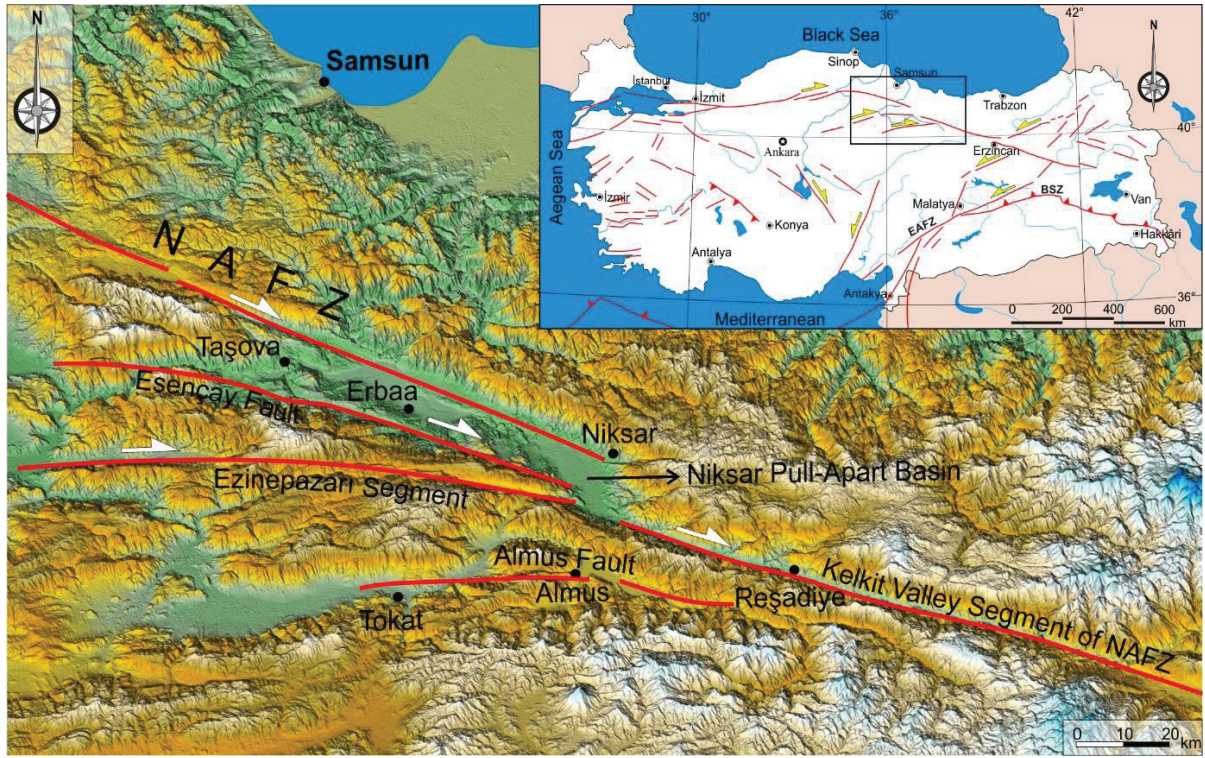


Figure 3. Distribution of active faults around Reşadiye on SRTM image.

Şekil 3. SRTM görüntüsünde Reşadiye çevresindeki aktif fayların dağılımı.

During the periods covered by historical and instrumental evidence, noteworthy earthquakes on the NAFZ include the $M=7.8$ Erzincan earthquake on 29 December 1939 responsible for a ~360 km surface rupture extending through Reşadiye. Barka (1996) identified 5 separate segments on the 360 km long surface rupture formed by this earthquake and a segment with a length of nearly 70 km following the Kelkit River and embracing Reşadiye; he defined this as the Kelkit Valley segment. Offsets developed on the surface rupture of this segment have been measured and reported by Barka (1996) and Gürsoy et al. (2013). In the natural depression at Reşadiye (Location 6 in Figure 5 of Gürsoy et al., 2013) and immediately east in trenches opened on a segment for paleoseismologic purposes (Zabci

et al., 2011), both the 1939 Erzincan earthquake surface rupture and previous historical earthquake traces were identified. Also, during excavations of the foundations of a water collection pool for the Reşadiye regulator, set up with the aim of producing energy, a wide fracture zone was revealed which showed a negative flower structure created by earthquake ruptures from the 1939 and previous historical earthquakes (Gürsoy et al., 2013). Field evidence observed around the travertine area for previous large earthquakes suggests that the area has been actively deforming due to the activity of the NAFZ. Secondary fractures of the NAFZ also contribute to the deformation of the upper crust in the area, which keeps the fissures open at all times so that water can reach the surface.

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF REŞADIYE FISSURE-RIDGE TRAVERTINE

The result of a 30-month periodic measurement investigation in the Reşadiye (Tokat) geothermal and travertine area determined a mean temperature of 50.59°C, an electrical conductivity of 5631 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and a pH of 6. These measurements were taken from 29.04.2007 to 08.10.2019 within the scope of a multi-disciplinary project funded by the DPT (State Planning Agency) looking into the long-term viability of the region for tourist development.

In the area of geothermal facilities, there is a single fissure-ridge travertine about 600 m in length trending approximately NW-SE (Figure 4-A). The wells and catchment where water is obtained for geothermal pools and baths are located twenty five meters away, SE of the fissure axis and the initial NW point of the ridge. At the NW part of the spa facilities, the ridge extends toward the SE with offsets or branching of the fissure axis occurring at several points along the ridge (Figures 4-A and 5-B). The total length of the fissure axis on the ridge is 863 meters and the total surface area formed by the layered travertine forming the ridge has been calculated at 17,507 m^2 . The width of the fissure-thickness of the banded travertines measured on the fissure axis reaches a maximum of 158 cm. The strike of the layered travertines is entirely parallel to the ridge axis, with dips varying from horizontal to vertical (Figure 4-A). That the slope of the layered travertines developed perpendicular to the fissure axis shows that deposition has been mainly asymmetric, a feature attributable to the paleo-topography on which the ridge developed. The fissure axis begins at the NW point with an elevation of 558 m, continues for 230 meters in a direction S 45°-50° E, gains a slightly convex structure at this point extending S 30° E to 357 meters, and then ends at an elevation of 503 meters. As in many fissure-ridge travertine examples (Sivas-Sıcak Çermik,

Denizli-Pamukkale and Ağrı-Diyadin, etc.), the whole ridge displays a convex geometry linked to the rheology of the unit beneath the travertine deposition.

In the southeast section of the ridge, a fissure axis separates from the main fissure and extends towards the SE; this is considered to be very young due to the appearance of the travertine and the narrow width of the fissure axis. A significant portion of the geothermal water emerging from this fissure drains down the SW slope of the ridge and has deposited layered travertines on this slope with dips close to vertical, giving the formation a waterfall-like character. The travertines on the southwest-facing slope in this section of the ridge reach heights of up to 12 meters (Figure 5-C).

U/TH AGE RESULTS AND OPENING RATE OF FISSURE

The majority of studies carried out on travertines have used the U/Th method for dating the deposition (Sturchio, 1994; Eikenberg et al., 2001; Semghouli et al., 2001; Mallick and Frank, 2002; Soligo et al., 2002; Altunel, 1994; Çakır, 1998, Altunel and Hancock 1993a, b, 1996; Altunel, 1996; Hancock et al., 1999; Mesci et al., 2008; Brogi et al., 2009; Temiz et al., 2011; Mesci, 2012; Çolak et al., 2015; Brogi et al., 2014; Brogi et al., 2016; Mesci et al., 2018). However, the electron spin resonance (ESR) method has also been applied (Grün, 1989; Rink et al., 1997; Engin et al., 1999a), and a few studies have used the thermoluminescence (TL) method for dating (Engin et al., 1999b).

The U/Th method was applied for age dating in this study by taking two samples in each fissure-ridge travertine - one from the youngest band of fissure fill and one from the oldest - with the aim of resolving the opening rate of the fissure-ridge. Ages obtained from these samples can potentially identify the annual opening rate in proportion to

the width of the banded travertine (Figures 6 and 7) and hence solve the mean opening rate. Previous examples of this application were reported by Altunel (1994) and (Mesci, 2008). Two travertine samples were taken for this study area due to the presence of a single fissure-ridge; one sample from the fissure axis and the other from outside the fissure (Figures 4-B, 6 and 7).

Hitherto the alpha spectrometer used in U/Th analysis for travertine dating was unable to

resolve the age of samples younger than ~5000 years. However, due to improvements in mass spectrometric methods (TIMS and MC-ICP-MS), it has become possible to measure older carbonate samples with an accuracy of 100 to 200 years (Pons et al., 2005). Additionally, Shen et al. (2013) were able to measure very young stalagmites with annual sensitivity by this method. The age analysis in the present study used the MC-ICP-MS method carried out in the GEOTOP Radiochronology laboratory (Canada).

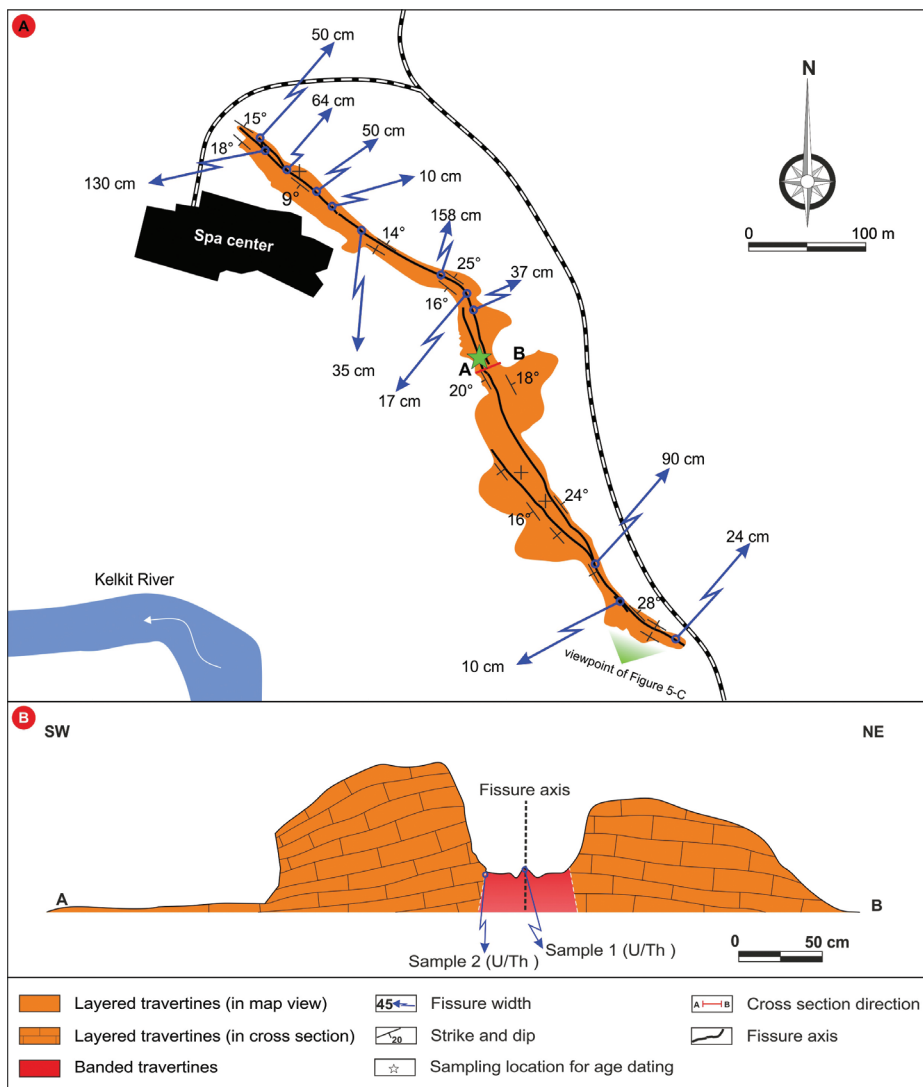


Figure 4. Map of the Reşadiye fissure-ridge (A) and its geological cross-section (B).

Şekil 4. Reşadiye çatlak sırtı travertenin haritası (A) ve jeolojik kesiti (B).



Figure 5. Views of fissure axis (A, B) and panoramic view of SE slope of Reşadiye fissure-ridge travertine from SW to NE (C).

Şekil 5. Çatlak ekseninin görünümü (A ve B) ve Reşadiye çatlak sırtı travertenlerin GD yamacının panoramik görüntüsü (C; GB'dan KD'ya bakış).

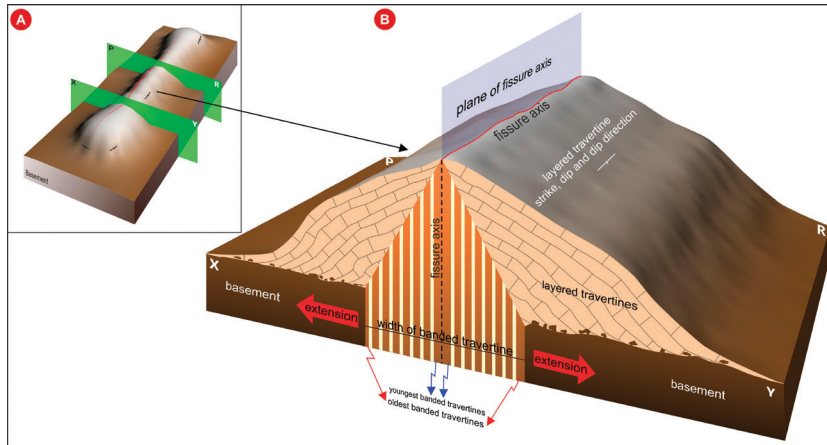


Figure 6. Three-dimensional appearance of fissure-ridge travertine (A) and appearance of basic components in block model taken between planes X-Y and P-R (B).

Şekil 6. Bir çatlak sırtı travertenin üç boyutlu görünümü (A), ve X-Y ve P-R düzlemleri arasından alınan blok modelde temel bileşenlerin görünümü (B).

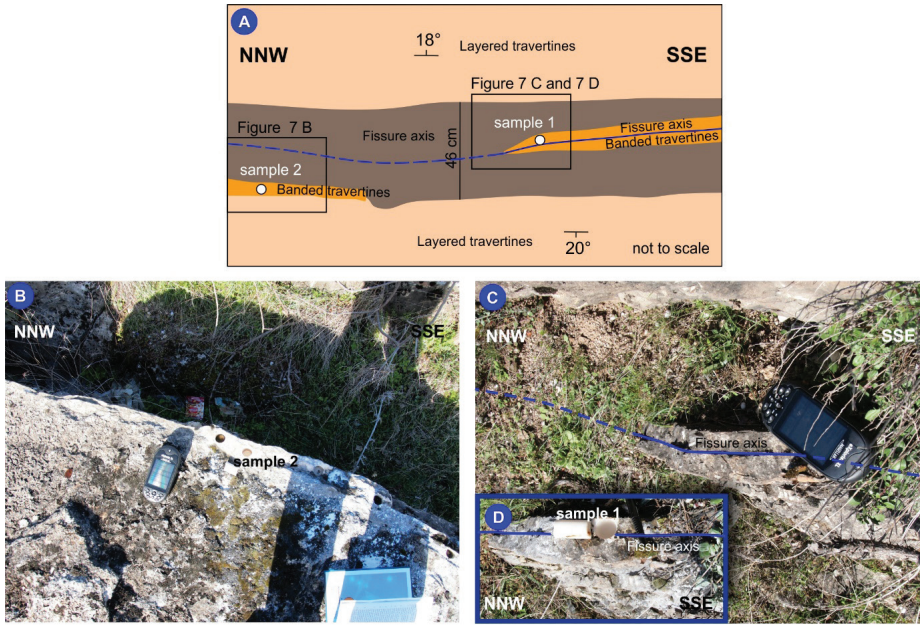


Figure 7. Plan of samples' location (A), and close up views of where sample 2 (B) and sample 1 (C, D) were taken.
Şekil 7. Reşadiye çatlak sırtı traverteninde yaş analizi örnekleme konumunun plan görünümü (A), 2 numaralı örneğin yakın görünümü (B), numaralı örneğin yakın görünümü (C ve D).

The results of this analysis determined an age for the banded travertine taken from the fissure axis (sample 1) of 11,251 years (uncorrected) and 7,563 years (corrected). The age of the banded travertine from outside the axis (sample 2) was dated to 15,519 years (uncorrected) and 12,529 years (corrected). The results are summarized in Table 1. The ages obtained in this study are older than those obtained by Karabacak et al. (2019).

The two samples show non-negligible amounts of detrital thorium, indicated by the low activity ratios of $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ (Table 1). To correct for the detrital thorium derived from silt and clay incorporated in the travertine, we used the average crustal model of Ludwig and Paces (2002) where ^{232}Th is used as the index, and the detrital isotopic activity ratios are according to: $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} = 1.21 \pm 50\%$, $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U} = 1 \pm 10\%$, and $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 1 \pm 10\%$. Due to the large errors involved in this assumption regarding the detrital component of the corrected ^{230}Th , the ages have large uncertainties (Table. 1).

Table 1. Location and age of samples from Reşadiye fissure-ridge travertine.

Çizelge 1. Reşadiye çatlak sırtı traverteninden alınan örneklerin konumları ve yaşları.

Location	Sample No.	^{238}U ppb	^{232}Th ppb	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Age (ka)	Corrected age (ka)
37 3581070 E 4473270 N	Sample 1	7.386 ±0.052	0.924 ±0.009	1.015 ±0.014	0.098 ±0.003	0.100 ±0.003	2.436 ±0.082	11.251 ±0.422	7.563 ±2.092
	Sample 2	5.384 ±0.030	0.552 ±0.006	1.022 ±0.013	0.133 ±0.007	0.136 ±0.007	4.052 ±0.224	15.519 ±0.928	12.529 ±1.898

RESULTS

Age data obtained from different tectonic settings in Turkey have enhanced the importance of travertine investigation on the NAFZ and contributed to understanding the active tectonics of travertines. The best-known examples of travertine formations directly on the NAFZ are observed in Akkaya (Bolu) (Demirtaş, 2000), Reşadiye (Tokat) (Seymen, 1975) and west of Reşadiye (Gürsoy et al., 2013). Residents of this region also noted that hot water and steam gushed out during the 1939 Erzincan earthquake ($M=7.9$) where travertines are exposed in the Katmerkaya area to the west of Reşadiye (Gürsoy et al., 2013). Studies conducted in Bolu (Demirtaş, 2000; Temiz et al., 2013) and Reşadiye (Tokat) (Karabacak et al., 2019) on the NAFZ have contributed new ages using the U/Th method. However, defining the general geometry and understanding the mechanisms responsible for structures formed during travertine deposition is required for wider interpretation of the stress fields around the NAFZ. The geometry and faulting-mechanism of the Reşadiye fissure-ridge travertine is a local contribution to this objective.

Experimental clay studies by Riedel (1929) and Wilcox et al. (1973) showed that in a well-developed strike-slip fault, extensional fractures develop at a $\sim 45^\circ$ angle to the main fault (Figure 8-A). Nearly 500 meters south of the Reşadiye geothermal facility, an active branch of the North Anatolian Fault Zone, the Kelkit Valley segment, extends parallel to the Kelkit River with a strike of $N72^\circ W$ (Figures 2 and 3). This segment also records the surface rupture of the 1939 Erzincan earthquake. The average strike direction of the Reşadiye fissure-ridge type travertine is $N33^\circ W$ (Figure 4-B), producing an angular difference of about 39° between the NAFZ Kelkit Valley segment and the strike of the fissure axis in the Reşadiye travertine (Figure 8-B). This 39° angle between the extensional fracture in the Reşadiye travertine and the Kelkit Valley segment closely accords with the 45° angle between the main fault and extensional fractures in well-developed strike-

slip faults. The theoretical models do not always overlap one-on-one with the structures formed in nature. Considering that experimental-theoretical models are completed using homogeneous material in laboratory environments, the 6° angular difference is likely due to the heterogeneous nature of rocks found in the crust.

In this study area with ongoing hydrothermal activity and travertine formation, the width of the banded travertine in the fissure axis and age of the fissure-ridge type travertine have been assessed and the opening rate of the fissure during periods of hydrothermal activity calculated. A similar study was first applied to the Pamukkale (Denizli) ridge type travertine by Altunel (1996), where age analysis of samples taken from the fissure center and fissure walls resolved a regional opening rate during the last 200,000 years of 0.23 to 0.6 mm/year in a NW-SE direction.

In this study, using the same method, the opening rate for the Reşadiye geothermal and travertine formation area was calculated as a slower 0.093 mm/year rate in a NE-SW direction (Table 2). This opening rate for Reşadiye fissure-ridge travertine does not represent regional extension but is nevertheless important in terms of understanding extensional structures developing on strike-slip fault zones, especially where the formation mechanisms have produced fissure-ridge travertines.

Within the scope of this study, the age obtained from the Reşadiye fissure-ridge travertine is not the age when the ridge began to form. Ridge formation began earlier. The age obtained in this study shows that water sources have reached the surface along this ridge over the last 12,000 years without interruption. Field observations reveal that there is a close correlation between ridge formation and NAFZ activity. As a result, this ridge has the potential to contain a record of large earthquakes that occurred on the NAFZ in the past. Determining and dating this data will make a significant contribution to understanding previous earthquake activity on the NAFZ.

Table 2. Opening rates obtained from age results and banded travertine widths.

Çizelge 2. Yaş sonuçları ve bantlı travertenlerin genişliğinden elde edilen açılma oranı.

Sample No.	Corrected Age (ka)	Occurrence Interval (ka)	Maximum Width of Banded Travertines (mm)	Opening Rate (mm.y ⁻¹)
Sample-1	7.563±2.092	4.268	460	0.093 (-0.004/+0.003)
Sample-2	12.529 ±1.898			

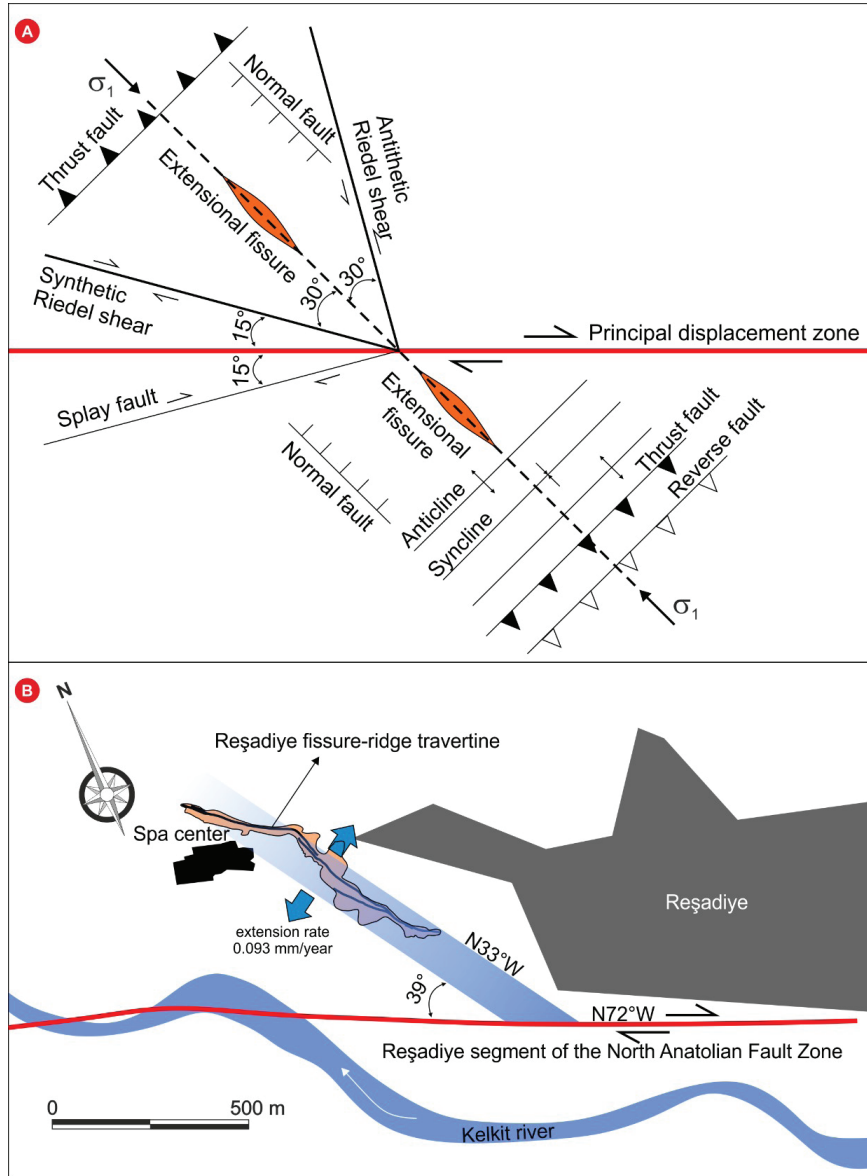


Figure 8. Appearance and similarity of extensional fractures on well-developed strike-slip faults (A) and extensional fissure in Reşadiye fissure-ridge travertine (B).

Şekil 8. İyi gelişmiş doğrultu atımlı faylardaki açılma çatlaklarının (A) ve Reşadiye sırt tipi travertenindeki açılma çatlağının (B) görünümü ve benzerliği.

ACKNOWLEDGMENTS

The first author would like to thank the Scientific Research Fund of Sivas Cumhuriyet University for financial support. We would also like to thank Prof. Erhan Altunel, Prof. Ercan Aksoy and Prof. Ulvi Can Ünlügenç for their kind reviews and detailed comments and suggestions for improving the manuscript.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Aktif tektonik özelliklere sahip bölgelerle jeotermal etkinlik arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle sıcak suların yüzeye ulaşmasında çatlak-fay sistemlerinin oynadığı rol göz ardı edilemez niteliktedir. Faylar ve çatlaklar, hidrotermal akışkanın yüzeye taşınmasında önemli rol oynar. Türkiye'nin birçok bölgesinde yaygın jeotermal sahaların ve bunların çevresinde birçok traverten yüzleklerinin varlığı, aktif tektonik etkinliğin jeolojik geçmişte ve günümüzde de devam ettiğinin bir göstergesidir. Bu nedenle, tektonik açıdan aktif zonlar ile traverten oluşumu arasında çok yakın bir ilişki vardır (Mesci, 2004). Özellikle çatlak sırtı tipi travertenler tektonik açıdan önemli veriler barındırmaktadır.

Reşadiye jeotermal ve traverten alanı, Tokat ilinin yaklaşık 90 km doğu-kuzeydoğusunda ve Türkiye'deki doğrultu atımlı sağ yanal özellikli en önemli aktif fay zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer almaktadır. Reşadiye'nin de üzerinde bulunduğu Kelkit Vadisi, bölgede yüzeyleyen kaya birimlerinin litolojik özellikleri, KAFZ ve Kelkit çayı tarafından şekillendirilmiştir. Kuzey Anadolu Fay Zonu; ayrılma fayları, çek-ayır havzalar, çöküntü gölleri, uzamış sırtlar, ötelenmiş dereler gibi üzerinde yer alan birçok morfolojik ve yapısal unsur ile de dikkat çekmektedir.

Bu çalışma, Reşadiye sırt tipi traverten oluşumunun Kuzey Anadolu fay zonu ile olan ilişkisini anlamak, sırt tipi travertenin morfolojik özellikleri yanı sıra oluşum yaşı ve

buna bağlı olarak bölgesel bir sonuç olmamakla birlikte açılma oranının saptanması amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Reşadiye (Tokat) jeotermal ve traverten alanı önemli turizm potansiyeline sahip bir bölgedir. Jeotermal tesislerin kurulu olduğu alanda KB-GD doğrultuda uzanan 600 metre uzunluğa sahip bir adet sırt tipi traverten bulunmaktadır.

KB'da kaplıca tesislerinden başlayarak GD'ya doğru uzanan sırt üzerinde yer alan çatlak eksenini birkaç noktada atlama yapmakta ya da dallanmaktadır. Sırt üzerinde bulunan çatlak eksenlerinin toplam uzunluğu 863 metredir. Sırtı oluşturan tabakalı travertenlerin toplam yüzey alanı ise 17.507 m² olarak hesaplanmıştır. Çatlak eksenini üzerinde ölçülen çatlak genişliği-bantlı traverten kalınlıkları en çok 158 cm'ye kadar ulaşmaktadır. Tabakalı travertenlerin doğrultuları tamamen çatlak eksenlerine paraleldir ve eğim miktarları yatay konumdan dik konuma kadar değişebilmektedir. Tabakalı travertenlerin eğimleri çatlak ekseninin iki tarafında çoğunlukla asimetrik bir çökeliyi yansıtmaktadır. Bu asimetrik çökeliğin sırtın üzerinde geliştiği paleotopografya ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Çatlak eksenini KB uçta 558 m kotunda başlayarak K45°-50°B doğrultuda GD yönünde 230 metre uzanmakta, bu noktada hafif bir konveks yapı kazanarak K30°B doğrultuda güneydoğuya doğru 357 metre kadar devam ederek 503 metre kotuna ulaşarak sonlanmaktadır. Birçok sırt tipi traverten örneğinde olduğu gibi (Sivas Sıcak Çermik, Denizli Pamukkale ve Ağrı Diyadin vb.) çatlak eksenini dolayısıyla da tüm sırt, travertenlerin altında yer alan birimin reholojisine bağlı olarak konveks bir geometri sergileyebilmektedirler.

Sırtın güneydoğu bölümünde ana çatlaktan ayrılarak KB'ya doğru uzanan, gerek çökelen travertenlerin görünimleri gerekse çatlak ekseninin genişliğinin az olması bakımından çok genç olduğu düşünülen bir çatlak eksenini bulunmaktadır. Bu çatlaktan yüzeye çıkan

jeotermal suyun önemli bölümünün sırtın GB yamacından boşaldığı ve tabakalı travertenleri bu GB yamaçta çökelttiği düşünülmektedir. Bu yamaç boyunca tabakalı travertenler dike yakın eğim değerleri göstermekte ve şelale tipi travertenlere benzer bir oluşum göze çarpmaktadır. Sırtın bu bölümünün güneybatıya bakan yamacında travertenlerin 12 metreye ulaşan yüksekliğe sahip olduğu gözlenmiştir.


Reşadiye jeotermal ve traverten alanı doğrudan atımlı sağ yanal Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer almaktadır. Reşadiye jeotermal tesislerinin yaklaşık 500 metre güneyinden Kelkit nehrine paralel olarak Kuzey Anadolu Fayı Zonu'nun aktif bir kolu olan K75°B doğrultulu ve Kelkit vadisi segmenti olarak adlandırılmış fay uzanmaktadır. Riedel (1929), Wilcox vd., (1973) tarafından deneysel kil çalışmaları iyi gelişmiş bir doğrudan atımlı fayda ana fay ile açılma çatlakları arasında 45° açı bulunduğu ortaya konulmuştur. KAFZ bu bölgede K72°B doğrultuya sahipken, Reşadiye sırt tipi travertenleri ortalama K33°B doğrultudadır. Kelkit vadisi segmenti ile Reşadiye sırt tipi traverteninin çatlak eksenlerinin gidişleri arasında 39°'lik bir açı bulunmaktadır. Reşadiye sırt tipi travertenlerindeki açılma çatlakları ile KAFZ Kelkit vadisi segmenti arasındaki bu 39° açı, iyi gelişmiş doğrudan atımlı faylarda gelişen ve ana fay ile 45° açı yapan açılma çatlakları ile uyumluluk göstermektedir.


Reşadiye jeotermal ve traverten alanından birisi çatlak ekseninden diğeri ise çatlağın en dışından olmak üzere iki adet traverten örneği alınmıştır. Bu örneklerin yaşları MC-ICP-MS yöntemi ile saptanmıştır. Bu analizler sonucunda çatlak ekseninden alınan bantlı traverten örneğinin düzeltilmiş yaşı 7.563 yıl, çatlak ekseninin en dışındaki bantlı travertenden alınan örneğin düzeltilmiş yaşı ise 12.529 yıl olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu yaşlar örneklerin alındığı konumdaki bantlı traverten kalınlığına oranlandığında bölgesel olmamakla birlikte

KD-GB yönünde 0,093 mm/yıllık açılma hızı hesaplanmıştır.


Bu çalışma kapsamında Reşadiye sırt-tipi travertenden elde edilen yaş elbette ki bu sırtın oluşmaya başladığı yaş değildir. Sırtın oluşumu daha önce başlamıştır. Bu çalışmada elde edilen yaş su kaynaklarının bu sırt boyunca yaklaşık son 12.000 yıl içinde kesintisiz yüzeye çıktığını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan gözlemler, sırtın oluşumu ile KAFZ'nin aktivitesi arasında yakın bir ilişki olduğunu somut olarak ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu sırt, KAFZ üzerinde geçmiş dönemlerde meydana gelen büyük depremlerin kayıtlarını saklama potansiyeline sahiptir. Bu verilerin belirlenmesi ve yaşlandırılması KAFZ'nin geçmiş dönemlerdeki deprem aktivitesini anlamaya yönelik çalışmalara önemli katkılar sağlayabilir.

ORCID

Bekir Levent Mesci  <https://orcid.org/0000-0002-7983-3923>

Halil Gürsoy  <https://orcid.org/0000-0003-4398-871X>

Bassam Ghaleb  <https://orcid.org/0000-0002-2263-8895>

Orhan Tatar  <https://orcid.org/0000-0001-9579-1607>

REFERENCES / DEĞİNİLEN BELGELER

- Akpınar, Z., Gürsoy, H., Tatar, O., Büyüksaraç, A., Koçbulut, F. and Piper, J.D.A., 2016. Geophysical analysis of fault geometry and volcanic activity in the Erzincan Basin, Central Turkey: Complex evolution of a mature pull-apart basin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 116, 97-114.
- Altunel, E., 1994. Active tectonics and the evolution of Quaternary travertines at Pamukkale, Western Turkey. Bristol University, UK, PhD Thesis, 236p (unpublished).
- Altunel, E., 1996. Pamukkale Travertenlerinin Morfolojik Özellikleri, Yaşları ve Neotektonik Önemleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 118, 47-64.
- Altunel, E. and Hancock, P.L., 1993a. Morphological features and tectonic setting of Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. *Geological Journal*, 28, 335-346.

- Altunel, E. and Hancock, P.L., 1993b. Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. *Zeitschrift Geomorphologie Supplementary*, 94, 285-302.
- Altunel, E. and Karabacak, V. 2005. Determination of horizontal extension from fissure-ridge travertines: a case study from the Denizli Basin, Southwestern Turkey. *Geodinamica Acta* 18, 333–342.
- Altunel, E. and Hancock, P.L., 1996. Structural attributes of travertine filled extensional fissures in the Pamukkale plateau, western Turkey. *International Geology Review* 38, 768-777.
- Ambraseys, N.N., and Finkel, C.F., 1995. The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review, 1500–1800. Eren Publishing House, İstanbul, 240 p.
- Barka, A.A., 1996. Slip distribution along the North Anatolian fault associated with the large earthquakes of the period 1939- to 1967. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86 (5), 1238-1254.
- Benjelloun, Y., de Sigoyer, J., Dessales, H., Garambois, S. and Şahin, M., 2018. Construction history of the aqueduct of Nicaea (Iznik, NW Turkey) and its on-fault deformation viewed from archaeological and geophysical investigations. *Journal of Archaeological Science: Reports* 21, 389–400.
- Brogi, A., Capezzuoli, E., Alçiçek, M.C. and Gandin, A., 2014. Evolution of a fault- controlled fissure-ridge type travertine deposit in the western Anatolia extensional province: the Çukurbağ fissure-ridge (Pamukkale, Turkey). *Journal of the Geological Society*, 171, 425-441.
- Brogi, A., Alçiçek, M.C., Yalçın, C.Ç., Capezzuoli, E., Liotta, D., Meccheri, M., Rimondi, V., Ruggieri, G., Gandin, A., Boschi, C., Büyüksaraç, A., Alçiçek, H., Bülbül, A., Baykara, M.O. and Shen, C.C., 2016. Hydrothermal fluids circulation and travertine deposition in an active tectonic setting: insights from the Kamara geothermal area (western Anatolia, Turkey). *Tectonophysics*, 680, 211-232.
- Brogi, A. and Capezzuoli, E., 2009. Travertine deposition and faulting: the fault- related travertine fissure ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy). *International Journal of Earth Science (Geologische Rundschau)*, 98 (4), 931-947.
- Chafetz, H.S. and Folk, R.L., 1984. Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Research*, 54 (1), 289-316.
- Çakır, Z., 1998. Along-strike discontinuity of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition: examples from Western Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 8, 67-80.
- Çolak, E.S., Özkul, M., Aksoy, E., Kele, S. and Ghaleb, B., 2015. Travertine occurrences along major strike-slip fault zones: Structural, depositional and geochemical constraints from the Eastern Anatolian Fault System (EAFS), Turkey. *Geodinamica Acta*, 27 (2-3), 154-173.
- De Filippis, L. and Billi, A. (2012). Morphotectonics of fissure ridge travertines from geothermal areas of Mammoth Hot Springs (Wyoming) and Bridgeport (California). *Tectonophysics*, 548–549, 34–48.
- Demirtaş, R., 2000. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Abant ve Gerede Arasında Kalan Bölümünün Neotektonik Özellikleri ve Paleosismisitesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 191 s.
- Eikenberg, J., Vezzu, G., Zumsteg, I., Bajo, S., Ruethi, M. and Wyssling, G., 2001. Precise two chronometer dating of Pleistocene travertine: The $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ and $^{226}\text{Ra}_{\text{ex}}/^{226}\text{Ra}(0)$ approach. *Quaternary Science Reviews*, 20 (18), 1935-1953.
- Engin, B., Güven, O. and Köksal, F., 1999a. Electron spin resonance age determination of a travertine sample from the southwestern part of Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 51 (6), 689-699.
- Engin, B., Güven, O. and Köksal, F., 1999b. Thermoluminescence and electron spin resonance properties of some travertines from Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 51 (6), 729-746.
- Grün, R., 1989. Electron spin resonance (ESR) dating. *Quaternary International*, 1, 65-109.
- Gürsoy, H., Tatar, O., Akpınar, Z., Polat, A., Mesci, B.L. and Tuncer, D., 2013. New observations on the 1939 Erzincan Earthquake surface rupture on the Kelkit Valley segment of the North Anatolian Fault Zone, *Turkey Journal of Geodynamics*, 65, 259-271.

- Hakyemez, Y.H. and Papak, İ., 2002. 1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Samsun Paftası. Editör: Mustafa Şenel. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hancock, P.L., Chalmers, R.M.L., Altunel, E. and Çakır, Z., 1999. Travertines: Using Travertines in Active Fault Studies. *Journal of Structural Geology*, 21, 903-916.
- Heimann, A. and Sass, E., 1989. Travertines in the northern Hulla Valley, Israel. *Sedimentology*, 36, 95-108.
- Herece, E. and Akay, E., 2003. Atlas of North Anatolian Fault (NAF). General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication series-2, Ankara, 61 p+13 appendices as separate maps.
- Karabacak, V., Uysal, T., Mutlu, H., İmer, E.Ü., Dirik, K., Feng, Y., Akıska, S., Aydoğdu, İ. and Zhao, J., 2019. Are U-Th dates correlated with historical records of earthquakes? Constraints from co-seismic carbonate veins within the North Anatolian Fault Zone. *Tectonics* 38 (7), 2431-2448.
- Ludwig, K.R. and Paces, J.B., 2002. Uranium-Series Dating of Pedogenic Silica and Carbonate, Crater Flat, Nevada. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 66, (3), 487-506.
- Mallick, R. and Frank, N., 2002. A new technique for precise uranium-series dating of travertine micro-samples. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66 (24), 4261-4272.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., and Veis, G., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research* 105, 5695-5719.
- Mesci, B.L., 2004. Sıcak Çermik ve Yakın Yöresindeki (Sivas) Travertenlerin Gelişimi ve Aktif Tektonikle İlişkisi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 245 s (unpublished).
- Mesci, B.L., 2012. Active Tectonics Properties and significance within Central Anatolian Neotectonic Structures of the Ortaköy Fissure Ridge Travertines. *Geodinamica Acta*, 25 (1-2), 12-25.
- Mesci, B. L., Erkman, A. C., Gürsoy, H and Tatar, O., 2018. Fossil findings from the Sıcak Çermik fissure ridge type travertines and possible hominid tracks, Sivas, Central Turkey. *Geodinamica Acta*, 30 (1), 15-30.
- Mesci, B.L., Gürsoy H., and Tatar, O., 2008. The evolution of travertine masses in the Sivas area (central Turkey) and their relationships to active tectonics. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7 (2), 219-240.
- Noten, K.V., Topal, S., Baykara, M.O., Özkul, M., Claes, H., Aratman, C. and Swennen, R., 2019. Pleistocene-Holocene tectonic reconstruction of the Ballık travertine (Denizli Graben, SW Turkey): (De)formation of large travertine geobodies at intersecting grabens. *Journal of Structural Geology*, 118, 114-134.
- Oral, M.B., 1994. Global Positioning System (GPS) Measurements in Turkey (1988-1992): Kinematics of the Africa-Arabia-Eurasia Plate Collision Zone. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, United States, PhD thesis, 344 p.
- Polat, S., 2011. Türkiye’de Traverten Oluşumu, Yayılış Alanı ve Korunması. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 389-428.
- Pons-Branchu, E., Hillaire-Marcel C., Deschamps, P., Ghaleb B, and Sinclair, D.J., 2005. Early Diagenesis Impact On Precise U-Series Dating Of Deep-Sea Corals: Example Of A 100-200-Year Old Lophelia Pertusa Sample From The Northeast Atlantic, *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 69 (20), 4865-4879.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. and Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111 (B05411), 1-26.

- Riedel, W., 1929. Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen. Zentral-Blatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie B, 354-368.
- Rink, W.J., Schwarcz, H.P., Lee, H.K., Valdés, V.C., Quirós, F.B. and Hoyos, M., 1997. ESR dating of Mousterian levels at El Castillo Cave, Cantabria, Spain. *Journal of Archaeological Science*, 24 (7), 593-600.
- Semghouli, S., Choukri, A., Cherkaoui El Moursli, R., Jahjouch, E., Chouak, A., Ben Mohammadi, A., Latiris, M., Reyss J. -L. and Plaziat J. L., 2001. Th/U dating of marine and continental mollusk shell, and travertine samples in Quaternary deposits in Morocco. *Radiation Physics and Chemistry*, 61 (3-6), 697-699.
- Seymen, İ., 1975. Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, İstanbul, PhD Thesis, XIX+192 pp. +2 foldout maps.
- Shen, C.C., Lin, K., Duan, W., Jiang, X., Partin, J.W., Edwards, R.L., Cheng, H. and Tan, M., 2013. Testing the annual nature of speleothem banding. *Nature, Scientific Reports*, 3, Article no: 2633 (2013).
- Soligo, M., Tuccimei, P., Barberi, R., Delitala, M.C., Miccadei, E., and Taddeucci, A., 2002. U/Th dating of freshwater travertine from Middle Velino Vadisi (Central Italy): paleoclimatic and geological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 184 (1-2), 147-161.
- Sturchio, N.C., Kenneth, L.P., Michael T.M. and Michael L.S., 1994. Uranium-Series Ages of Travertines and Timing of the Last Glaciation in the Northern Yellowstone Area, Wyoming-Montana. *Quaternary Research*, 41 (3), 265-277.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Pichon, X.L. and Rangin, C., 2005. The North Anatolian Fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Şimşek, Ş. 2003. Türkiye’de Jeotermal Enerji Potansiyeli. Mavi Gezegen, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 7, 48-53.
- Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy, H., Cakir, Z., Ergintav, S., Akpınar, Z., Koçbulut, F., Sezen, F., Türk, T., Hastaoğlu, K.Ö., Polat, A., Mesci, B.L., Gürsoy, Ö., Ayazlı, E., Çakmak, R., Belgen, A. and Yavaşoğlu, H., 2012. Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) from GPS measurements. *Tectonophysics*, 518, 55-62
- Temiz U. and Eikenberg J., 2011. U/Th dating of the travertine deposited at transfer zone between two normal faults and their neotectonic significance: Cambazlı fissure ridge travertines (the Gediz Graben-Turkey). *Geodinamica Acta*, 24 (2), 95-105.
- Temiz, U., Gökten, E. and Eikenberg, J., 2013. Strike-slip deformation and U/Th dating of travertine deposition: Examples from North Anatolian Fault Zone, Bolu and Yeniçağ Basins, Turkey. *Quaternary International*, 312, 132-140.
- Wilcox R.E., Harding T.P. and Seely D.R., 1973. Basic Wrench Tectonics. *AAPG*, 57 (1), 74-96.
- Zabcı, C., Akyüz, H.S., Karabacak, V., Sançar, T., Altunel, E., Gürsoy, H. and Tatar, O., 2011. Palaeoearthquakes on the Kelkit Vadisi segment of the North Anatolian Fault, Turkey: Implications for the surface rupture of the historical 17 August 1668 Anatolian Earthquake, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20: 4, 411-427.



**Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın Güncel Deformasyonu:
Batıya Doğru Kaçıştan Kaynaklanan Blok Hareketleri**
*Recent Deformation of the Western Anatolia Tectonic Wedge:
Block Motions Caused by Escape to the West*

Fuat Şaroğlu¹ , Bahadır Güler*² 

¹Ümitköy Mh. Beril Sit. 2511 Sk. No:19 Çankaya 06810 Ankara Türkiye

²Gültepe Mh. 750 Cd. C2(3B) No:13 Altındağ 06080 Ankara Türkiye

• Geliş/Received: 17.07.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 24.09.2019 • Kabul/Accepted: 01.10.2019
• Çevrimiçi İlk Yayın/Available online: 10.02.2020 • Baskı/Printed: 01.04.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Türkiye'nin Neotektoniği ile ilgili araştırmaların tümünde Batı Anadolu ayrı bir bölge olarak kabul edilmektedir. Neotektonik dönem, bazı araştırmacılara göre Üst Oligosen; bazılarına göre ise Üst Miyosen'de başlamakta ve günümüze kadar devam etmektedir. Bölgenin bu süreçte kuzey-güney yönde genişlediği kabul edilmektedir. Buna bağlı olarak doğu-batı genel gidişli grabenler oluşmaktadır. Bu yorumda, kuzey-güney yönlü uzamanın ortaya çıkmasına neden olan normal fayların sıyrılma (detachment) fayı niteliğine ulaştığı savunulmaktadır. Arazi çalışmalarında izlenebildiği gibi bu dönemde kıvrımlar, doğrultu atımlı faylar da gelişmiştir. Aynı şekilde yalnız graben sistemi ile açıklanamayacak dönem çökellerinin havza geometrisi ve boyutları da söz konusudur. Volkanizmanın kimyası ile yüzeylendiği alanlarda aykırılıklar bulunmaktadır. Henüz bu tür sorunlara açıklık getirilememiştir. Neotektonik dönemin evrimi ile ilgili zaman-mekân-neden ilişkisi kurularak yapılan açıklamalar soyut modellemeye gidememektedir.

Bu makalede, bugüne kadar önerilen modellerdeki tartışmalara çözüm amaçlı farklı bir yaklaşım modeli önerilmektedir. Öneri, Batı Anadolu'nun Neotektoniğini anlayabilmek için bölgenin günümüzdeki deformasyon şeklini ortaya çıkarmak ve geriye doğru geliştirilerek neotektonik evrimi anlatma ilkesine dayanmaktadır.

Günümüzde Batı Anadolu olarak tanımlanan tektonik bölge, doğuda kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu Bursa-Eskişehir-Afyon ile kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu Muğla-Afyon Fay Zonları arasında kalan, batıya doğru açılan devrik "V" içindeki bir alanı kaplamaktadır. Bölge, batıya ilerleme esnasında; bölgede var olan litolojik farklılık, paleotektonik yapılar, volkanizma vb. nedenlerle levha içi bloklara ayrılmaktadır. Birbirinden ayrılan bu blokların farklı hareketleri sonucunda bölge deformasyona uğramaktadır. Ayrılan blokların boyutları, hareket hızları ve yönleri bu farklı hareketleri yönlendiren önemli etkenlerdir. Bloklarda ortaya çıkan farklı hareketlerle; blok sınırlarında normal, ters ve doğrultu atımlı faylar ile açılma çatlakları ortaya çıkmaktadır. Bu modelde aynı fay düzleminin farklı yerlerinde değişik hareketler gözlemlenmektedir. Yine bölgede eş yaşta birbirine paralel; fakat farklı yönde hareket eden yapılar da bulunabilmektedir. Blok hareketlerinin toplamında bölge batı-güneybatıya doğru ilerlemektedir. Bloklar arasında meydana gelen açılmalarda yer yer graben geometrisine ulaşanlar bulunmaktadır.

Önerilen bu modele göre; Batı Anadolu'da günümüzde gözlenen doğu-batı gidişli grabenlerin, kuzey-güney yönlü genişlemenin ürünü olmadığı sonucuna ulaşılabilir. Günümüzde, yörede en fazla açılma devrik "V" şeklindeki bloğun doğu sınırlarındadır. Sınırın kuzeyinde Kula Volkanitleri, güneyde Pamukkale yöresinde yoğun termal çıkışlar görülmektedir. 1995 Dinar Depremi'nde 10 km uzunluğundaki kırılma ile Sarıgöl'deki asismik deformasyon hareketleri açılma çatlakları niteliğindedir.

Bölgede yapılan paleomanyetizma, kabuk kalınlığı, GPS ve deprem fay düzlemi çözümleri bu modeli destekler niteliktedir. Önerilen bu kinematik modelin günümüzden yaklaşık 3-4 milyon yıl öncesinden itibaren çalışmakta olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Batı Anadolu, aktif tektonik, deformasyon

Abstract: *All research on neotectonics in Turkey accepts Western Anatolia as a distinct, separate region in which the neotectonic period began in Upper Oligocene, according to some researchers, and in Upper Miocene according to others, and has continued up to the present day. The region expanded in a north-south direction during this process grabens were formed, generally with an east-west orientation.*

In this interpretation, the normal faults causing a north-south oriented extension are proposed to have detachment fault characteristics. As observed in field studies, fold and strike-slip faults developed during this period but the sedimentary basin geometry and dimensions cannot be explained by a simple graben system. There are outliers in terms of the chemistry of volcanism in outcropping areas. Explanations for these inconsistencies have yet to be found and those based on time-space-causal relationships related to evolution in the neotectonic period do not go beyond abstract modelling.

In this presentation, a different model is suggested with the aim of solving controversies in the models proposed to date. The recommended method is based on the neotectonic evolution explanatory principle of revealing the current deformation form in a region in order to understand its neotectonics, and then working backwards from today.

Currently, the tectonic region defined as Western Anatolia encompasses an area between the northwest-southeast oriented Bursa-Eskişehir-Afyon Fault Zone and the northeast-southwest oriented Muğla-Afyon Fault Zone in the east, extending in a sideways V shape towards the west. Moving toward the west, the region is separated into intraplate blocks due to the lithological differences, paleotectonic structures and volcanism, etc. present in the region. The different movement velocities of these separate blocks cause deformation in the region. Significant factors affecting these motions are the dimensions, velocity and direction of the blocks. With the varying motion of the blocks, normal, reverse and strike-slip faults along with extensional fractures occur along the block boundaries. In this model, different movements may be observed in different locations on the same fault plane. Again, there are parallel, coeval structures found in the region, although they move in different directions. On the whole, block movements progress toward the west-southwest of the region. Extensions occurring between blocks occasionally form graben geometry.

According to this proposed model, the east-west oriented grabens currently observed in Western Anatolia are concluded not to be products of north-south oriented extensions. Currently, the greatest extension is on the eastern boundaries of the V-shaped block. Intensive thermal manifestations are observed north of this boundary in the Kula Volcanics and to the south in the Pamukkale region. The 10-km long fracture caused by the 1995 Dinar Earthquake and the aseismic deformation motion at Sarıgöl both have extensional fracture characteristics.

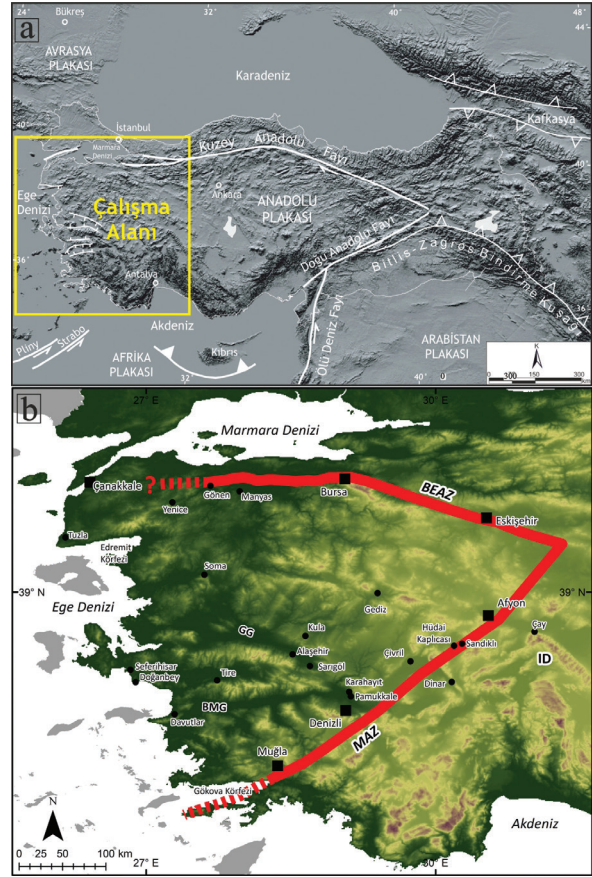
Paleomagnetism, crustal thickness, GPS data and the fault-plane solutions of earthquakes in the region support this model. This proposed kinematic model is thought to have been in operation about 3-4 million years before the present.

Keywords: Western Anatolia, active tectonics, deformation

GİRİŞ

Bu makalede, Bursa-Eskişehir-Afyon fay zone (BEAZ) ile Muğla-Afyon fay zone (MAZ) arasında yer alan bölüm (Şaroğlu vd., 1987) Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak tanımlanmıştır. Her iki fay zone batıya açılan devrik "V" şeklinde bir geometri ile bölgeyi sınırlamaktadır (Şekil 1). Bu sınırların kuzeyde Ege Denizi'ne, güneyde ise Akdeniz'e kadar devam etmesi olasıdır. Şekil 1'de görüldüğü gibi MAZ, Muğla'dan güneybatıya doğru olası çizilmiştir ve Datça Fay zone'na karşılık gelecek şekilde devam edebilir. Aynı şekilde; Aksu vd. (2009)'un, deniz tabanında ortaya koydukları sol yönlü doğrultu atımlı fayın da, MAZ'ın denizdeki devamı olduğu söylenebilir (Şekil 2).

Fay zonları olarak tanımlanan bu süreksizlikler tek bir çizgi ile ifade edilemeyecek şekilde farklı yapıların geliştiği bir zon niteliğindedir. Diğer bir deyişle, bu zonların farklı noktalarında normal, ters, doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlakları gibi çeşitli yapısal şekillerin karmaşası bulunmaktadır. Örneğin, Boray vd. (1985) Muğla-Afyon fay zone'nu normal fay bileşenli sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak tanımlamışlardır. Daha sonra yapılan çalışmalarda bu zonun bir normal fay özelliğinde olduğu belirtilmiştir (Alçıçek vd., 2006). Ancak tüm araştırmalarda varılan ortak nokta bu zonun birbirinden farklı jeodinamik özelliğe sahip olan Isparta Dirseği ile Batı Anadolu'yu ayıran bir zon olduğudur (Emre vd., 2013 ve 2018; Kaymakçı vd., 2017). Bölgenin kuzeyini sınırlayan Bursa-Eskişehir-Afyon fay zone üzerinde bu amaçla yapılan çalışmalar sınırlıdır. Konu ile ilgili çalışmaların çoğu Eskişehir'den geçen ve 1953'te bir depremle sınırlanmış olan Eskişehir Fayı üzerinde odaklanmaktadır. Bu alanda da araştırmacıların çalıştıkları yöredeki gözlemlere göre normal fay (Gözler vd., 1984-1985) veya sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay zone olduğu (Şaroğlu vd., 1987, 1992 ve 2005) belirtilmiştir. Bu gözlemler tanımlanan zonun yapısal karmaşasını göstermektedir (Boray vd., 1985; Kürçer vd., 2016).

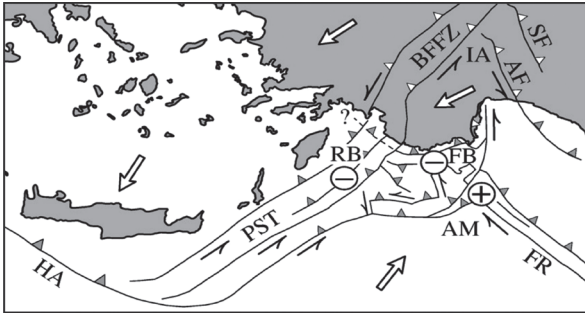


Şekil 1. a) Yer bulduru haritası. b) Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın sınırı (BEAZ: Bursa-Eskişehir-Afyon Fay Zone, MAZ: Muğla-Afyon Fay Zone, GG: Gediz Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni, ID: Isparta Dirseği).

Figure 1. a) Location map. b) Boundary of Western Anatolia Tectonic Wedge (BEAZ: Bursa-Eskişehir-Afyon Fault Zone, MAZ: Muğla-Afyon Fault Zone, GG: Gediz Graben, BMG: Büyük Menderes Graben, ID: Isparta Angle).

Bölgenin neotektoniği ile ilgili çok sayıda yayın bulunmaktadır. Tüm bu yayınlarda neotektoniğin başlangıcı belli bir zaman aralığına göre kabul edilerek günümüze kadar yapısal evrim yorumlanmaktadır. Bu tip yaklaşımlarda neotektonik başlangıç için baz alınan bilgilerin hatalı olması evrimi yanlış sonuçlara ulaştırmaktadır. Bu makale, Batı Anadolu'daki güncel deformasyonu arazi gözlemlerine

göre tanımlayıp, jeolojik evrimi daha eski deformasyonlara doğru götürmenin doğru olacağı düşüncesiyle yazılmıştır. Amaca sağlıklı bir şekilde yaklaşabilmek için Batı Anadolu'da bulunan kaya toplulukları özet olarak tanımlanıp geçirdikleri jeodinamik süreçler anlatılacaktır. Bölgenin jeodinamik evrimini inceleyen Yılmaz (2017)'de, son yıllarda toplanan yeni verilere rağmen, Batı Anadolu'nun jeolojisi ile ilgili bazı önemli sorunların çözülmediğini vurgulamıştır. Jeodinamik süreçleri açıklayabilmek için olaylara Anadolu ve çevresi boyutuyla bakılacaktır.



Şekil 2. Rodos ve çevresinin Kuvaterner'deki tektonik evrimini gösteren şematik model (Aksu vd., 2009'dan alınmıştır). - ve + işaretleri sırasıyla çöken ve yükselen yerleri ve dönemleri, beyaz oklar göreceli blok hareketini göstermektedir, (AM: Anaksimander Dağı, BFFZ: Burdur-Fethiye Fay Zonu, FB: Finike Baseni, FR: Florence Yükselimi, HA: Helen Yayı, IA: Isparta Büklümü, PST: Pliny-Strabo Hendekleri, RB: Rodos Baseni).

Figure 2. Schematic model showing Quaternary tectonic evolution of the Rhodes Basin and environs (from Aksu et al. 2009). - and + signs indicate periods and locations of subsidence and uplift, respectively. White arrows indicate relative block motions (AM: Anaximander Mountain, BFFZ: Burdur-Fethiye Fault zone, FB: Finike Basin, FR: Florence Rise; HA: Hellenic Arc, IA: Isparta Angle, PST: Pliny-Strabo Trenches, RB: Rhodes Basin).

BATI ANADOLU'DA BULUNAN KAYA TOPLULUKLARI

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yenilenen 1/500.000 ölçekli jeoloji

haritasına bakıldığında (Konak vd., 1987; Konak, 2002; Konak ve Şenel 2002) bölgede birbirinden farklı yaş, kaya türü ve tektonik stille ayrılabilen kaya topluluklarının olduğu görülür. Yılmaz (2017)'de, bölgenin jeodinamiğini kapsayacak şekilde kaya topluluklarını ayrıntılı bir şekilde irdelemiştir. Bu makalede, litostratigrafik birimler ayrı ayrı anlatılmamıştır. Birim bazında bölge jeolojisini anlatma yerine, her jeodinamik süreçte bütünlük oluşturan kayalar birer kaya topluluğu olarak alınmıştır. Bu mantık çerçevesinde, bölgede bulunan kaya toplulukları yaşlıdan gence doğru özet olarak şöyle sıralanabilir (Şekil 3).

Paket	Kaya Topluluğu	Yaş Aralığı	Tektonik Dönem	Litoloji	Açıklama
5	Pliyo-Kuvaterner		Neotektonik		Alüvyon ve flüvyal sedimanlar.
4					? Nonkonformite
3	Oligo-Miyosen		Paleotektonik		Çeşitli klastikler, evaporitler ve traverten kireçtaşları.
2					Nonkonformite
1	Menderes Masifi	Geç Paleozoyik Prekambriyen			Gölsel ve flüvyal klastikler, kireçtaşı, kömür, volkanikler ve granit.
2				İzmir-Ankara Zonu	Üst Kretase Triyas ?
					Nap
					Gnays, metagranit, şist ve mermer.

Şekil 3. Batı Anadolu'nun genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.

Figure 3. Simplified stratigraphic column of western Anatolia.

Bölgede bulunan en yaşlı kaya topluluğu metamorfite olup; gnays, metagranit, şist ve mermerlerden oluşur. Yayınlarda bu paketteki kayalar, yaşlıdan gence doğru azalan metamorfizma derecesine göre alt birimlere ayrılmıştır. Bazı çalışmalarda da kayaların içerdiği mineral topluluklarına göre metamorfik fasiyeslere ayrılmıştır (Konak vd., 1987; Candan vd., 1992; Dora vd., 1992; Erdoğan ve Güngör, 1992). Bu birimlerin yaşları Pre-Kambriyen-Geç Paleozoyik olarak kabul edilmektedir. Birim yayınlarında Menderes Masifi olarak adlandırılmaktadır. Özer vd. (2001)'de, Menderes Masifi'nin üst seviyesi olarak kabul ettikleri karbonatların içinde buldukları fosillere göre Üst Kretase yaşından bahsetmektedirler.

Bölgede bulunan diğer bir kaya topluluğu ofiyolitler ile bunlara eşlik eden pelajik kireçtaşı, çamurtaşı, kırıntılılar ve melanjdan oluşmaktadır. Birimin Triyas (?) – Geç Kretase aralığında gelişmiş olduğu ve İzmir-Ankara Zonu'nu temsil ettiği düşünülmektedir (Erdoğan, 1990; Okay ve Siyako, 1993).

Batı Anadolu'da yaygın olarak gözlenen üçüncü kaya topluluğu kırıntılılar ve karbonatlı kayalardan oluşur (Şekil 4).

Görsel ve/veya akarsu fasiyesinde olan bu kayalar eş yaşlı olarak değişik havzalarda çökelmişlerdir. Bu döneme ait bazı kayaların daha önce karstlaşma sonucunda ortaya çıkmış olan polye türü çökelim alanlarında olduğu önerilmektedir (Şaroğlu vd., 1987; Şaroğlu ve Yılmaz, 1990; Emre vd., 1998; Şaroğlu vd., 2015). Önerilen bölgenin hem doğusunda hem de güneyinde Toroslari ve Anadolu'nun büyük bir kısmını kaplayan Üst Oligosen-Alt Miyosendenizel fasiyesi, bu alanda sadece Kale-Tavas çevresinde yüzeylenmektedir. Bu büyük transgresyon, Menderes Masifi ve çevresine ulaşmamıştır. Bu gibi çökellerin etrafının daha yaşlı kireçtaşıyla sınırlanmış olduğu gözlenebilmektedir. Bölgede çökellerle eş yaşlı olarak asidik karakterde magmatik kayalar bulunmaktadır. Bu paket içinde kabul edilen Oligosen yaşlı asidik volkanizmanın yoğun olduğu yerlerdeki kaya toplulukları çekirdek kompleks özelliği göstermektedir (Okay ve Satır, 2000). Bu kaya toplulukları ile yaşlı geniş alanlarda yüzeylenen granit mostralari bulunmaktadır. Bu kaya topluluklarının diğer bir özelliği Erken Miyosen yaşlı olan istiflerinde yüksek kalorili kömür seviyelerinin varlığıdır (Nebert, 1978). Üçüncü paket olarak tanımlanan bu kaya toplulukları Oligosen-Erken Miyosen



Şekil 4. Üçüncü grup ile ilgili kayalar. a) Karbonatlı kayalar, Aşağı Şakran, İzmir. b) Kırmızı klastik kayalar, güney Alaşehir, Manisa.

Figure 4. Rocks of third group. a) Carbonate rocks, Aşağı Şakran, İzmir. b) Red clastic rocks, south Alaşehir, Manisa.

yaşlıdır. Bölgenin çok sınırlı alanlarında Geç Eosen ve Geç Miyosen yaşlı kayalar gözlenmiştir (Helvacı ve Yağmurlu, 1995; Helvacı, 1995; Helvacı ve Orti, 1998; Helvacı, 2015; Helvacı, 2019). Bu birimlerin paketlerdeki konumları tartışmalıdır. Candan vd. (1992)'de, Menderes Metamorfiklerini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Bu yayında, Menderes Masifi'nin naplı yapıya sahip olduğu ve Eosen yaşlı kaya toplulukların da bu metamorfizmaya katıldıkları belirtilmiştir. Bu makalenin amacında önemli bir değişiklik getirmeyeceği için, bu birimlerin konumları tartışılmayacaktır.

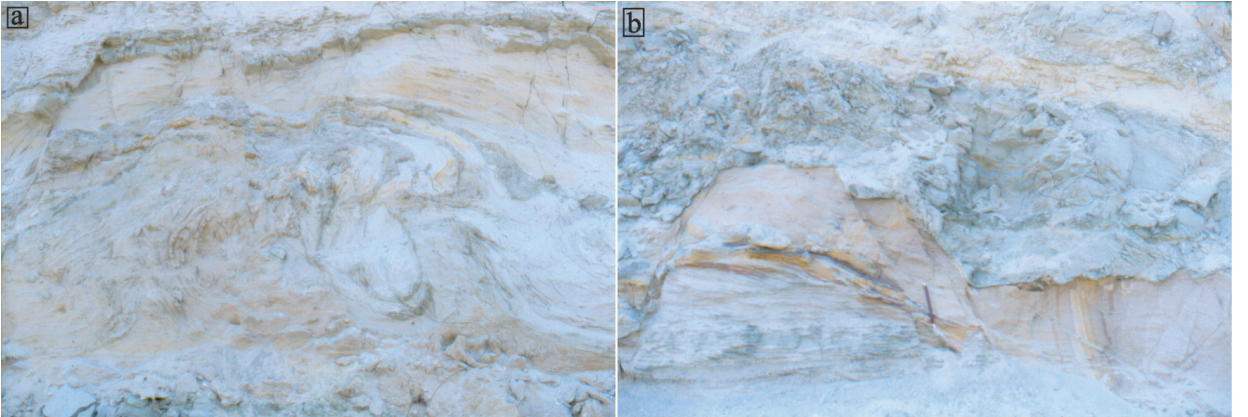
Batı Anadolu'da bulunan en genç kaya topluluğu Pliyosen'de başlayıp Kuvaterner'e kadar devam eden birimlerden oluşur. Pliyosen yaşlı birimler etkin tektoniği ifade eden kırıntılı kaya toplulukları ile bunlara eşlik eden travertenimsi dokulu kireçtaşlarından meydana gelir. Birimler bölgenin büyük bir bölümünde benzer fasiyes özelliklerinde izlenebilmektedir. Tektoniğin yoğun olduğu yerlerde çökellerin içinde slump yapıları ile sin-sedimanter tektonik yapılar mevcuttur (Şekil 5).

Sakin çökelim alanlarında ise düşük kalorili kömürler bu seviyelerin arasında bulunmaktadır (Nebert, 1978). Paket içinde bulunan Kuvaterner yaşlı çökeller günümüz morfolojisine yansımış çöküntü alanlarında yerleşmişlerdir. Akarsu çökelleri ile eş yaşlı kolüvyal malzemenin oluşmuşlardır. İçlerinde Erken Kuvaterner'e ait yaş bulguları bulunmaktadır (Ünay vd., 1995; Hakyemez vd., 2013).

Kuvaterner yaşlı birimler günümüz izole çökelim alanları içinde yer aldıklarından, farklı alanlardaki çökeller ile korele etmek veya birleştirmek söz konusu değildir.

Batı Anadolu'da var olan kaya toplulukları Geç Oligosen'den beri karasal ortamda çökeldikleri, birbirlerine benzer kayalardan oluştukları ve bazı alanlarda sürempoze olduğu görülmektedir. Bu gibi alanlarda Üst Oligosen-günümüz zaman aralığının tektonik evrimini çıkarmakta yararlıdır.

Batı Anadolu'ya ait olduğu tanımlanan bu kaya toplulukları güneyde Muğla-Bodrum (Boray vd., 1975 ve 1985), batıda Karaburun yarımadası



Şekil 5. a-b) Dördüncü grup ile ilgili slump yapıları, Söke-Kuşadası arası, Aydın.

Figure 5. a-b) Slump form belonging to fourth group, between Söke and Kuşadası, Aydın.

(Erdoğan, 1990), güneydoğuda Toros Dağları'na (Konak ve Şener, 2002) ve kuzeyde Sakarya Kıtası'na ait (Bingöl vd., 1975; Okay vd., 1991) kaya toplulukları tarafından tektonik dokanaklarla sarılmaktadır. Bu yazının amacı bölgede yaşanmış olan tüm jeodinamik süreçleri aydınlatmak değildir. Amaç, bölgede yaşanan jeodinamik süreçler dikkate alınarak, neotektonik dönem havzalarındaki deformasyonları aydınlatmaktır.

Konuya açıklık getirmek, jeolojik süreçlerde meydana gelen deformasyonların neden olduğunu, sebep-sonuç ilişkileri kurarak aydınlatmak ile gerçekleşir. Bu sorulara yanıt bulmak için araştırmamızın bölgesi dışına taşıp tüm Anadolu ve yakın çevresini içine alacak şekilde irdelenmesi gerekmektedir.

ANADOLU'NUN JEODİNAMİĞİNE GENEL BİR BAKIŞ

Türkiye Jeolojisi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunları bu yayında dile getirmek konunun çok dışına çıkar. Ancak MTA, bu çalışmaları değerlendirerek 1/500.000 ölçekli haritalar şeklinde yayımlamıştır. Yayınların çoğunda olduğu gibi MTA'nın bu haritalarında da ayırtılabilen kaya türleri ve bu kaya türlerinin fasiyeslerini tanımlama ötesinde bilgi içermemektedir. 1981 yılında Şengör ve Yılmaz tarafından yayımlanan makalede Geç Paleozoyik'ten günümüze kadar gelişen jeodinamik süreçler anlatılmıştır. Her iki yayın birbirini tamamlar niteliktedir. Şengör ve Yılmaz (1981)'de, Geç Paleozoyik'ten günümüze kadar geçen zaman içinde, Anadolu ve yakın çevresinin jeodinamiğini Tetis Okyanusu'nun açılması, kapanması ve sonrası meydana gelen kıta-kıta çarpışmalarına bağlamaktadırlar. Tetis'in farklı kollarının açılması, kapanması ve kapanma sonrası çarpışmaları bölgeye farklı tektonik stiller kazandırmıştır. Kıta-kıta çarpışmaları sonrası orojenez olarak tanımlanan dağ oluşumları meydana gelmiştir. İşte bu olaylar zincirinin kendi

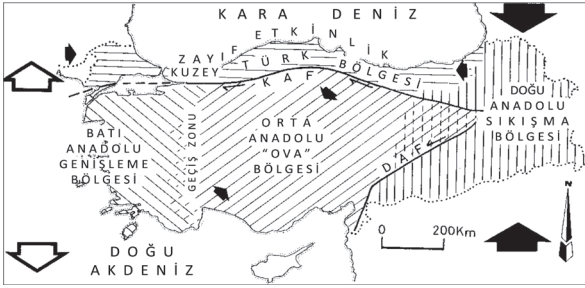
içinde bir bütünlük sağlayarak Geç Paleozoyik'ten günümüze kadar evrimini anlatmak bu makalenin (Şengör ve Yılmaz, 1981, 1983) içinde yer almaktadır. 1981'de yapılan bu yayından sonra sınırlı alanlarda bazı düzeltmeler önerilmiş ise de önerilen modelde önemli değişiklik henüz olmamıştır.

Anadolu'da meydana gelen en son tektonik rejim değişikliğinden bir önceki döneme ait jeolojik konum ile neotektonik evrim özet olarak Şengör (1980) ile Şengör ve Yılmaz (1981) makalelerinden alınmıştır. Tetis Okyanusu'nun Geç Paleozoyik'ten beri açılıp kapanması birer rejim değişikliği üretmiştir. Tetis Denizi'nin Orta?-Geç Miyosen'de Güneydoğu Anadolu'da en son kapanması, yeni bir tektonik rejim ortaya çıkarmıştır. İşte günümüze kadar devam ettiği kabul gören bu rejimde kıta-kıta çarpışması gerçekleşmiştir. Arap Levhası ile Avrasya Levhası arasında meydana gelen bu çarpışmadan, Anadolu ve yakın çevresinde yeni bir tektonik rejim ortaya çıkmıştır (Şengör, 1980; Şengör vd., 1985; Şaroğlu, 1985; Şaroğlu ve Yılmaz, 1985). Türkiye'nin neotektoniği ile ilgili yapılmış olan çalışmalar Şengör vd. (1985), Bozkurt (2001) ve Emre vd. (2013) yayınlarında ayrıntılı bir şekilde görülebilir. Bu makalede tanımlayacağımız alandaki güncel deformasyon oluşumuna yanıt bulmaya yarar sağlayacağı için Türkiye'nin neotektoniğine öz olarak bakılacaktır.

Erken Miyosen'de Güneydoğu Anadolu'da Lice Baseni diye de tanımlanan denizel bir çökelim alanı bulunmaktadır. Yer yer olistolitleri kapsayan yüksek enerjili çökelimlerin varlığı bu denizin derin olduğunu göstermektedir. Çökellerin altında okyanusal kabuğun varlığı tartışmalıdır. Ancak kayaların çökeldiği denizin Tetis olduğu kesindir. Lice Baseni'nin çökeltme ortamının kuzeyinde ve güneyinde karbonatlarla temsil edilen sığ denizel fasiyesli birimler bulunmaktadır (Perinçek, 1980). Geç Miyosen'de güneydeki Arap Levhasıyla kuzeydeki Avrasya Levhası'nın birbirlerine yaklaşması sonucunda Lice Baseni

kapanmıştır. Bu kapanma sonucunda kıta-kıta çarpışması gerçekleşmiş ve en son olarak denizin Anadolu'dan çekilmesine neden olmuştur. Olay yorumlanacak olursa, kıta-kıta çarpışması Anadolu ve yakın çevresinde yeni bir rejim değişikliğine neden olmuştur. Bölgede kıta-kıta çarpışması sonucunda sıkıştırma nitelikli yapılar olan kıvrım, bindirme, doğrultu atımlı ana yapıları ile bunlara uyumlu açılma çatlakları ortaya çıkmıştır (Şengör ve Kidd, 1979; Şaroğlu ve Yılmaz, 1985; Şengör vd., 1985; Şaroğlu vd., 1987).

Süreç içinde bu yapılar gelişerek Anadolu'da Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, Orta Anadolu "Ova" Bölgesi ve Batı Anadolu Genişleme Bölgesi'nde açılmalı rejimin hüküm sürdüğü (Şekil 6) ortaya çıkmıştır (Şengör, 1980; Şengör vd., 1985).



Şekil 6. Türkiye'nin neotektonik bölgeleri. İçi siyah oklar kısılma, içi beyaz oklar ise genişleme yönlerini vermektedir (Şengör vd., 1985'den alınmıştır; KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı).

Figure 6. Neotectonic provinces of Turkey. Bold filled arrows indicate contraction direction, open arrows indicate extension direction. (from Şengör et al., 1985; KAF: North Anatolian Fault, DAF: East Anatolian Fault).

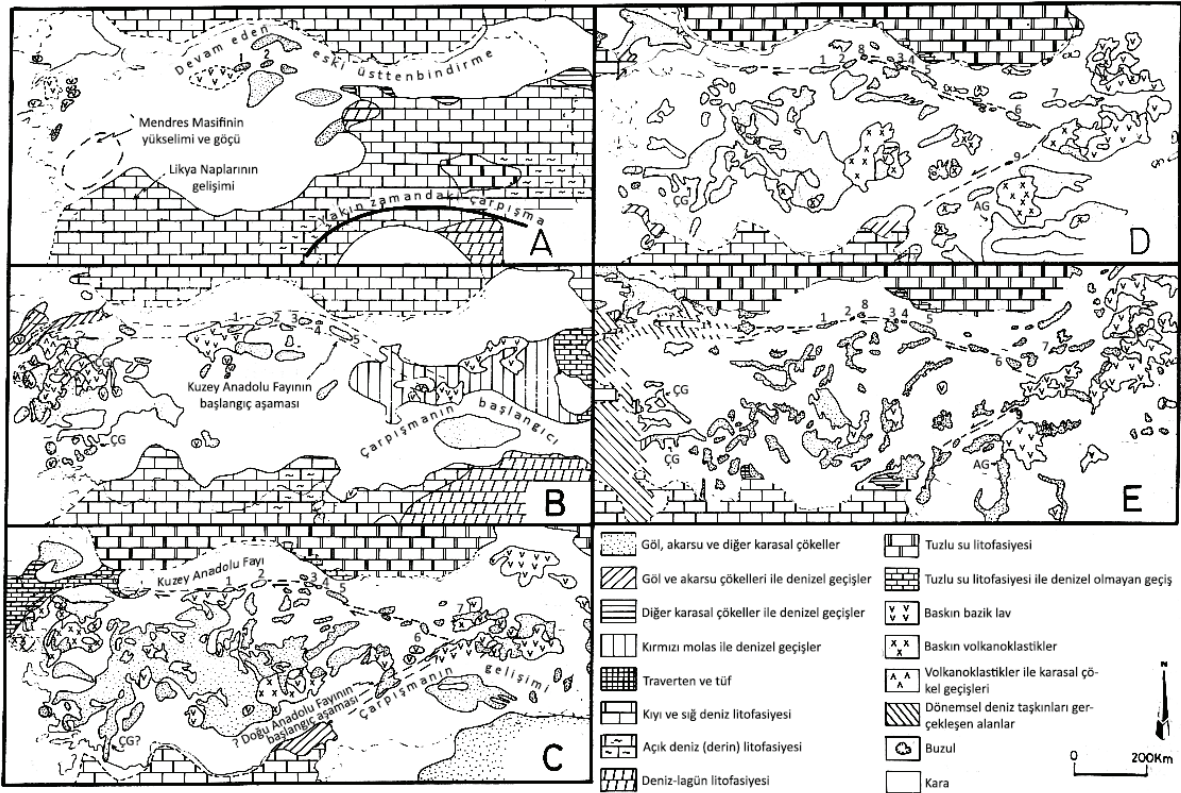
Kuzeyde Kuzey Türk Bölgesi'ni oluşturan Karadeniz Dağları, kuzeybatıda Trakya Havzası ile güneydoğuda kıvrımlar bölgesi aynı rejim altında deforme olan ikincil bölgeler olarak görülmektedir. Günümüzde kabul gören bu neotektonik bölge ayrımı, rejimin zaman içinde

deformasyonundaki evrimle ortaya çıkmıştır. Şöyle ki, Geç Miyosen sonuna kadar tüm Anadolu sıkışarak deformasyona uğramış ve ona uygun kıvrım, bindirme ve doğrultu atımlı faylar gelişmiştir. Erken Pliyosen'de ise Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı birleşerek transform niteliği kazanması sürecinde, bu bölümler şekillenmiştir. Her iki fay arasında ortaya çıkan Anadolu Bloğu (veya Levhacığı) batıya doğru kaçmaya başlamıştır (Şekil 6). Anadolu bloğunun batıya kaçıışı Batı Anadolu'nun tektonik rejimini değiştirecek kadar etkilemeye başlamıştır. Aynı zaman aralığında Ege'nin güneyinde yer alan dalma batma zonunun, Batı Anadolu'yu etkilemesi de söz konusudur. Neotektonik rejimin başında, Batı Anadolu'nun volkanizması, paleocoğrafyası ve temel kayaları, diğer bölgelerden farklılık göstermektedir. Tüm bu gözlemler, Batı Anadolu'nun neotektoniğinin yorumlanmasında farklı görüşler ortaya çıkarmıştır (Şekil 7). 40 yıllık arazi gözlemlerimize göre;

1-Erken Miyosen sonunda, Anadolu'nun büyük bir bölümünde peneplen veya peneplene yakın bir paleocoğrafya mevcuttu ve buralara güneyden gelen büyük bir transgresyon hareketi ile denizaltında bulunmaktaydı. Aynı zamanda Batı Anadolu ise deniz seviyesinden yüksekte kara halindeydi (Şekil 7). Önerilen bölgenin doğusunda ve güneyinde, Kale-Tavas arasında, denizel Oligosen mostraları olmakla beraber, aynı denizel kayaların Menderes Masifi ve çevresinde yüzeylendiğine dair hiçbir veri bulunmamaktadır.

2-Anadolu'da sınırlı düzeyde varolan volkanizma bazalt-andezit türü kayalarla temsil edilmekte ve olasılıkla derine doğru daralarak ilerlemekteydi.

Batı Anadolu'da eş yaşlı olarak asidik karakterde, granit, diyorit ve andezit türü kaya topluluklarından oluşan magmatizma mevcuttur. Bu kaya toplulukları derine doğru genişleyerek devam eden batolitler şeklindeydi. Andezitik çıkışların çoğu dom yapılıydı.



Şekil 7. Türkiye'nin Erken (A), Orta (B), Geç Miyosen (C), Pliyosen (D) ve Pleistosen (E) süresince palinspistik olmayan paleocoğrafya haritası (Şengör vd., 1985'den alınmıştır). A'daki kalın çizginin gösterdiği hat boyunca, Türkiye'nin güneydoğusu en son dalma-batma ve yanıl atım nedeniyle palinspistik süresince önemli ölçüde sıkışmıştır, (1: Çerkeş-Kurşunlu Havzası, 2: Tosya Havzası, 3: Havza Havzası, 4: Ladik Havzası, 5: Taşova-Erbaa Havzası, 6: Erzincan Havzası, 7: Erzurum Havzası, 8: Kargı Havzası, 9: Lake Hazar Havzası, AG: Akçakale Grabeni, ÇG: Çapraz Graben).

Figure 7. Non-palinspastic paleogeographic map of Turkey from Early (A), Middle (B), Late Miocene (C), Pliocene (D) to Pleistocene (E) (from Şengör et al., 1985). Thick black line in A in southeastern Turkey represents zone along which palinspastic continuity was significantly disturbed owing to later subduction and strike slip, (1: Çerkeş-Kurşunlu Basin, 2: Tosya Basin, 3: Havza Basin, 4: Ladik Basin, 5: Taşova-Erbaa Basin, 6: Erzincan Basin, 7: Erzurum Basin, 8: Kargı Basin, 9: Lake Hazar Basin, AG: Akçakale Graben, ÇG: Cross Graben).

3-Bu dönemde Anadolu'nun yaygın kaya topluluğu okyanus ürünü suture zonları ile bu okyanusların kenar denizlerine ait kayalarından oluşmakta iken, Batı Anadolu'da yaşı Pre-Kambriyen'e kadar uzanan gnayslardan, granitlerden, şistlerden ve mermerlerden oluşan bir kabuk bulunmaktaydı.

Bu nedenle, Geç Miyosen'de, Anadolu'da başlayan kıta-kıta çarpışması ürünü deformasyonda gelişen yapılar, Doğu ve Orta Anadolu'da yalın

ve tanımlanabilecek nitelikte olmasına karşın, Batı Anadolu'da daha karmaşık bir deformasyon oluşmuştur.

4-Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemi, Arabistan ve Avrasya'nın kıta-kıta çarpışması sonucunda oluşan bir deformasyonla tanımlanmakta ve batıya doğru ise Afrika Levhası'nın dalma-batma etkinliğinin etkisi de söz konusudur. Dolayısıyla, Batı Anadolu'yu etkileyen faktörler daha kompleksdir.

5-Erken Miyosen'de Anadolu'nun batısı dışındaki alanlarda büyük bir transgresyon ürünü denizel karbonatlar ile bu transgresyonun ilerisinde yer alan lagüner karakterde (jips, tuz, çamurtaşı) çökellerden ibaret kayalar ile temsil edilirken, Batı Anadolu'da tam tersine Oligosen sonunda hızla ülke yükselmiş, aşınmış ve bir batolit niteliğindeki granitler yerleşmiştir. Daha önceleri kalın bir kabuk ve buna bağlı yerleşen granitlerin hızlı bir şekilde yüzeye çıkması nedeniyle bu yükselimin sonucu olarak farklı alanlarda gölssel çökeller ve kömürlerle temsil edilen havzalar yer almıştır. Erken Miyosen'e doğru Anadolu'nun tümünde sıcak iklim hüküm sürmüştür. Bu süreçte, Anadolu'nun denizlerinde resifler gelişirken Batı Anadolu karasında hızlı bir karstlaşma meydana gelmiştir. Karstik oluşumun sonucunda, ortaya çıkmış olan, olasılıkla büyük polyeler şeklinde çökelim alanları da oluşmuştur. Durgun olan ortam nedeniyle bu alanlarda yüksek kalorili kömürler oluşmuştur. Bunlar için en iyi örnek Soma ve Tire Kömür Havzalarıdır (Helvacı ve Yağmurlu, 1995; Şaroğlu vd., 2015).

Yukarıda tanımlamaya çalıştığımız nedenlerle Geç Miyosen'de, Anadolu'da başlayan kıta-kıta çarpışmasının etkileri Anadolu'nun diğer alanlarında olduğu gibi Batı Anadolu'da da, o kadar sade ve sıradan olmamıştır.

Batı Anadolu'da deformasyonu etkileyen faktörlerin en önemlilerinden biri eski kaya toplulukları arasındaki süreksizlikler, deformasyona karşılık farklı dayanım gösteren kayalar ve magmatizmadır. Daha önemlisi ise, yeni dönem çökelleri ile Erken Miyosen dönem çökellerinin sürempoze olduğu alanlarda, çökelim ve deformasyon farklılığı zor açıklanabilmektedir. Bölgede neotektonik dönem jeodinamiğinin kompleks olması nedeniyle çok sayıda araştırmada farklı yorumlar veya sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu konuda yapılan araştırmaların çoğu lokal alanları kapsamaktadır. Söz konusu lokal araştırmalarda

elde edilen veriler, bölgenin geneline yorumlanmaktadır. Bu araştırmalarda tanımlanan deformasyon modellerinin çoğunda Basin and Range ile ilgili araştırmalardan yararlanılmıştır (Rojay vd., 2005; Seyitoğlu ve Işık, 2015)

Anlaşılmaktadır ki, başlangıç olarak anılan tanımlarda olabilecek hatalar sonuçlara büyük yanlışlıklara neden olmaktadır. Bu makaledeki amaç, farklı yorumlardan ve sonuçlardan yararlanarak Oligosen'den başlayarak günümüze doğru evrimi anlatmak değildir. O hâlde, önce Batı Anadolu'da süregelen bugünkü deformasyon ortaya çıkarılıp, sonra zamanda geriye doğru giderek zaman içinde gelişmiş olan diğer olayları tanımlamak en doğru yöntemdir.

BATI ANADOLU'NUN NEOTEKTONİĞİ İLE İLGİLİ GÖRÜŞLER

Batı Anadolu neotektoniği ile ilgili yayınların çoğunda iki konu baz alınmaktadır. Birinci konu doğu-batı uzun eksenli havzaların varlığı, ikincisi ise bu havzaların tabanlarında var olan çökellerin yaşlarıdır. Konu ile ilgili araştırmalarda bölgenin neotektonik dönemde kuzey-güney yönlü genişlediği ve bu genişlemenin sonucunda da Horst-Graben olduğu vurgulanmaktadır (Şimşek, 1982; Seyitoğlu ve Işık, 2015). Bu görüşü savunan makalelerin çoğunda gerilmenin sıyrılma faylarıyla geliştiği anlatılmaktadır. Aynı yayınlarda benzeri alanlarda olduğu gibi tüm bölgeyi etkileyecek boyutta ve kilometrelerce sürüklenimin yer aldığı modellenmektedir. Bölge için yapılan ilk yayınlarda, Bingöl (1976), Dewey ve Şengör (1979), Şengör (1980), Şengör (1982), Şengör vd. (1985) makalelerinde, Batı Anadolu'da var olan doğu-batı uzanımlı grabenlerin oluşumuna, Anadolu Bloğu'nun batıya kaçışının neden olduğu anlatılmaktadır. Aynı yayınlarda, batıya doğru kaçan Anadolu Bloğu'nun daha batısında Kuzey Anadolu Fayı'nın devamı kabul

edilen bir makaslama zonunun varlığı ifade edilmektedir. Dolayısıyla Anadolu Bloğu'nun batıya kaçışı, bu makaslama zonu tarafından engellenmekte ve sıkışarak doğu-batı uzanımlı çoğu açılma çatlaklarının kontrol ettiği grabenlerin geliştiği yorumlanmaktadır.

Grabenlerin kuzey-güney yöndeki genişleme tektoniği ile oluştuğunu savunan diğer makalelerde, grabenlerin yaşını havza tabanlarında bulunan en yaşlı çökellere göre vermektedirler. Erken Miyosen veya Geç Oligosen'e ait istiflerin havza tabanlarında izlendiği yerlerde grabenlere çökel yaşı verilmektedir (Şimşek, 1982; Seyitoğlu ve Işık, 2015). Batı Anadolu'da yapılan haritalamalarda yukarıda tanımlanan istiflerden Geç Miyosen'e kadar olan düzeylerinin kıvrımlı bir yapıya sahip olduğu, antiklinallerin ve senklinallerin geliştiği belirlenmiştir.

Bölgenin neotektoniği ile ilgili yapılan haritalarda uzun eksenleri kuzey-kuzeydoğu veya kuzey-kuzeybatı olan ve günümüz morfolojisine göre asılı duran başka havzaların da varlığı görülmüştür. Bu deformasyonlar nedeniyle, Şengör vd. (1985), Şaroğlu vd. (1987), Şaroğlu ve Yılmaz (1990) ve Yılmaz vd. (2000) makalelerinde, Batı Anadolu'da Geç Miyosen'e kadar sıkışma tektonik rejiminin hüküm sürdüğünü savunmuşlardır. Koçyiğit vd. (1999) ve Özkaymak vd. (2013) yayınlarında, Miyosen yaşlı kayalardaki kıvrımları haritalayarak sıkışmalı yapıyı ortaya çıkarmıştır. Ancak açılmalı tektoniği daha erken başlatıp, sıkışmalı deformasyonu ara faz olarak kabul etmiştir. Şaroğlu vd. (1987) ve Şaroğlu ve Yılmaz (1990) makalelerinde, Alt Miyosen'den günümüze kadar gelişen yapıların farklı tektonik etkinliğinde geliştiğini ve günümüzde aktif

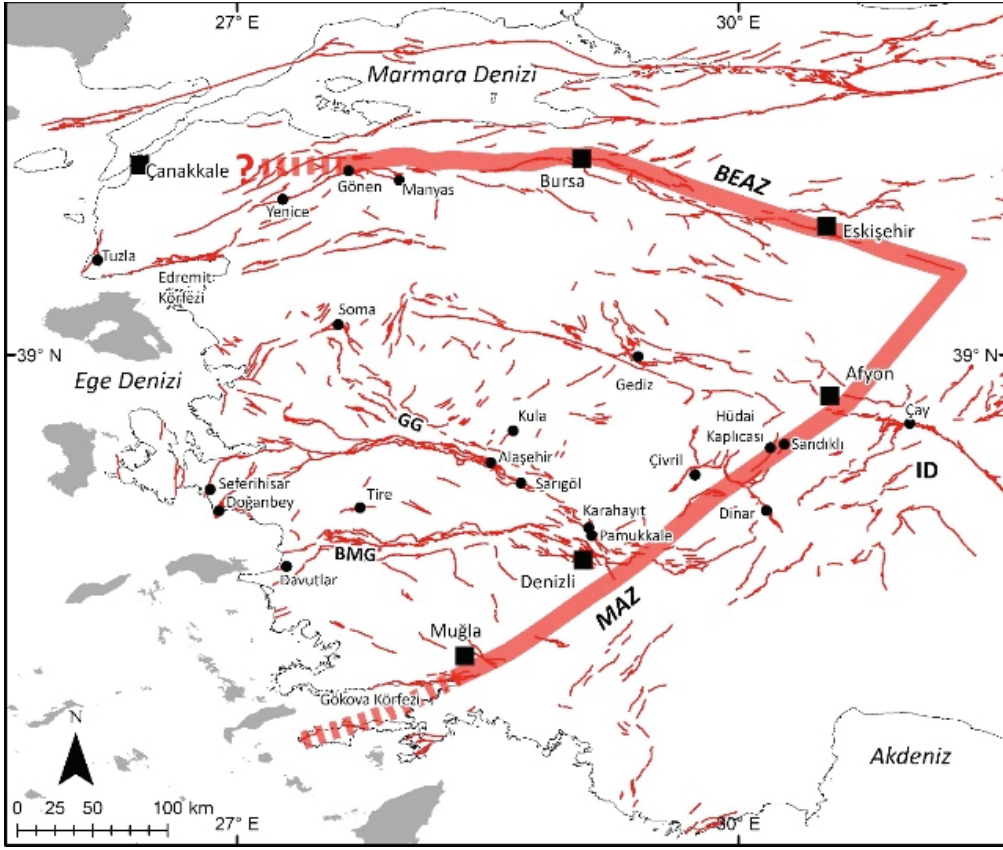
olabilecek bazı doğrultu atımlı fayların varlığını söylemektedirler. Bu yayınlarda, grabenlerin Kuvaterner yaşlı olduğu belirtilmektedir. Arpat ve Bingöl (1969) de, 28 Mart 1969 tarihli $M_s=6,5$ büyüklüğündeki Alaşehir Depremi'nden sonra yaptıkları incelemede Gediz Grabeni'nin Kuvaterner yaşlı olduğunu yıllar önce yazmıştır. Aynı şekilde, Ünay vd. (1995), Büyük Menderes Grabeni'nde buldukları fosil topluluğuna dayanarak, bu grabenin de Kuvaterner yaşlı olduğunu vurgulamışlardır.

Batı Anadolu'nun neotektoniği ile ilgili deformasyon modelleri ve yaşları hakkında ortaya çıkmış olan bu görüşlerin çoğu, sınırlı bilgilere dayanan ve dar alanlarda yapılan çalışmalardır. Ancak tüm bu çalışmalarda, doğu-batı genel gidişli çökelim alanlarının kuzey-güney yönlü açılmalar sonucunda ortaya çıktığı vurgulanmaktadır.

İşte bu karışıklığı ortadan kaldırmak için günümüz deformasyonunu belirlemek ve gerisin geriye olayları irdeleyerek neotektonik dönem deformasyonlarını yorumlamak doğru bir çıkış noktasıdır.

BATI ANADOLU'NUN GÜNCEL DEFORMASYONU

Türkiye'nin aktif tektoniği ile ilgili haritalara bakıldığında, aktif olup çoğu depremlerle sınanmış çok sayıda yapısal unsurların varlığı görülür. Bu haritalara tüm Anadolu boyutunda bakıldığında, Batı Anadolu'nun taşıdığı yapısal unsurlara göre özgün bir bölge olduğu görülebilmektedir. Bölge sınırları batıya açılan devrik "V" şeklinde deformasyon zonları ile tanımlanabilmektedir (Şekil 8). Bu bölge makalede, Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak adlandırılmıştır.

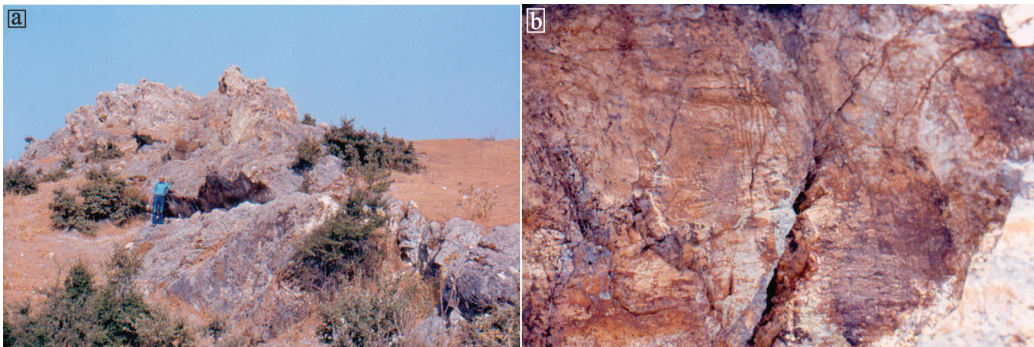


Şekil 8. Diri faylar (Emre vd., 2013'ten alınmıştır) ve Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın sınırı.

Figure 8. Active faults (from Emre et al., 2013) and boundary of Western Anatolia Tectonic Wedge.

Bu sınırlar tek bir çizgi şeklinde olmayıp farklı yapısal unsurları ihtiva eden bir zon niteliğindedir. Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak tanımlanan

bu alanda normal faylar, doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlakları gibi farklı karakterde yapılar gelişmiştir (Şekil 9a, b, ve 10a, b).



Şekil 9. a) Sağ yönlü doğrultu atımlı fay, fayın genel doğrultusu KD-GB'dir, Aşağı Şakran, İzmir. b) Fay düzlemi üzerindeki çizikler yataya yakındır.

Figure 9. a) Right lateral strike-slip fault observed in NE-SW direction, Aşağı Şakran, İzmir. b) Slickensides on fault plane are close to horizontal.



Şekil 10. a) Sağ yönlü doğrultu atımlı fay, Söke Aydın. b) Normal fay, Aydın'ın kuzeyi.

Figure 10. a) Right lateral strike-slip fault, Söke-Aydın. b) Normal fault, north of Aydın.

Batı Anadolu'nun orta bölümünde 28 Mart 1969 tarihli $M_s=6,5$ büyüklüğündeki Alaşehir ve 28 Mart 1970 tarihli $M_s=7,2$ büyüklüğündeki Gediz depremlerinde meydana gelen yüzey kırılmalarında izlendiği gibi normal faylar egemendir (Arpat ve Bingöl, 1969). Bölgenin kuzeybatısında sağ yönlü doğrultu atımlı faylar mevcuttur. Bu faylardan birinde 1953 yılında meydana gelen Yenice-Gönen depreminde sağ yönlü doğrultu atımlı kırılmalar ortaya çıkmıştır. Ege bölgesinin kuzeyinde bulunan Manyas Fayı'nda 1964'te meydana gelen depremde normal fay hareketi izlenmiştir. Bölgenin batı bölümünde kuzeydoğu güneybatı genel gidişli sağ yönlü doğrultu atımlı faylar yoğundur. 1992 yılında meydana gelen Doğanbey-Seferihisar depreminde kanıtlandığı şekliyle bu faylar da diridir (Emre vd., 2005). Batı Anadolu olarak tanımlanan bölgenin

doğu bölümünde ise normal ve/veya doğrultu atım bileşenli açılma çatlaklarının etkinliği dikkati çekmektedir. 1995 Dinar ve 2002 Çay (Afyon) depremlerinde meydana gelen açılma çatlakları birkaç kilometreye kadar sürekli izlenebilmiştir (Şekil 11a ve b).



Şekil 11. a) 1995 Dinar depreminde ortaya çıkan açılma nitelikli kırığın genel görünümü. b) Açılma çatlağı yakından görünümü.

Figure 11. a) General view of extensional fracture produced during 1995 Dinar earthquake. b) Closer view of extensional fracture.

Hüdaî kaplıcası (Afyon-Sandıklı, Pamukkale ve Karahayit kaplıcaları (Denizli) ile Sarıgöl'de (Manisa) (Gürsoy vd., 1997; Koca vd., 2011; Özkaymak vd., 2017) asismik olarak açılmaların arlığı arazi gözlemleri ile rahat bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 12a, b; 13a, b, 14a ve b).

Batı Anadolu'nun farklı yerlerinde değişik diri yapısal unsurların her biri için



Şekil 12. a) Sandıklı Hüdai kaplıcasındaki derenin içinden geçen açılma çatlakları ve termal çıkışlar. b) Derenin içindeki çatlakların genel doğrultusu KB-GD'dur.

Figure 12. a) Extensional fracture and thermal manifestations inside creek of Sandıklı Hüdai spa. b) Extensional fracture inside the creek, observed in NW-SE direction.



Şekil 13. a) Karahayıt-Denizli sıcak su çıkışı. b) KB-GD gidişli traverten sırtı ve açılma çatlakları.

Figure 13. a) Hot springs, Karahayıt-Denizli. b) Fissure-ridge travertine and extensional fracture, observed in NW-SE direction.

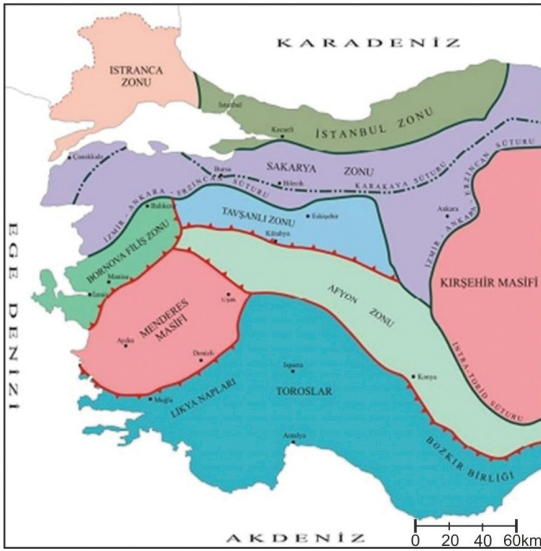


Şekil 14. a-b) Sarıgöl'deki güncel deformasyon. (Koca vd., 2011; Özkaymak vd., 2017)

Figure 14. a-b) Active deformation in Sarıgöl, Manisa. (Koca et al., 2011; Özkaymak et al., 2017)

deformasyon modellemesi yapıp σ_1 , σ_2 ve σ_3 ana eksenlerinin elde edilen konumlarını tüm bölge için genelleştirilerek değerlendirildiğinde birbirlerinden farklı, hatta çelişkili sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu çelişkiler bölgede sebep-sonuç ilişkisini ortaya çıkarmak için daha önceki çalışmalarda söylendiği gibi yalın kuzey-güney yönlü gerilmelerle açıklanamamaktadır. Bölgede izlenen tektonik deformasyonları anlatabilmek için daha ayrıntılı güncel bilgilere gereksinim duyulmaktadır.

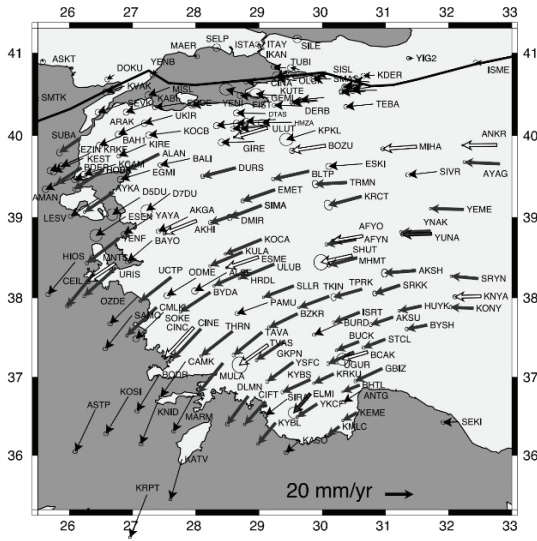
MTA Genel Müdürlüğü tarafından yenilenen 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası üzerine günümüzü diji fayları yüklendiğinde bu süreksizliklerin büyük bir bölümünün litolojik farklılık (kaya toplulukları anlamında), paleotektonik yapılar, magmatitler ve/veya morfolojik farklılıklara karşılık geldiği görülür (Göncüoğlu vd., 1996; Emre vd., 2013) (Şekil 15). Göncüoğlu vd. (1996) de bölgede bulunan farklı kaya topluluklarını haritalamışlardır. Haritada ayırdıkları kaya toplulukları arasındaki dokanakların tektonik olması ve mostralarının blok görünümünde olmaları dikkat çekicidir.



Şekil 15. Batı Anadolu'nun paleotektonik haritası (Göncüoğlu vd., 1996'dan alınmıştır).

Figure 15. Paleotectonic map of western Anatolia (from Göncüoğlu et al., 1996).

Bölgenin batı ve kuzeybatısında egemen olan sağ yönlü doğrultu atımlı fay mekanizması deformasyon modellemesine göre değerlendirildiğinde kuzey-güney yönlü uzama yerine batıya doğru bir uzamayı ifade etmektedir. Bölgenin doğusunda yer alan Sandıklı, Pamukkale, Karahayıt ve Sarıgöl'de gelişmekte olan açılma çatlakları kuzey veya kuzeye yakın doğrultuları nedeniyle açılmanın gerektirdiği genişlemenin doğu-batı olması söz konusudur. Bunların içinde Sarıgöl'deki asismik yüzey deformasyonları KB-GD doğrultuludur ve genişleme eksenini is KD-GB olduğu görülmektedir (Gürsoy vd., 1997; Özkaymak vd., 2017). Normal fayların etkin olduğu ve doğu-batı uzanımlı olan grabenlerin geliştiği alanlara bakıldığında K-G yönlü uzamayı gerektirmektedir. Ancak bu fayların yoğun olduğu yerlere ayrıntılı bakıldığında yörede var olan süreksizliklerin tek tip olarak alanı kaplamadığı, yer yer birbirinden kopuk normal fayların bütünü olduğu ve bunların arasında doğrultu atımlı fayların varlığı görülür. Bu alanlarda deformasyon modeli ortaya çıkarabilmek için konuya yönelik ayrıntılı araştırmalar gerekmektedir. Gediz Grabeninde, Alaşehir ve batısına ait petrol amaçlı yapılan sismik araştırmaların değerlendirmelerinde bu düzensizlikler izlenmiştir (Yazman, 1995). Aynı düzensizliklerin Büyük Menderes Grabeni'nde yapılan rezistivite ve MT araştırmalarında da grabenin boydan boya düzenli uzanımları olan faylar rahatlıkla yorumlanamamaktadır (Bozkurt, 2019). Makalenin ileri aşamasında ayrıntılı anlatılacağı gibi aşağıda ayrıntılı anlatılacağı gibi Menderes Bloğunun batıya kaçışında ortaya çıkan genişleme alanlarda normal faylar bulunmaktadır. Ancak kuzeyde ve güneyde saptanabilen bu normal faylar yüksek açılı olup bu tip açılmaların ürünü olduğunu düşünmekteyiz. Örneğin eldeki GPS verilerine bakıldığında günümüzde bölgedeki etkin hareketin yılda 2-3 cm arasında değişen batıya doğru hareketlerin varlığı ortaya çıkmaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. Avrasya stabil iken Batı Anadolu'nun birleştirilmiş hız alanları. Kalın gri oklar güncel çalışmalarındaki araştırma modunda tanımlanan hızları göstermektedir. Kalın beyaz oklar güncel çalışmalarındaki CGPS istasyonlarının tanımladığı hızları göstermektedir. Kalın siyah oklar Reilinger vd., (2006) ve Aktuğ vd., (2009) hız verilerinin birleştirilmiş şeklidir. Hata elipsoidleri %95 güvenilirliktedir (Aktuğ vd., 2009'dan alınmıştır).

Figure 16. Combined velocity field of western Anatolia with respect to stable Eurasia. Thick grey arrows represent velocities of survey mode sites determined in present study. Thick white arrows are velocities at CGPS stations determined in present study. Thin black arrows represent velocities taken from Reilinger et al. (2006) and combined with Aktuğ et al. (2009) velocity field. Error ellipses are at 95% confidence level (from Aktuğ et al., 2009).

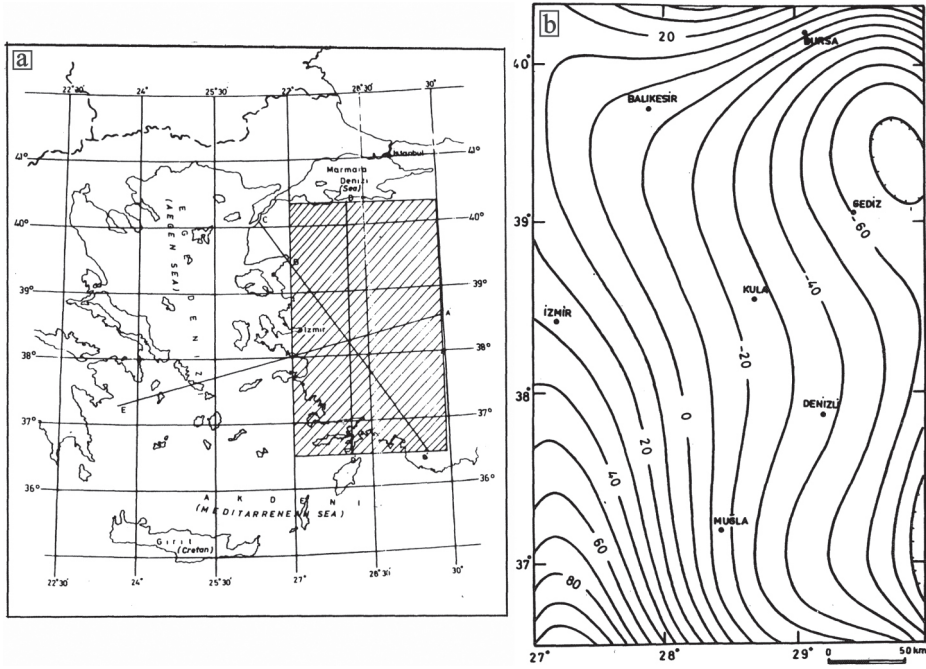
Bölgenin kabuk kalınlığını gösteren haritaya bakıldığında ise kalınlığın (Akçığ, 1988; Komut vd., 2012; Arslan, 2012) doğudan batıya doğru incelendiği, kalınlık değişiminin doğu-batı uzanımlı çöküntü alanlarına karşılık gelmediği görülüyor (Şekil 17a, b ve Şekil 18). Farklı parametrelere göre düzenlenmiş olan gravite haritalarında da aynı trend görülmektedir (Arslan vd., 2010) (Şekil 19).

Bu amaçla Miyosen'den günümüze kadar var olan paleomanyetizma yönelimlerine bakıldığında da düzenli bir yönelimin olmadığı görülür (Şekil 20) (Tapırdamaz vd., 2006; Tapırdamaz, 2008).

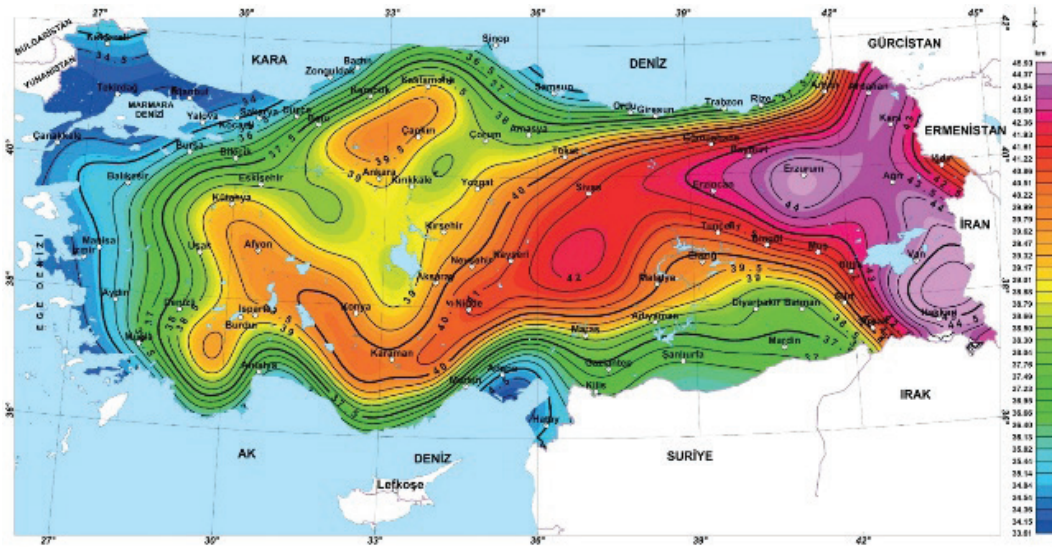
Aynı yaşta olan kayalardaki ölçümlerin bazıları saat yönünde dönmeler gösterirken diğer bazı alanlarda ise saatin tersi yönünde dönmeler görülmektedir. Bölgenin dikkati çeken bir diğer özelliği de son yüzyılda meydana gelen depremlere ait fay düzlemi çözümlerinde normal, doğrultu ve ters fay hareketini ifade eden sonuçların elde edilmiş olmasıdır (Şekil 21a, b ve 22) (Pavlidis vd., 1990). Kılıç vd. (2017)'de, 1900-2012 yılları arasındaki Türkiye ve çevresindeki depremlerin moment tensör çözümleri haritasında görülebildiği gibi, bölgede normal fayların dışında doğrultu atımlı ve seyrekte olsa bindirme bileşenli çözümler bulunmaktadır.

VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE MODEL ÖNERİSİ

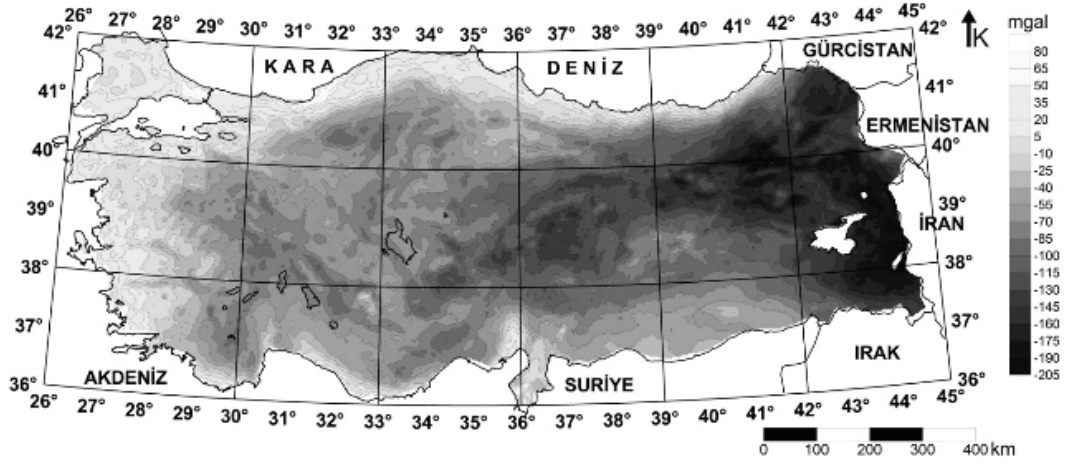
Yukarıda tanımlanan somut verilere göre Batı Anadolu daha önce yayımlanmış çoğu makalelerde söylendiği şekliyle kuzey-güney yönde bir aktif gerilmeye yorumlanacak yeterli veriler bulunmamaktadır. Bunun tersine GPS verilerine göre bölge batıya doğru ilerlemektedir. Devrik "V" şeklindeki sınıırın içinde batıya doğru ilerleyen bölümün içlerinde gelişen süreksizliklerle bloklara ayrılmaktadır. Tüm alanı sembolik olarak bir levhacık kabul edecek olursak levha içinde ortaya çıkan bloklar değişik nedenlerle rotasyonel dönmeler yaparak hareket etmektedirler. Şekil 16'da görüldüğü gibi toplam hareket karada batı-güneybatıya doğru gidişli olmakla beraber Ege Denizi'ne doğru Güneybatıya yönelmektedir. Blok dönemlerinin kimi saat yönünde kimi de saatin tersi yönünde olmaktadır. Ayrıca blokların hareket hızları da farklı olmaktadır. Farklı davranış sonucunda bloklar arasında çöküntü alanları ortaya çıkmaktadır. Blokların arasında aynı doğrultuda olmakla beraber farklı hareket yönleri olan doğrultu atımlı faylar da izlenebilmektedir. Blok hareketinin en iyi tanımlanabileceği, modele dönüştürülebileceği iki alan aşağıda anlatılacaktır.



Şekil 17. a) Kabuk kalınlığı için yer bulduru haritası ve b) 5. derece trend yüzeyi (Akçığ, 1988'den alınmıştır).
Figure 17. a) Location map for crustal thickness and 5th degree trend surface (from Akçığ, 1988).

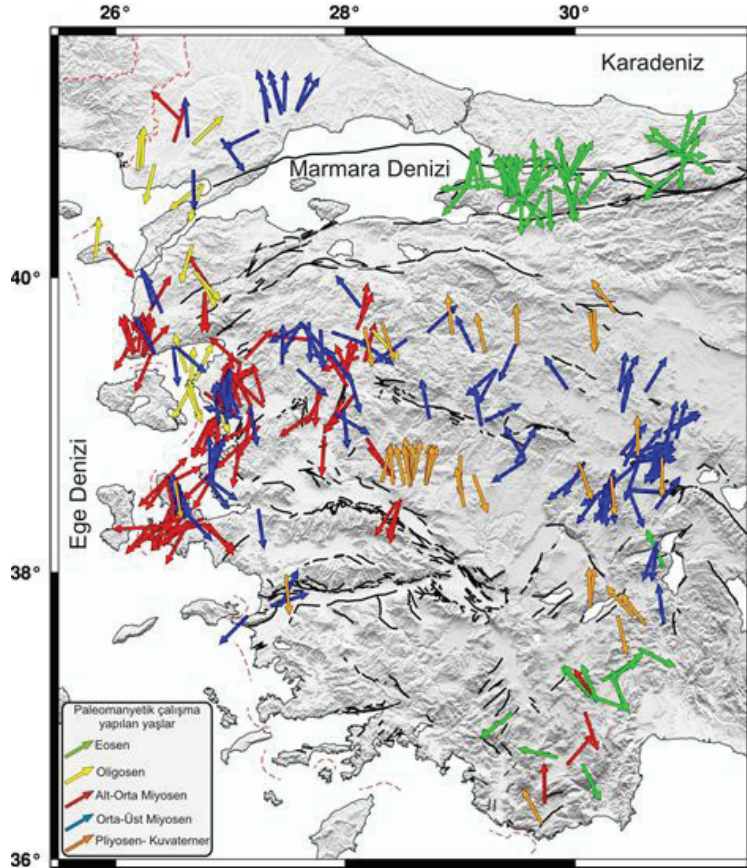


Şekil 18. Türkiye'nin bölgesel gravite kabuk kalınlığı haritası (Arslan, 2012'den alınmıştır).
Figure 18. Regional gravity crust thickness map of Turkey (from Arslan, 2012).



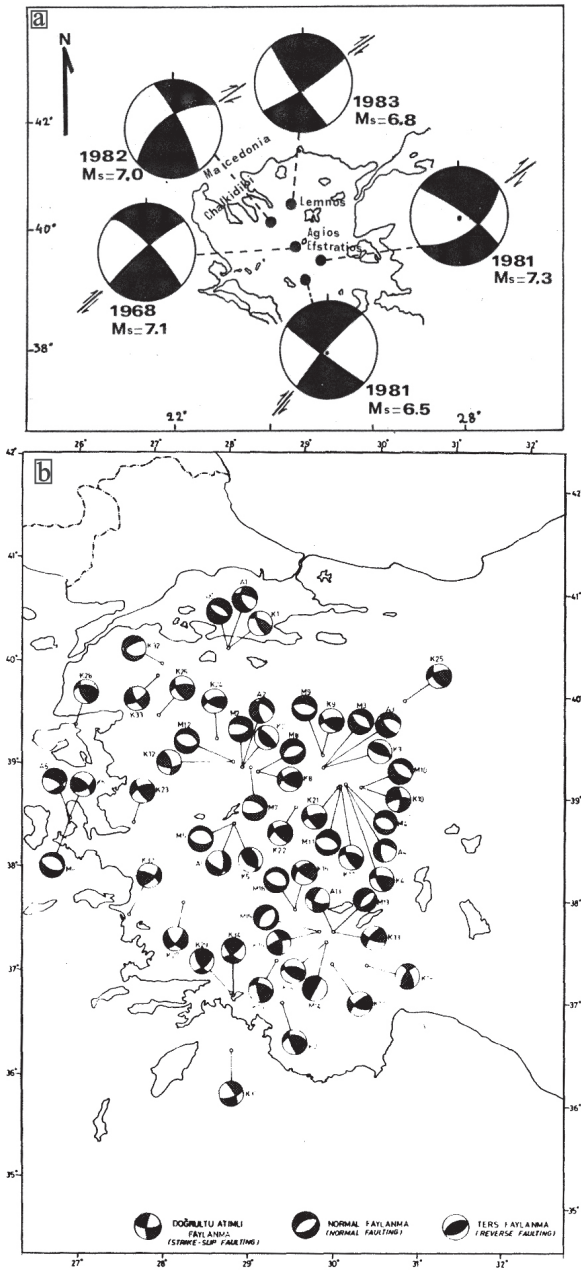
Şekil 19. Türkiye Bouguer gravite haritası (Arslan vd., 2010'dan alınmıştır).

Figure 19. Bouguer gravity map of Turkey (from Arslan et al., 2010).



Şekil 20. Batı Anadolu'da yapılan paleomanyetizma çalışmalarının sonuçları (Tapırdamaz, 2008; yayımlanmamış). Bu harita, Türkiye Paleomanyetizma Veri Kataloğu'ndan üretilmiştir (Tapırdamaz vd., 2006).

Figure 20. Results of paleomagnetism studies on western Anatolia (Tapırdamaz, 2008; unpublished). Map was produced by the Paleomagnetism Data Catalogue of Turkey (Tapırdamaz et al., 2006).



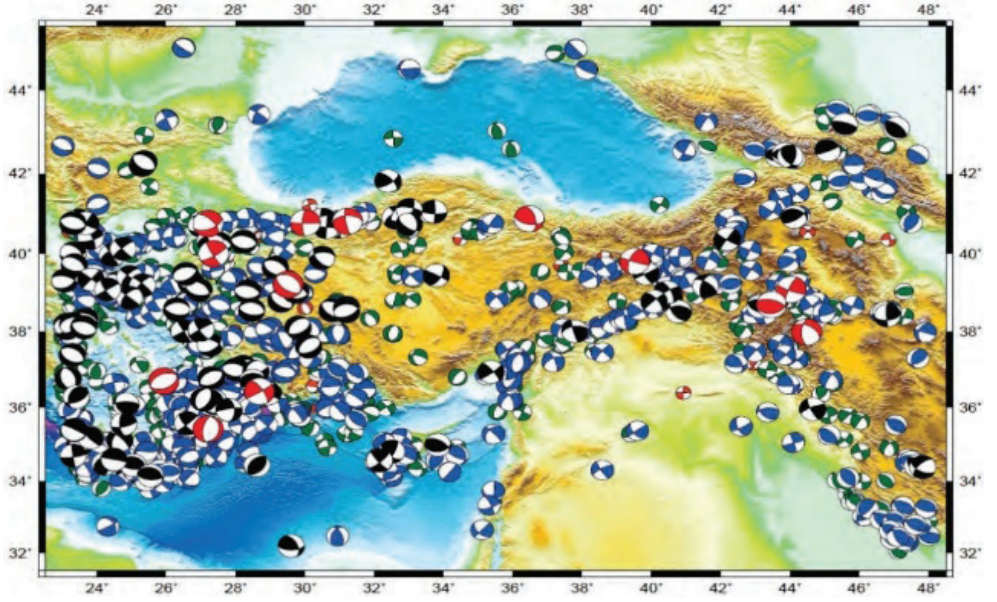
Şekil 21. a) Ege Denizi (Pavlides vd. 1990'dan alınmıştır) ve b) Batı Anadolu'da (Akçığ,1988'den alınmıştır) çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan odak mekanizması çözümleri.

Figure 21. Focal mechanism solutions realised by research in a) Aegean Sea (from Pavlides et al., 1990) and b) western Anatolia (from Akçığ,1988)

Menderes Bloğu

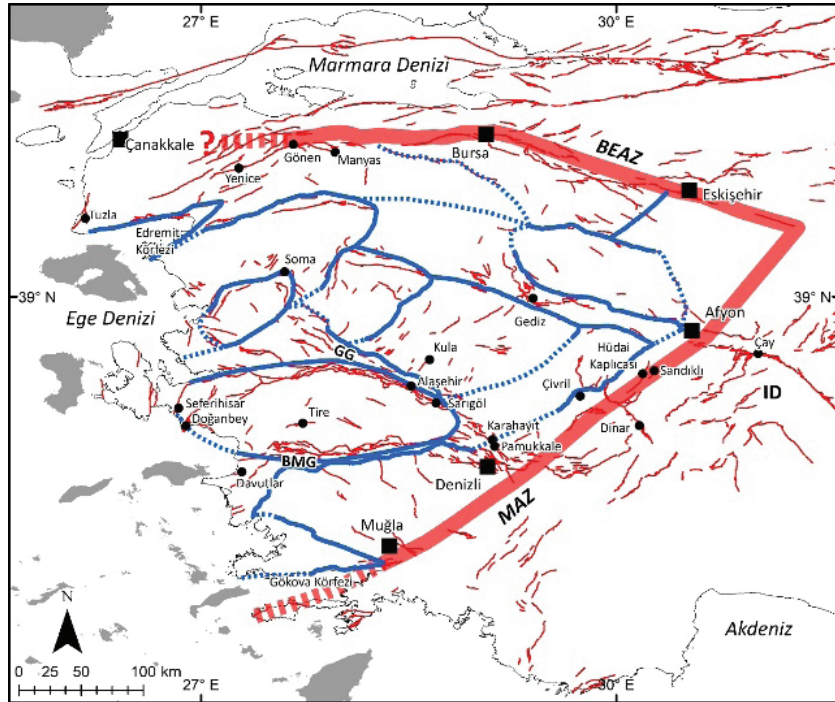
Bölgenin jeolojisine bakıldığında farklı kaya topluluklarının çoğunun tektonik dokanaklarla bir araya geldiği görülür. Türkiye Diri fay Haritası ile söz konusu jeoloji haritaları karşılaştırıldığında çoğu aktif fayların bu sınırlara karşılık geldiği görülür. Doğal olarak bazı süreksizliklerin de kaya topluluklarının içlerinde de gelişmiş olduğu görülmektedir. Ana süreksizliklerin iyi izlenemediği alanlarda yorumlar yaparak süreksizlikler birleştirildiğinde bölgede tektonik kontrollü birçok blok ayırtlanabilmektedir. Ayrıntılı çalışma yapmadığımız için bu bloklara özel bir ad verilmemiştir (Şekil 23).

Bu blok, ayırımının net yapılabildiği yerlerden biri Menderes Masifi veya Menderes Metamorfileri olarak belirtilmiş olan alanda yer almaktadır. Blok, Menderes Masifi'nin tüm yayılım alanına karşılık gelmemektedir. Bu yazıda, Menderes Bloğu olarak adlandırılan kısım Menderes Masifi'nde belli süreksizliklerle ayrılmış bir bloktur. Tüm Menderes Masifini kapsamamaktadır. Blok; gnays, granit, şist ve mermerlerden oluşan bir metamorfik komplekstir. Kuzey ve güney sınırları yaygın Miyö-Pliyosen kaya toplulukları tarafından sarılmaktadır. Süreksizlik düzlemleri sınır kabul edilerek geometrisi ortaya çıkarıldığında doğu-batı uzun eksenli elips şeklinde olduğu görülmektedir. Bloğu sınırlayan kuzey-güney süreksizlikler doğuda kesişecek kadar birbirine yaklaşımaktadır. Batıya doğru ise kuzeydoğu-güneybatı genel gidişli sağ yönlü doğrultu atımlı faylar tarafından kesilmektedir. Bloğun kuzeyinde ve güneyinde bulunan Kuvaterner yaşlı çökellerin havza geometrileri, çökelim cinsi ve tektonik deformasyon tipleri söz konusu havzalarla sınırlıdır. Bu çöküntü alanlarının dışına taşmamaları nedeniyle çöküntü ile eş yaşlı olduğu görülür. Gerek kuzeydeki Gediz Grabeni'nde (Çöküntüsünde) gerek güneyde Büyük Menderes Grabeni'nde çöküntülerin içinde geliştiği kesin olan kayalar Kuvaterner yaşlıdır. Bu kaya paketine ait



Şekil 22. 1900-2012 yılları arasındaki Türkiye ve çevresindeki depremlerin moment tensör çözümleri (Kılıç vd., 2017).

Figure 22. Moment tensor solutions of earthquakes between 1900 and 2012 in Turkey and environs (Kılıç et al., 2017).



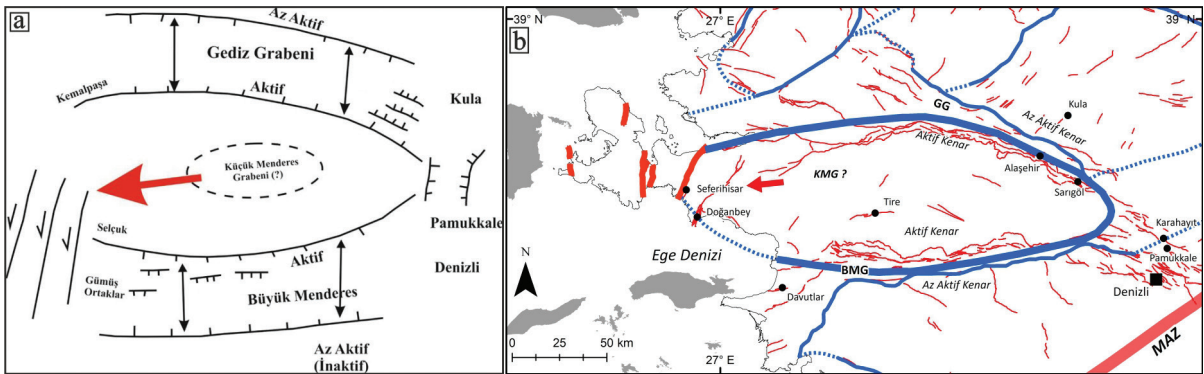
Şekil 23. Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın içinde bulunan bloku yapılar (Diri Fay Haritası Emre vd., 2013'ten alınmıştır).

Figure 23. Blocks in Western Anatolia Tectonic Wedge (Active faults from Emre et al., 2013).

çökellerin aşınım, taşınım ve birikim geometrisiyle havza geometrisini halen korumaktadır. Alüvyonal çökeller ile havza yamaçlarındaki kollüvyal malzemelerle temsil edilirler. Bu çöküntülerdeki kırıntıların yüksek enerjili ortama ait çökellerle temsil edildiği dikkati çekmektedir. Menderes Bloğunun kuzey ve güneyinde bulunan havzaların eş yaşlı çökellerinde Kuvaterner yaşlı fosiller saptanmıştır.

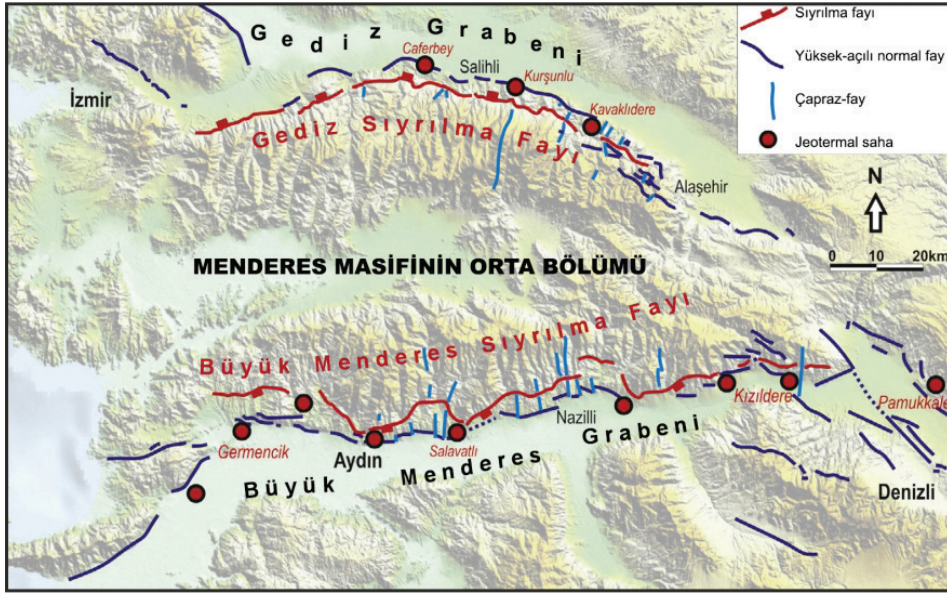
Tanımlanan blok batıya doğru hareket ederek deforme olmaktadır. Bloğun yanlarında bulunan diğer bloklarında batıya doğru hareket ettiği olasıdır. Ortaya çıkmış olan deformasyonlar değerlendirildiğinde Menderes Bloğu'nun batıya doğru gidişinin etrafındaki bloklara göre daha hızlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Blokların batıya göçü esnasında hız farkından kaynaklanan nedenlerle aralarında açılma ve daralma olmaktadır. İşte açılmaların büyük boyutlara ulaştığı yerler graben geometrisini kazanmışlardır. Her iki grabende de Menderes Bloğunun güncel deformasyon modeli ile ilişkilendirilebileceği herhangi bir volkanik aktivite bulunmamaktadır. Grabenlerde genelde normal faylar egemen olmakla beraber doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlakları da izlenebilmektedir (Şekil 24).

Menderes Bloğunun kenarlarında yüksek sıcaklıklı termal kaynaklar bulunmaktadır. Bu termal kaynakların dağılımına bakıldığında Büyük Menderes Grabeni'nin (Çöküntüsünün) kuzey kenarındaki ve Gediz Grabeni'nin (Çöküntüsünün) güney kenarındaki yani her iki çöküntüde de Menderes Bloğu kenarındaki sınırdaki daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir (Kaya, 2015) (Şekil 25). Büyük Menderes ve Gediz Çöküntüleri'nin içinde jeotermal ısıtıcıya yorumlanabilecek herhangi bir volkanizma yüzeylememektedir. Sınırlı alanda yüzeylenen volkanik kayalar 10 milyon yıldan daha yaşlı olup farklı tektonik rejime aittirler. Bu gözlem Menderes Bloğunun sınırlarında termal aktiviteyi sağlayan, süreksizliklerin, dolayısıyla tektonik aktivitenin daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Jeotermal üretimi hedef alan jeofizik ölçümleri sonuçlarıyla sondajlardan elde edilen bilgilere göre yüksek açılı fayların akışkanlar için çıkış yolları olduğu görülmüştür. Menderes Bloğu ve yakın çevresini kapsayan bölgesel ölçekli kabuk kalınlığı, gravite haritalarında kuzey-güney yönünde gerilmeyi ifade eden değişimler bulunmamaktadır (Yazman, 1995; Bozkurt, 2019). Haritalarda doğu-batı yönünde değerlerde değişim çok net bir şekilde izlenebilmektedir.



Şekil 24. Menderes Bloğu'nun güncel deformasyonu için tasarlanan model. b) Menderes Bloğu'nun Batı Anadolu Tektonik Kaması içindeki konumu. Menderes Bloğu'nun sınırları kalın ve mavi renkte çizilmiştir. Blok içindeki kırmızı renkli ok, olası hareket yönünü göstermektedir. KMG ? = Şüpheli Küçük Menderes Grabeni.

Figure 24. (a) Model designed for current deformation of Menderes Block. (b) Location of Menderes Block in Western Anatolian Tectonic Wedge. Borders of Menderes Block shown in bold and blue. Red arrow inside block indicates possible direction of motion. KMG? = Suspected Küçük Menderes Graben.



Şekil 25. Büyük Menderes ve Gediz sıyrılma fayları önünde gelişen jeotermal alanların yapısal durumları (Kaya, 2015'ten alınmıştır).

Figure 25. Structural positions of geothermal areas that developed in front of Büyük Menderes and Gediz detachment faults (from Kaya, 2015).

Menderes bloğunun dışına doğru bakıldığında kuzeydoğusunda bu deformasyon döneminde yüzeylenmiş ve mantodan beslenen Kula Volkanitleri görülür (Şekil 26).



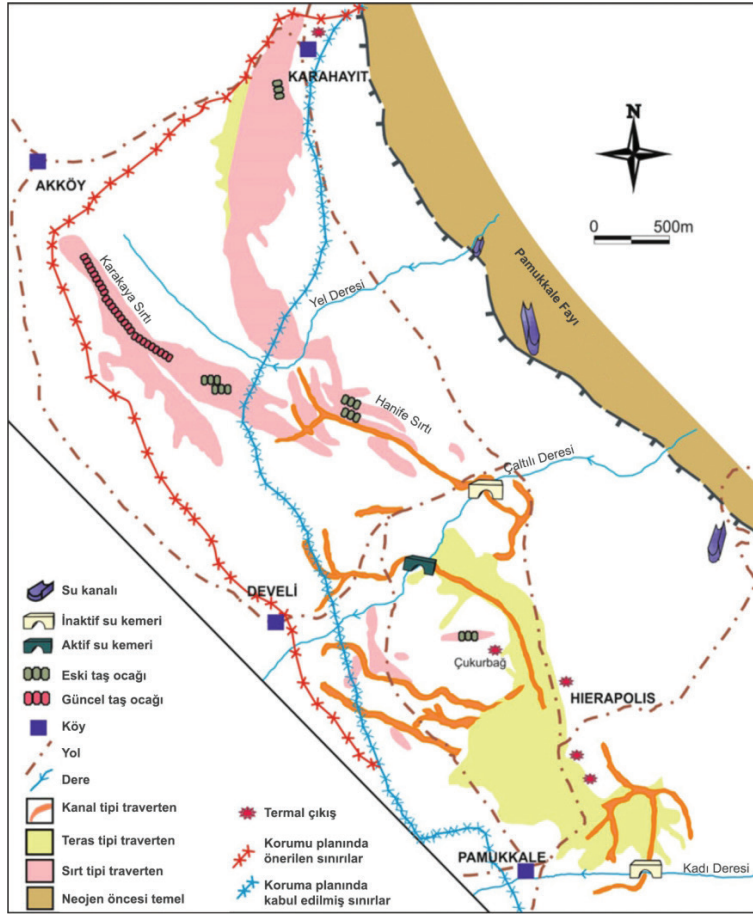
Şekil 26. Kula volkanitleri genel görünümü.

Figure 26. General view of Kula volcanites.

Kula Volkanitlerinin yüzeylendiği alandaki çöküntülerde Gediz ve Menderes Grabenlerinde

daha kalın çökelimler mevcuttur (Ercan, 1981). Bloğun doğusuna denk gelen alanlarda Dinar'da 1995, Afyon-Çay 2002 yılında meydana gelen depremlerde açılma çatlaklarının varlığı izlenmiştir. Menderes bloğuna göre doğu-güneydoğuda yer alan Sandıklı ilçesi Hüdayi kaplıcasında termal çıkışlara ortam sağlayan açılma çatlakları bulunmaktadır. Bloğun doğusunda Sarıgöl ilçesinde sanat yapılarını bile deforme eden açılma çatlakları aynı şekilde bu alanın KD-GB açıldığı canlı kanıtıdır (Şekil 12).

Menderes Bloğunun doğu-güneydoğusunda bulunan Denizli, Pamukkale ve Karahayıt alanlarında açılma çatlaklarından çıkan yoğun termal akışlar mevcuttur (Altunel ve Hancock, 1993; Altunel ve D'Andria, 2019). Bu alanda yer alan açılma çatlaklarının genel gidişi kuzeykuzeybatı-güneygüneydoğudur. (Şekil 13 ve 27).

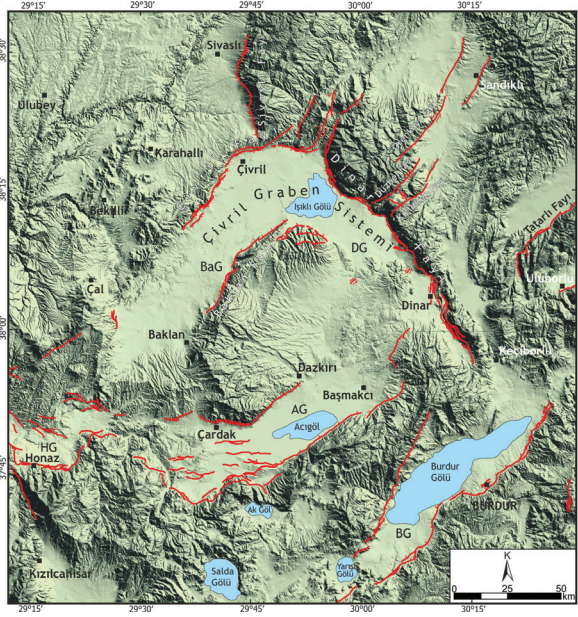


Şekil 27. Pamukkale sahasındaki traverten yapı tiplerinin dağılımları ile insan eliyle yapılmış yapıları gösteren harita. Pamukkale sahasındaki ana jeolojik birim, beyaz ile gösterilen, Neojen klastikleridir ve diğer Kuvaterner çökelleridir. Ayrıca, kabul edilen koruma sınırı, 1991 tarihli Pamukkale (Hierapolis) Koruma ve Geliştirme Planı'ndan alınmıştır (Altunel ve D'Andria, 2019'dan alınmıştır).

Figure 27. Map of Pamukkale area showing distribution of terraced-mounds, fissure-ridges, self-built channel travertines and man-made structures. Main geological units in Pamukkale area are Neogene clastics and other Quaternary deposits (white area) (approved boundaries of area subject to preservation plan taken from Pamukkale (Hierapolis) Preservation and Development Plan 1991) (from Altunel and D'Andria, 2019).

Özalp vd. (2018) tanımladıkları Menderes Bloğunun doğusunda yer alan Çivril Grabeninin aktif olan kenar fayları da KD-GB, KB-GD ve

D-B doğrultuludur. Havzanın uzun ekseninin kuzeykuzeydoğu-güneygüneybatı olduğu dikkat çekicidir (Şekil 28).



Şekil 28. Çivril Graben Sistemi, Denizli (Özalp vd., 2018'den alınmıştır). (AG: Acıgöl Grabeni, BaG: Baklan Grabeni, BG: Burdur Grabeni, DG: Dinar Grabeni, HG: Honaz Grabeni).

Figure 28. Çivril Graben System, Denizli (from Özalp et al., 2018). (AG: Acıgöl Grabeni, BaG: Baklan Grabeni, BG: Burdur Grabeni, DG: Dinar Grabeni, HG: Honaz Grabeni).

Yukarıda yapılan açıklamalarda, Menderes bloğunun doğusunda kalan alanların Büyük Menderes ve Gediz Çöküntülerinde daha fazla açılma olduğuna yorumlanabilecek veriler bulunmaktadır. Örneğin mantodan beslenen Kula volkanizmanın yüzeylenmesi için büyük açılmalar gerekmektedir. Sarıgöl'de, Pamukkale'de ve Sandıklı'da güncel olarak açılmalar devam etmektedir. Bölgenin jeolojisini doğuya doğru devam ettirdiğimizde, grabenlerden daha fazla Tersiyer çökel varlığı görülmektedir. Son 100 yıldaki deprem aktivitelerine baktığımızda, Gediz Çöküntü Alanı'nda, sadece yıkıcı bir deprem olan, 1969 Alaşehir Depremi meydana gelmiştir. Büyük Menderes Çöküntü Alanı'nda yıkıcı bir deprem tanımlanmamıştır. Bloğun doğu kenarında ise yoğun deprem etkinliği görülmüştür ve yıkıcı 1995 Dinar, 1970 Gediz, 2002 Çay depremleri

meydana gelmiştir. Bu geometrik ilişkiyi, kamaya geliştirecek olursak benzer açılmalar dikkati çekmektedir. Benzer veriler dikkate alınarak, Batı Anadolu Tektonik Kaması aynı aktivitelere dikkat çekmektedir. Tüm bu açıklamalar, çalışılan Menderes Bloğu'nun doğusunda kalanlarında Büyük Menderes ve Gediz Çöküntülerinde daha fazla açılma olduğunu da kanıtlar niteliktedir.

Menderes Bloğu için söylenecek özet: blok batıya doğru hareket etmektedir. Bu hareket esnasında çevresinde bulunan bloklarla arasında açılma ortaya çıkmaktadır. Maksimum açılma bloğun kuzey-güney sınırından ziyade doğusunda olmaktadır. Güncel deformasyonda Menderes bloğunda kuzey-güney yönlü ve sıyrılma düzlemleriyle şekillenen büyük gerilmelerin varlığına dair veriler bulunmamaktadır. Gözlemlere göre, sıyrılma düzlemlerinin izlendiği yerlerde yüksek açılı aktif faylar tarafından kesilmektedir.

Menderes bloğunun açık bir şekilde izlenebilen bu deformasyon modeli, bölgede var olan diğer bloklarda da izlenebilmektedir. Ancak her bloğun deformasyonunu kontrol eden paleojeolojik süreçler nedeniyle farklı geometrik yönelimler göstermektedir. Toplanan verilere göre deformasyonu açık olan Tuzla Bölgesinin anlatımından sonra yorum ve sonuçlarla makale bitirilecektir.

Çanakkale Tuzla Jeotermal Sahası

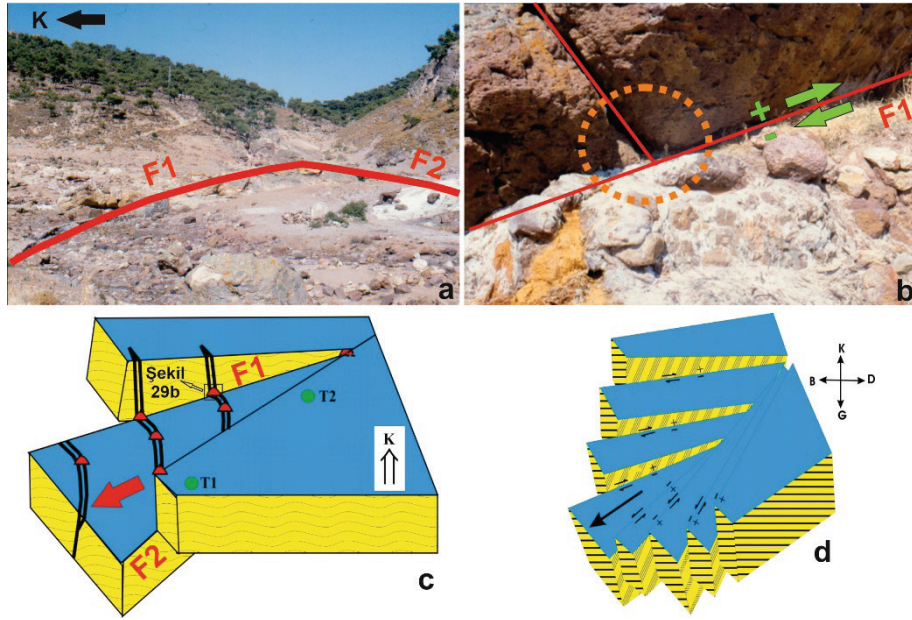
Tuzla Jeotermal Sahası Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak da tanımlanan levhacığın kuzeybatısında bulunmaktadır (Şekil 1 ve 29). Sahanın bulunduğu alan birbirinden kopuk çok sayıda doğrultu atımlı faylar bulundurmaktadır. Yapılmış olan bazı araştırmalara göre söz konusu süreksizlikler Kuzey Anadolu Fay Zonunun güney koludur (Barka 1992; Duman vd., 2005; Şengör vd., 2005; Kuşçu vd., 2009; Özalp vd.,

2013; Seyitoğlu vd., 2016). Diğer araştırmalarda ise Kuzey Anadolu Fayı ile grabenler bölgesi arasında geçiş zonu olarak kabul edilmektedir. Uzel vd. (2013)'te, bu zonu Balıkesir-İzmir geçiş zonu olarak tanımlamışlardır. Bu makalede ise tanımladığımız devrik "V" şekilli alanın içinde yer aldığı vurgulanmaktadır. Diğer bir değişle güncel deformasyonlara göre bölge genelinde olduğu şekliyle batıya kaçışın şekillendirdiği bir alandır. Tuzla Jeotermal Alanı olarak tanımlanan bu bölgenin, güneyinde yer alan Edremit Körfezi'nin geometrisi (Şekil 8) ve kuzey kenarını kontrol eden diri fayı varlığı (Sözbilir vd., 2016) benzeri bir batıya kaçışın örneğidir. Ancak, bu batıya devrik V'nin güney sınırındaki fay açık bir şekilde izlenemediği için makalemizde detaylandırılmamıştır.

Tuzla Jeotermal sahası Ege kıyısı yakınında Tuzla köyünde yer almaktadır. Saha Miyosen yaşlı volkanik aktivite ürünü kayalarla kaplıdır. Asidik karakterde tüf, aglomera ve riyolitik karakterde oluşan bu volkanitler dom yapılı çıkışlarla temsil edilirler. Paleotektonik dönemin son ürünleri olan bu kaya topluluklarının kesip aktif olan bazı süreksizlikler güncel çöküntü alanlarını oluşturmaktadır. Bu çöküntülerin içinde bulunan çok sınırlı çökeller günümüz akarsu alüvyonları ile bunlara ulaşan etek döküntüleri, yamaç molozları ile yelpazelerden oluşan kolüvyal malzemelerden ibarettir. Termal çıkışların ürünü olan çatlak dolguları da bölgede haritalanabilecek boyutlardadır.

Saha, her iki tarafı üzerinde jeotermal çıkışlar bulunan batıya açık devrik "V" şeklinde bir morfotektonik konumu bulunmaktadır. Havzanın doğu ucunda 100 °C'de olan su-buhar çıkışı özelliğiyle jeolojik miras niteliğindedir. Havza farklı yönlerde uzanan ve çoğu opal dolgular ihtiva eden çatlaklarla parçalanmıştır. Havzayı sınırlandıran süreksizlikler normal fay, açılma çatlakları ve doğrultu atımlı fayların bileşkeni şeklindedir. Hâkim olan yapının doğrultu atımlı fay bileşenli normal fay olduğu görülmektedir. Bu süreksizlik karmaşasının kesişme yerleri termal çıkış noktalarıdır. Havzayı sınırlandıran ana süreksizlikler doğuda birleşen ve batıya açılan devrik "V" şeklinde bir geometrik yönelim göstermektedir. Her iki ana süreksizlik düzlemleri arasında yer alan dilim batıya hareketiyle alanı genişletmekte bu nedenle açılma çatlakları ile genişleyerek alana yerleşmektedir (Şekil 29b). Bu batıya kaçış bazı yerlerde kıyıları şekillendirecek boyutta olmaktadır. Edremit ve Gökova Körfezleri, buna örnek verilebilir. Davutlar-Kuşadası arasındaki jeotermal amaçlı çalışmalarda aynı geometrik şekle ulaşılmıştır (Yılmaz vd., 1994).

Tuzla bölgesinde izlenen yapısal unsurlara dayanarak yapılan modellemede kullanılan süreksizlikler Menderes Bloğunu kontrol eden süreksizliklerin morfotektonik yapısından farklıdır. Bununla beraber jeodinamik açıdan bölgenin deformasyonu için aynı sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla, Tuzla Jeotermal Sahasını, Batı Anadolu Tektonik Kaması içinde yer alan bir morfotektonik şekil olarak kabul etmekteyiz.



Şekil 29. a) Tuzla (Çanakkale) jeotermal alanı genel görünümü. Bakış doğuya doğrudur. b) Havzayı sınırlandıran normal fay ile ona dikine kesen doğrultu atımlı fayların kesişme noktalarında termal çıkışı c) Tuzla jeotermal alanı için öneri model. c) Bölge için genelleştirilmiş bir model.

Figure 29. a) General view of Tuzla-Çanakkale geothermal field toward the east. b) Thermal manifestation at intersection of normal fault, limiting basin and strike-slip faults which transverse it. c) Model for Tuzla geothermal field. d) Generalized model for the region.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Toplanan verilere göre, Batı Anadolu Tektonik Kaması olarak adlanan alan, kendine özgü deformasyonu ile ayrı bir tektonik bölgedir. Bu alan, batıya açılan devrik “V” şeklinde bir geometriye sahiptir. Alan, tümüyle batı-güneybatıya doğru hareket etmektedir. Daha kolay tanımlayabilmek için levhacık olarak da adlandırılan alan batıya hareketi sonucunda kendi içinde parçalanarak bloklara ayrılmaktadır. Blokların hareketleri rotasyonel şekilde olmaktadır. Bu nedenle günümüzde alanlar ağırlıklı olarak normal faylar, açılma çatlakları olmak üzere doğrultu atımlı faylar ve çok sınırlı gözlenen bindirmeler gelişmiştir. Kabuk kalınlığı, gravite ve paleomanyetizma verileri ile bölgede gelen depremlere ait fay düzlem çözümleri bu hareket modelini desteklemektedir. Doğuda bulunan Anadolu levhacığının batıya

kaçışı, güneybatıda var olan yitim zonu ve Ege Denizi’nde gözlenen morfolotektonik yapılar bu modelin açıklanmasını önemli şekilde destekler niteliktedir.

Arazi verilerine göre yapılan bu modelde bölgesel bazda jeofizik veriler kullanılmıştır. Yapılacak ayrıntılı kabuk kalınlığı, gravite, manyetik haritalamaları yanında derin sismik veriler modelin geçerliliğini daha fazla açıklayacaktır. Arazi verilerinin yorumlanmasında kuzey-güney yönlü genişlemeler ve buna dayanan sıyrıma faylarının etkinliği güncel olarak izlenememektedir. Sınırlı boyutta olan bazı verilerin bölge geneline yorumlanması tartışmalıdır. Zira kullanılan bazı verilerin daha yaşlı deformasyonlara ait olduğu kuvvetle muhtemeldir. Teorik olarak sebep-sonuç ilişkileri değerlendirilerek kuzey-güney yönde bölgenin

genişlediğini açıklamak söz konusu değildir. Diğer bir değişle Batı Anadolu bugün kuzey-güney genişlediğini gerektiren bir jeodinamik neden bulunmamaktadır.

Toplanan verilere göre bölgenin batıya levhacık şeklinde hareketin başlangıç yaşı sınırlı verilere dayanmaktadır. Levhacığın sınırlarını oluşturan süreksizlik zonlarının ayrıntılı bir yapısal analizle gözden geçirilmesi önemli veriler sağlayacaktır. Simav, Söke, Edremit Körfezi gibi alanların önerilen modele göre ayrıntılı çalışılması önerilmektedir. Modelin daha sağlıklı anlatılabilmesi için süreksizliklerden bazılarında sağ yönlü doğrultu atımlı fay bileşenin yanında sol yönlü doğrultu atımlı fay bileşenli olabileceği dikkate alarak blokların rotasyonel hareket ettikleri kabul edilmiştir (Yılmaz vd., 2000). Ancak eldeki çalışmaların çoğunda sol yönlü doğrultu atımlı faylar görülmemektedir. Rotasyonel dönmelerin tasarlandığı alanlarda sol yönlü doğrultu atımlı fay izlerinin ortaya çıkarılması çok önemlidir. Makalede önerilen model bugüne kadar önerilmiş modelden farklıdır öneri tartışıldıkça daha belirgin şekle kavuşacağını düşünmekteyiz.

Tanımlanan bu modelde, ortaya çıkan tektonik kamanın şekillenmesinde 3 ana faktörün etkin olduğu düşünülmektedir. 1) KAF ve DAF arasında ortaya çıkmış olan Anadolu Bloğu'nun batıya kaçıışı, 2) bölgenin güneybatısında bulunan dalma-batma zonunun üzerlenen bloğundaki çekme ve 3) Isparta Dirseği'nin günümüzde stabil olmasıdır. Bu etkenler içinde Anadolu bloğunun batıya kaçıışı yaklaşık 1-2 cm olmasına karşın güneybatıda üzerlenen bloğun çekimi $\pm 3-4$ cm'dir. Her iki faktörün etkisiyle batıya doğru olan hareketin hız farkı, belli süreksizlikler kullanarak ortaya çıkarılmıştır.

KATKI BELİRTME

Erdinç Yiğitbaş, Selim Özalp, Cengiz Tapırdamaz ve Semih Ergintav makalenin farklı bölümlerinde

istenilen sonuca varmak için katkıda bulunarak fikirleriyle bizi yönlendirmişlerdir. Yücel Yılmaz, Hasan Sözbilir, Orhan Tatar ve Cahit Helvacı makalenin bilimsel değerini artırmak için katkı sunmuşlardır. Makalenin yayın hâline getirilmesinde verdikleri katkılarından dolayı teşekkür etmeyi borç biliriz.

EXTENDED SUMMARY

The geodynamic processes that developed in Turkey from Late Paleozoic to the present are explained in an article published by Şengör and Yılmaz in 1981. The impact of the continental collision in Anatolia in Late Miocene is not so simple in parts of Western Anatolia. Firstly, the current deformation in Western Anatolia needs to be investigated and defined. Then, the best way to proceed is to identify other events that developed further back in time.

Despite a mass of new data collected during the last few decades, some major problems of Western Anatolian geology still remain controversial (Yılmaz, 2017). All research into neotectonics in Turkey treats Western Anatolia as a separate region. The neotectonic period began in Upper Oligocene according to some researchers and in Upper Miocene according to others and continues right up to the present day. It is accepted that the region expanded in a north-south direction during this process. Linked to this, grabens with a generally east-west orientation were formed.

This paper explores the idea that it is more correct to describe the current deformation according to field observations and then examine geological evolution from the present to the past. Therefore, the rock groups in Western Anatolia are summarized, and the geodynamic processes of Anatolia and its environs are examined.

The oldest rocks in the region are metamorphics referred to as the Menderes Massif and its age is Pre-Cambrian — Late Paleozoic. Another rock package is composed of ophiolites and associated with pelagic limestone, mudstone, clastics and *mélange*. It is assumed that the unit developed between Triassic (?) - Late Cretaceous and represents the Izmir-Ankara Zone. Another package in Western Anatolia commonly observed consists of clastics and carbonated rocks. These rocks are from Oligocene-Early Miocene. Also, Late Eocene and Late Miocene aged rocks were observed in a few areas. However, the position of the units in the packages is controversial. The youngest rocks in Western Anatolia are composed of units from Pliocene to Quaternary. The Pliocene units are composed of clastic rock assemblages that show active tectonics and travertine-textured limestones where there are slump structures and syn-sedimentary tectonic structures. Quaternary units are located within isolated sedimentation areas in the present day and it is not possible to correlate or combine other sediments in different areas (Figure 3). For more information, see Yılmaz (2017).

Most studies related to the neotectonics of Western Anatolia are based on two issues. The first is the existence of east-west oriented long-axis basins, and the second is the age of the sediments in the floor of these basins. In all studies, it is emphasized that east-west oriented sedimentation areas occur as a result of north-south oriented extensions. However, to reveal the cause and effect relationship, it cannot be explained purely by the north-south oriented stress, as mentioned in previous studies. To the contrary, the region is escaping westward according to GPS data (Aktuğ et al., 2009 and the thickness of the crust is gradually becoming thinner from east to west (Akçiğ, 1988; Arslan, 2012). Therefore, the change in crustal thickness does not correspond to the east-west oriented grabens, namely, the Büyük Menderes

and Gediz grabens. Similarly, the same trend is observed in gravity maps arranged according to different geophysical parameters (Arslan et al., 2010). The mean rotation calculations of paleomagnetism data separated by geological age do not accurately show the current movement in the whole of Western Anatolia (Tapırdamaz et al., 2006).


The active faults in Turkey mapped by Emre et al. (2013) have been tested many times by earthquakes. According to the structural elements of Western Anatolia, it can be seen that it is a unique region. In addition to normal faults in the region, strike-slip faults and thrust faults (rarely) have been detected by moment tensor solutions of earthquakes in Western Anatolia and its vicinity (Pavlidis et al., 1990; Kılıç et al., 2017). Currently, the tectonic region defined as Western Anatolia encompasses the area between the northwest-southeast oriented Bursa-Eskişehir-Afyon Fault Zone and the northeast-southwest oriented Muğla-Afyon Fault Zone in the east, extending in a sideways V shape towards the west (Figures 1 and 8). In the present paper, this tectonic zone is named the Western Anatolian Tectonic Wedge (WATW).

In areas where the main discontinuities have not been well researched, discontinuities combined with their interpretation consist of many tectonically-controlled blocks in the WATW. These blocks have not been specifically named as we were not able to carry out detailed work on them (Figure 23). In this paper, the structure called the Menderes Block is a tectonic block separated from the Menderes Massif by certain discontinuities. In other words, this block does not correspond to the entire area of the Menderes Massif (Figure 24). The Menderes Block is deformed by escaping in a westward direction. There are high temperature geothermal manifestations on the margins of the Menderes Block (Figure 25). Also, we regard the Tuzla Geothermal Field as a morphotectonic

feature in the WATW. Tuzla Geothermal Field has a sideways V shape towards the western morphotectonic structure, with geothermal sources on both sides.

In this model, three main factors are thought to have been effective in shaping the resulting Western Anatolia Tectonic Wedge: 1) The Anatolian Block, between the North Anatolian Fault and East Anatolian Fault, escaping to the west, 2) shrinkage of the overriding block of the subduction zone in the southwest of the region, and 3) the Isparta Angle, which is still stable today.

ORCID

Fuat Şaroğlu  <https://orcid.org/0000-0003-0582-5258>

Bahadır Güler  <https://orcid.org/0000-0001-6523-9678>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

Akçığ, Z., 1988. Batı Anadolu'nun yapısal sorunlarının gravite verileri ile irdelenmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 31 (2), 63-70.

Aktug, B., Nocquet, J.M., Cingöz, A., Parsons, B., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gürdal, M.A., Kılıçoğlu, A., Akdeniz, H., Tekgül A., 2009. Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: Limits to block-like behavior. Journal of Geophysical Research, 114 (B10404), 1-22.

Altunel, E., Hancock, P.L., 1993. Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. Zeitschrift Geomorphologie Supplementary, 94, 285- 302.

Altunel, E., D'Andria, F. 2019. Pamukkale Travertines: A Natural and Cultural Monument in the World Heritage List, (Landscapes and Landforms of Turkey, Editörler: Kuzucuoğlu, C., Çiner A., Kazancı N.). Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, 219-229.

Aksu, A.E., Hall, J., Yalıtırak, C., 2009. Miocene–Recent evolution of Anaximander Mountains and Finike Basin at the junction of Hellenic and Cyprus Arcs, eastern Mediterranean. Marine Geology, 258 (1-4), 24–47.

Alçıçek M.C., Ten Veen J.H., Özkul M., 2006. Neotectonic development of the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey, (Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region, Editörler: Robertson A.H.F., Mountrakis D.). The Geological Society Publishing House, London, Special Publication 260, 591-611.

Arpat, E., Bingöl, E. 1969. The rift system of the Western Turkey; thoughts on its development. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 73, 1-9.

Arslan, S., Akın, U., Alaca, A., 2010. Gravite Verileri ile Türkiye'nin Kabuk Yapısının İncelenmesi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 140, 57-73.

Arslan, S. 2012. Türkiye 1/1.500.000 Ölçekli Gravite Kabuk Kalınlığı Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Barka, A.A. 1992. The North Anatolian Fault Zone. Annales Tectonicae, 6 (special issue), 164-195.

Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B. 1975. Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğler, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, 70-76.

Bingöl, E., 1976. Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 86, 14-34.

Boray, A., Akat, U., Akdeniz, N., Akçaören, A., Çağlayan, A., Günay, E., Korkmazer, B., Öztürk, E.M., Sal H., 1975. Menderes Masifinin Güney Sınırı Boyunca Bazı Önemli Sorunlar ve Bunların Muhtemel Çözümleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğler, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, 11-20.

Boray, A., Şaroğlu, F., Emre, Ö., 1985. Isparta Büklümünün Kuzey Kesiminde doğu-batı Daralma için Bazı Veriler. Jeoloji Mühendisliği, 23, 9-20.

- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta* 14, (1–3), 3-30.
- Bozkurt, E. 2019. Batı Anadolu Grabenlerinin Bölümlemesinin Yapısal Kontrolleri: Doğrultu-Atımlı Faylanmanın Graben Oluşumu Üzerindeki Yeri ve Önemi. 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., Softa, M., Tepe, Ç., Eski, S., (editörler), TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No: 140, Ankara, 35-36.
- Candan, O., Dora O.Ö., Kun, N., Akal, C., Koralay, E., 1992. Aydın Dağları (Menderes Masifi) Güney Kesimindeki Allohton Metamorfik Birimler, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 4 (1), 93-110.
- Dewey, J.F., Sengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: complex multiple and continuum tectonics in a convergent zone, *Geological Society of America Bulletin*, 90 (1), 84-92.
- Dora, O.Ö., Kun, N., Candan, O., 1992. Menderes Masifi'nin Metamorfik Tarihçesi ve Jeotektonik Konumu. 35 (1), 1-14.
- Duman, T.Y., Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., 2005. Step-over and bend structures along the 1999 Düzce Earthquake surface rupture. *North Anatolian Fault, Turkey. Bulletin of Seismological Society of America*, 95 (4), 1250-1262.
- Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., Ünay, E., 1998. Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 120, 289-314.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Göktaş, F., 2005. İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi*, Rapor No: 10754, 80 s., (yayımlanmış).
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, VI+89s.+bir pafta, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30*, Ankara, 89 s.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T., 2018. Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16 (8), 3229-3275.
- Ercan, T., 1981. Kula Yöresinin Jeolojisi ve Volkanitlerin Petrolojisi. İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri Fakültesi, Doktora Tezi, 165 s. (yayımlanmamış).
- Erdoğan, B., 1990. İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 110, 1-15.
- Erdoğan, B., Güngör, T. 1992. Menderes Masifinin Kuzey Kanadının Stratigrafisi ve Tektonik Evrimi, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 4 (1), 9-34.
- Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, Ş., Özcan, A., Işık, A. 1996. Nallıhan-Sarıcakaya Arasında Orta Sakarya'daki Yapısal Birimlerin Jeolojik Özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Raporu No: 10094*, (yayımlanmamış).
- Gözler, M.Z., Cevher, F., Küçükayman, A. 1984-1985. Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 103-104, 40-54.
- Gürsoy H., Temiz H., Tatar O., 1997. Gediz grabeni GD kenarındaki güncel deformasyon verileri. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 1. Çalıştayı, (ATAG-1)*, 08-09 Aralık 1997, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 103-112.
- Hakyemez, H.Y., Göktaş, F., Erkal, T., 2013. Gediz Grabeni'nin Kuvaterner Jeolojisi ve Evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 56 (2), 1-26.
- Helvacı, C., Yağmurlu, F., 1995. Geological setting and economic potential of the lignite and evaporite-bearing Neogene basins of Western Anatolia, Turkey. *Israel Journal of Earth Sciences*, 44, 91-105.
- Helvacı, C., 1995. Stratigraphy, mineralogy, and genesis of the Bigadiç borate deposits, Western Turkey. *Economic Geology*, 90, 1237-1260.
- Helvacı, C., Orti, F., 1998. Sedimentology and diagenesis of Miocene colemanite-ulexite

- deposits (western Anatolia, Turkey). *Journal of Sedimentary Research*, 68 (5), 1021-1033.
- Helvacı, C., 2015. Geological features of Neogene basins hosting borate deposits: An overview of deposits and future forecast. Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. 151, 169-215.
- Helvacı, C., 2019. Turkish Borate Deposits: Geological Setting, Genesis and Overview of the Deposits, (Mineral Resources of Turkey, Modern Approaches in Solid Earth Sciences 16, Editörler: Pirajno, F., Ünlü, T., Dönmez, C., Şahin, M.B.). Springer International Publishing. 535-597.
- Kaya, A., 2015. The effects of extensional structures on the heat transport mechanism: an example from the Ortakçı geothermal field (Büyük Menderes Graben, SW Turkey). *Journal of African Earth Sciences*. 108, 74–88.
- Kaymakçı, N., Özkaptan, M., Özacar, A.A., Langereis, C., Gülyüz, E., Koç, A., Uzel, B., Sözbilir, H. 2017. GB Anadolu'nun Kinematığı ve Rotasyonel Deformasyonu: Aktif Fethiye-Burdur Fay Zonu Efsanesi. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 21. Çalıştayı, (ATAG-21), 26-28 Ekim 2017, Özkaymak, Ç. (ed.), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 14-15.
- Kılıç, T., Kartal, R.F., Kadirioğlu, F.T., Duman, T.Y., Özalp, S. 2017. Türkiye ve yakın çevresi için düzenlenmiş moment tensor (1906-2012) kataloğu (MW \geq 4,0), (Türkiye Sismotektonik Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-34, Editör: Duman, T.Y.). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 95-104.
- Koca, M.Y., Sözbilir, H., Uzel, B., 2011, Sarıgöl Fay Zonu Boyunca Meydana Gelen Deformasyonların Nedenleri Üzerine Bir Araştırma. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35 (2), 151-174.
- Koçyiğit, A, Yusufoglu H., Bozkurt E., 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of Geological Society London* 156, 605-616.
- Komut, T., Gray, R. Pysklywec, R., Göğüş, O.H., 2012. Mantle flow uplift of western Anatolia and the Aegean: Interpretations from geophysical analyses and geodynamic modeling. *Journal of Geophysical Research*, 117 (B11412), 1-14.
- Konak, N. Akdeniz, N., Öztürk, E.M. 1987. Geology of The South of Menderes Massif. Guide Book for the Field Excursion Along Western Anatolia, Turkey. IGCP Project No:5, Correlations of Variscan and Pre-Variscan events of the Alpine-Mediterranean mountain belt, Field Meeting, Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA), 42-53.
- Konak, N. 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası İzmir Paftası, (Şenel, M., (ed.)) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Konak, N., Şenel M. 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası Denizli Paftası, (Şenel, M., (ed.)) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., Yamamori, K., Awata, Y., Özalp, S., 2009. Recognition of Active Faults and Stepped Geometry in Gemlik Bay, Sea of Marmara, NW Turkey. *Marine Geology*, 260, 90-101.
- Kürçer, A., Özdemir, E., Uygun Gündoğan, Ç., Duman, T., 2016. The First Paleoseismic Trench Data from Acıpayam Fault, Fethiye Burdur Fault Zone, SW Turkey. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50 (1), 75-84.
- Nebert, K. 1978. Linyit içeren Soma Neojen bölgesi, Batı Anadolu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 90, 20-69.
- Okay A.I., Siyako, M., Bürkan, K.A., 1991. Geology and Tectonic Evolution of the Biga Peninsula, NW Turkey. *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, 44 (1-2), 191-256.
- Okay, A.I., Siyako, M., 1993. İzmir Balıkesir Arasında İzmir Ankara Neo-Tetis Kenedinin Yeni Konumu. Ozan Sungurlu Sempozyumu Bildirileri, Kasım 1991, Turgut, S., (ed), Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Ankara, 333-355.
- Okay, A.I., Satır, M., 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*, 137, 495-516.

- Özalp, S., Emre, Ö., Doğan, A., 2013, Kuzey Anadolu Fayı Güney Kolu'nun segment yapısı ve Gemlik Fayı'nın paleosismik davranışı, KB Anadolu Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 147, 1-17, Ankara.
- Özalp, S., Emre Ö., Şaroğlu F., Özaksoy V., Elmacı, H., Duman T.Y., 2018. Active fault segmentation of the Çivril Graben System and surface rupture of the 1 October 1995 Dinar earthquake (Mw 6.2), Southwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 166, 136-151
- Özer, S., Sözbilir, H., Özkar, İ., Toker, V., Sarı B., 2001. Stratigraphy of Upper Cretaceous–Palaeogene sequences in the southern and eastern Menderes Massif (western Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, 89 (4), 852-866.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., ve Üzel, B. 2013. Neogene-Quaternary evolution of the Manisa Basin: Evidence for variation in the stress pattern of the Izmir-Balıkesir Transfer Zone, western Anatolia. *Journal of Geodynamics*, 65, 117–135.
- Özkaymak, Ç, Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ. 2017, Afyon-Akşehir Grabeni Kenar Fayları Üzerine Saha Gözlemleri ve Teknik İnceleme. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 21. Çalıştayı, (ATAG-21)*, 26-28 Ekim 2017, Özkaymak, Ç. (ed.), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Pavlidis, S., Mountrakis, D., Kiliyas, A., Tranos, M. 1990. The role of strike-slip movements in the extensional area of Northern Aegean (Greece). A case of transtensional tectonics. *Annales Tectonicae*, 4 (2 Special Issue), 196-211.
- Perinçek, D., 1980. Arabistan Kıtası Kuzeyindeki Tektonik Evrimin, Kıta Üzerinde Çökelen İstifteki Etkileri. *Türkiye 5. Petrol Kongresi*, Nisan 1980, Saner, S., Perinçek, D., (editörler), Ankara, 77-93.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111 (B05411), 1-26.
- Rojay, B., Toprak, V., Demirci, C., Süzen, L., 2005. Plio-Quaternary evolution of the Küçük Menderes Graben southwestern Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 18 (3-4), 317–331.
- Seyitoğlu G., Işık V., 2015. Late cenozoic extensional tectonics in western anatolia: Exhumation of the menderes core complex and formation of related basins. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 151, 47-106.
- Seyitoğlu, G., Kaypak, B., Aktuğ, B., Gürbüz, E., Esat, K, Gürbüz, A., 2016. KB Türkiye’de Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun alternatif Güney kolu için bir hipotez. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 59 (2), 115-130.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Güler, T., Eski, S., 2016. Kinematic analysis and palaeoseismology of the Edremit Fault Zone: evidence for past earthquakes in the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Biga Peninsula, NW Turkey. *Geodinamica Acta*, 28, 273-294.
- Şaroğlu F. 1985. Doğu Anadolu’nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 240 s., (yayımlanmamış).
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1984. Doğu Anadolu’nun Neotektoniği ve ilgili Magmatizması. İhsan Ketin Simpozyumu, 149-162.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., 1987. Türkiye’nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No:8174, 394 s.

- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1990. Batı Anadolu'da Neojen Deformasyonunu Tipleri ve Havza Gelişimi Üzerine Bazı Görüşler. Türkiye 8. Petrol Kongresi, Ankara, Özler Kitabı, 16-20 Nisan, 1990.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992. Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Doğan, A., Yıldırım, C., 2005. Eskişehir Fay Zonu ve Deprem Potansiyeli. Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı, Eskişehir, 11-11.
- Şaroğlu, F., Özgür R., Aydoğdu, Ö., Sarp, S., 2015. Soma Bölgesi Kömür Yataklarının Çökel Havza Modeli. 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, Sayıt, K. (ed.), TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın No: 119, 6-10 Nisan 2015, MTA Kültür Sitesi Ankara, 130-131.
- Şengör, A. M. C., Kidd, W. S. F., 1979. The post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu, Konferans Serisi 2, Ankara, 40 s.
- Şengör A.M.C., Yılmaz Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli, Türkiye Jeoloji Kurultayı, 59-71.
- Şengör A.M.C., Yılmaz Y., 1983. Türkiye'de Tetis'in Evrimi; Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım. Türkiye Jeoloji Kurumu Yerbilimleri Özel Dizisi No:1, 73 s.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. (Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Editörler: Biddle, K.T., Chrisite-Blick, N.). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 227- 264.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C., 2005. The North Anatolian Fault: A new look. *Annual Reviews, Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Şimşek, Ş., 1982. Denizli Sarayköy-Buldan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 3 (1-2), 145-162.
- Tapırdamaz, M. C., Alparslan, E., Yüce, H., 2006. CBS ortamında Türkiye paleomanyetizma veri kataloğu. 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Bildiriler Kitabı, Demirci, A., Karakuyu, M., McAdams, M.A. (editörler), 13-16 Eylül, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 351-357.
- Tapırdamaz, M. C., Türkiye Paleomanyetizma Kataloğunun GIS Kullanılarak Hazırlanması. Uluslararası Katılımlı Paleomanyetizma Çalıştayı, Cumhuriyet Üniversitesi Konferans Salonu Sivas, 15-17 Mayıs, 2008.
- Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Kaymakçı, N., Langereis, G.C., 2013. Structural evidence for strike-slip deformation in the Izmir-Balıkesir transfer zone and consequences for late Cenozoic evolution of western Anatolia (Turkey). *Journal of Geodynamics*, 65, 94-116.
- Ünay, E., Göktaş, F., Hakyemez, H.Y., Avşar, M., Şan, Ö.M., 1995. Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey kenarındaki çökellerin Arvicolidae (Rodentia, Mammalia) faunasına dayalı olarak yaşlandırılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 38 (2), 63-68.
- Yazman, M. 1995. Geology of the Alaşehir Graben and petroleum potential, Turkish Petroleum Corporation (TPAO) research group progress report no. 3496, (yayımlanmamış).
- Yılmaz, Y., Genç, S.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S., Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop?, (Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding area, Editörler: Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.D.A.). *The Geological Society London Special Publication*, 173, 353-384.

Yılmaz, Y., 2017. Major Problems of Western Anatolian Geology, (Active Global Seismology: Neotectonics and Earthquake Potential of the Eastern Mediterranean Region, Editörler: I. Çemen, Y. Yılmaz). American Geophysical Union, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 141-187.

Yılmazer, S., Şaroğlu, F., Özgür, R., Açıkgöz, S., Ercan, T., Gevrek, A.İ., Yıldırım, N., Aydoğdu, Ö., 1994, Kuşadası-Davutlar (Aydın) arasının jeolojisi ve jeotermal olanaklarının değerlendirilmesi, Türkiye 6. Enerji Kongresi, 17-22 Ekim 1994 İzmir, Teknik oturum tebliğleri 1, 156-167.



**Çarpışma Sonrası Pliyo-Kuvaterner Gözucu (Taşlıçay-Ağrı)
Volkaniklerinin Jeokimyasal Özellikleri ve Magma Kaynak Bölge Karakteristikleri,
Doğu Anadolu, Türkiye**
*Geochemical Features and Magma Source Regional Characteristics
of the Post-Collisional Plio-Quaternary Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) Volcanics, Eastern Anatolia, Turkey*

Mustafa Açlan^{*1} , Yusuf Altun¹ 

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080, Van

• Geliş/Received: 23.05.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 01.08.2019 • Kabul/Accepted: 16.09.2019
• Çevrimiçi İlk Yayın/Available online: 10.02.2020 • Baskı/Printed: 01.04.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu çalışma Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) volkaniklerinin petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesini amaçlar. İncelenen volkanikler subalkali, kalkalkali, yüksek K'lu seri ve şoşonitik özelliklere sahip olup, bazalt, andezit, trakiandezit, trakidasit ve dasitlerden meydana gelirler. Gözucu volkanikleri hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ve büyük iyonlu litofil elementlerde (BİLE) zenginleşme, ağır nadir toprak elementleri (ANTE) ve kalıcılığı yüksek elementlerde (KYE) tüketilmeye sahiptirler. Gözucu volkanikleri kıtasal kabuğun ortalama Sr ve Ba değerlerine yakın Sr ve Ba değerlerine (Sr-379 ppm Ba-639 ppm) sahiptirler. Bu yüksek değerler Gözucu volkaniklerinin oluşumu sırasında kıtasal kabuk kayalarından kirlenmeye uğradığına işaret eder. Düşük Nb/La (5,13 ppm) ve yüksek Ba/Rb (16,75 ppm) oranı Gözucu volkaniklerinin kirlenme süreci sırasında akışkanlardan ziyade sediment katkısının daha baskın rol oynadığını ifade etmektedir. Ana ve eser elementlerin ikili değişim diyagramlarındaki artma ve azalma eğilimleri fraksiyonel kristallenmeye ve tek bir manto kaynağına işaret etmektedir. Jeodinamik ortam olarak kıtasal yay ortamında ve çarpışma sonrasında oluşmuştur. Gözucu volkanikleri spinel mineralojisi açısından zengin bir litosferik manto kaynak bölgesinin %0,1 ile %3 oranında kısmi erimesi sonucu oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kıtasal çarpışma, Bazalt, Doğu Anadolu, Taşlıçay, Kabuksal kirlenme

Abstract: This study aimed to determine the petrographic and geochemical features of the Plio-Quaternary Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) volcanics. These volcanics have subalkaline, calc-alkaline, high-K-series and shoshonitic features and are composed of basalt, andesite, trachyandesite, trachydacite and dacites. The Gözucu volcanics exhibit enrichment in light rare earth elements (LREE) and large ion lithophile elements (LILE) while showing depletion in heavy rare earth elements (HREE) and high field strength elements (HFSE). The average Sr and Ba values of Gözucu volcanics are close to continental crust values (Sr-379 ppm Ba-639 ppm), which means that these rocks were contaminated by the continental crust during formation. Low Nb/La (5.13 ppm) and high Ba/Rb (16.75 ppm) ratios indicate that the contribution of sediments was more than that of fluids during the contamination process of the Gözucu volcanics. Positive and negative trends of major and trace elements in the variation diagrams indicate fractional crystallization and a single mantle source. The Gözucu volcanics occurred with a partial melting of the spinel-rich lithospheric mantle source with 0.1-3% partial melting in the continental arc environment after the collision.

Keywords: Continental collision, Basalt, Eastern Anatolia, Taşlıçay, Crustal contamination.

* Yazışma / Correspondence: maclan@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Doğu Anadolu Bölgesi dünyadaki kıtasal çarpışma sonucu gelişmiş orojenik kuşak özelliklerini yansıtan istisnai alanlardan birisi olması nedeniyle jeolojik açıdan büyük öneme sahiptir (Yılmaz vd., 1998; Keskin, 2003, 2007; Şengör vd., 2003; Barazangi vd., 2006; Keskin vd., 2006; Şengör vd., 2008; Ekici vd., 2012; Açlan ve Turgut, 2017; Oyan vd., 2017; Özdemir vd., 2019). Doğu Anadolu Bölgesinde Karlıova'nın doğusundaki Kafkaslarla Bitlis-Zagros kenet kuşağı arasındaki bölge (Şekil 1a) Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi (DAYK) olarak adlandırılır (Şengör and Yılmaz 1981; Bozkurt 2001; Şengör vd., 2003; 2008). DAYK, Arabistan ve Avrasya levhaları arasında Erken Miyosen'de Bitlis-Zagros suture zonu boyunca meydana gelen çarpışma sonucu oluşmuştur (Şengör vd., 2003; 2008; Okay vd., 2010; Karaoğlan vd., 2016; Oyan, 2017; Açlan ve Altun, 2018; Açlan ve Duruk, 2018).

Bölgede Orta Miyosen'de (~15 My; Lebedev et. al., 2010) başlayan volkanik aktivite Pliyosen ve Kuvaterner'de yoğunlaşmıştır (Oyan vd., 2017). Bugüne kadar bölgedeki volkanik kayaçların jeolojik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen (Innocenti vd., 1976; Innocenti vd., 1980; Yılmaz vd., 1987; Ercan vd., 1990; Yılmaz vd., 1998; Al-Lazki vd., 2003; Keskin, 2003, 2007; Sandvol vd., 2003; Şengör vd., 2003; Özdemir vd., 2006; Şengör vd., 2008; Özdemir ve Güleç, 2014; Oyan vd., 2016, 2017; Açlan ve Turgut, 2017; Oyan, 2018; Açlan ve Davran, 2019; Özdemir vd., 2019), çalışmaya konu olan volkaniklerle ilgili Çakır (1994)'ün çalışması dışında bir çalışma mevcut olmayıp, bu çalışma da tamamen genel jeoloji amaçlı olarak yapılmıştır. Bu nedenle çalışmanın literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

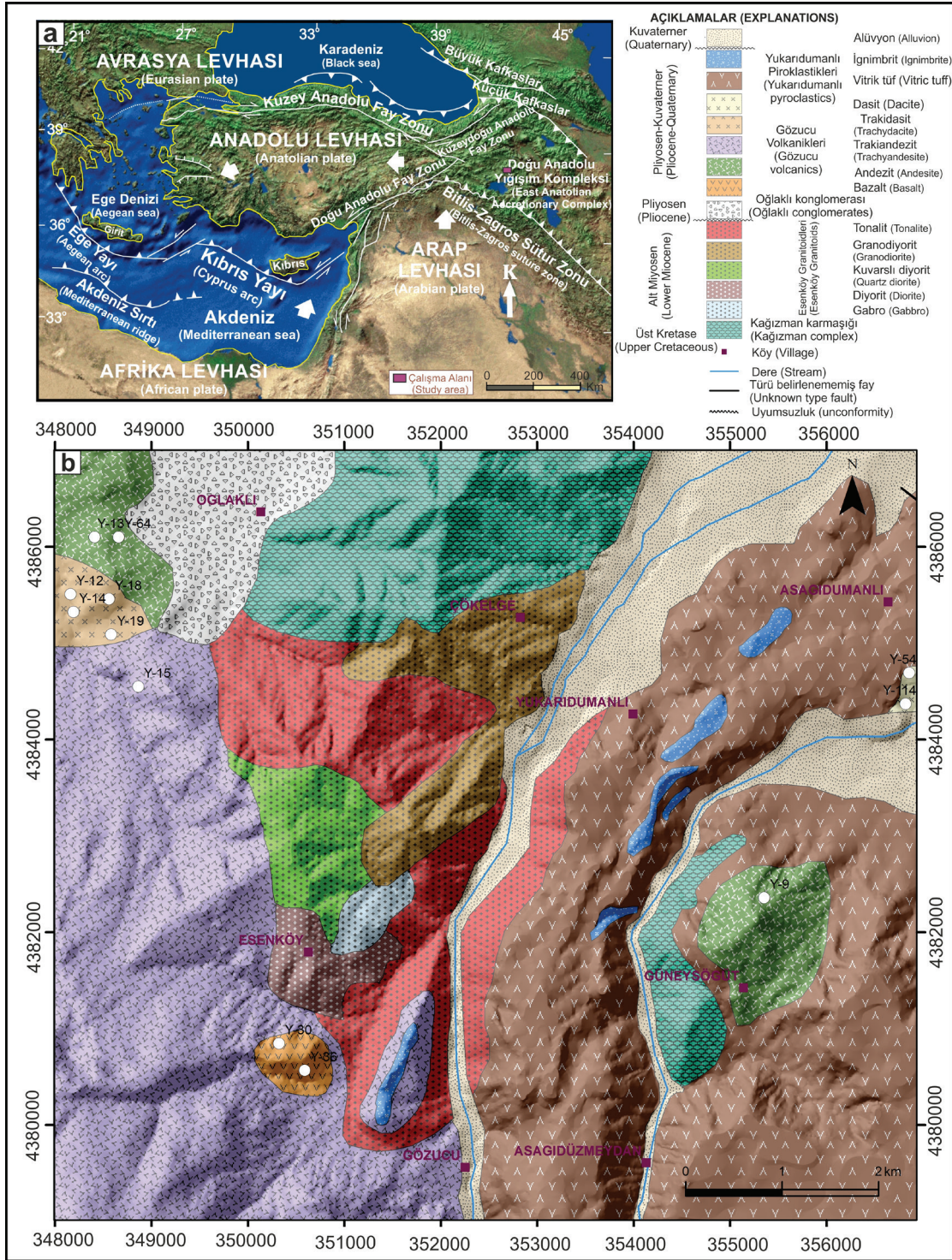
Bu çalışma, Ağrı ilinin Taşlıçay ilçesinin 18 km güneybatısında yer alan (Şekil 1) Gözucu

(Taşlıçay-Ağrı) dolaylarında gözlenen Pliyo-Kuvaterner yaşlı (Çakır, 1994) volkanik kayaçların petrografik ve jeokimyasal özelliklerini belirlemek, bu kayaçların oluşumunda ve evriminde etkili olan magmatik süreçlere ve kaynak bölge karakteristiklerine yaklaşımda bulunmak amacıyla yapılmıştır.

JEOLOJİ

DAYK bölgede temeli oluşturur (Şengör vd., 2003; 2008). DAYK içinde bulunan birimler, Paleozoyik-Mezozoyik metamorfik kayaçlar (Perinçek, 1980), Üst Kretase ofiyolitik melanj (Ketin, 1977) ve fliş (Şengör ve Yılmaz, 1981), Eosen-Alt Miyosen okyanusal sedimanter kayaçlar (Şengör and Yılmaz 1981; Şengör vd., 2008), Orta Miyosen ve daha genç kalkalkali ve alkali volkanik kayaçlar olarak gruplandırılabilir (Yılmaz vd., 1987; Keskin 2003; Şengör vd., 2008). Ek olarak bölgede Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanikler de oldukça yaygın olarak bulunurlar (Keskin, 2003; Özdemir vd., 2006; Şengör vd., 2008; Özdemir ve Güleç 2014; Oyan vd., 2016, 2017; Açlan ve Turgut, 2017; Açlan ve Davran, 2019).

Çalışma alanında temel Üst Kretase yaşlı Kağızman kompleksi tarafından temsil edilir. Alt Miyosen yaşlı ve başlıca gabro, diyorit, kuvraslı diyorit, granodiyorit ve tonalitlerden oluşan Esenköy granitoidleri (Açlan ve Altun, 2018) bu kompleksi intrüzif olarak keser. Pliyosen yaşlı Oğlaklı konglomerası bu birimler üzerinde uyumsuzlukla yer alır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gözucu volkanikleri (Çakır, 1994) ve Yukarıdumanlı piroklastikleri bu birim ile uyumlu bir dokanak ilişkisine sahiptir. Kuvaterner yaşlı alüvyon çalışma alanındaki en genç birimdir (Şekil 1).



Şekil 1. a) Çalışma alanının yer bulduru haritası (yer bulduru haritası üzerindeki tektonik hatlar Bozkurt, 2001 ve Koçyiğit, 2013'ten modifiye edilmiştir) b) Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası (Altun, 2016).

Figure 1. a) Location map of study area (tectonic lines modified from Bozkurt, 2001 and Koçyiğit, 2013) b) 1/25.000 scale geology map of study area (Altun, 2016).

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanında bulunan volkanik kayaların petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bölgedeki volkaniklerden 18 adet kayaç örneği alınmıştır. Araziden toplanan kayaç örneklerinin tamamının petrografik ince kesitleri Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü incekesit laboratuvarında hazırlanmış olup kayaçların polarizan mikroskop ile yapılan petrografik incelemeleri sonucunda jeokimyasal analiz için uygun olan 12 adet kayaç örneğinin tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri ACME laboratuvarlarında (Vancouver-Kanada) yaptırılmıştır.

Ana elementler, LiBO_2 ile füzyondan sonra İndüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-AES- Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy) ile ölçülmüştür. Ana element saptama limitleri yaklaşık % 0,001-0,04 arasındadır.

İz ve nadir toprak elementleri için, 0,2 g numune tozu ve 1,5 g LiBO_2 bileşimli eritici, grafit potada karıştırılmış ve ardından 15 dakika boyunca 1.050 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Erimiş numune daha sonra %5 HNO_3 içinde çözülmüştür. Sonraki aşamada numune çözeltileri bir İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresine (ICP-MS- Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer) aspire edilmiştir.

Element konsantrasyonları, STD GS 311, STD GS910-4, STD OREAS45EA, STD DS10, STD SO 18 standartlarına göre belirlenmiştir. Kayaç içindeki ana ve iz elementlerin tespit sınırları, 0,01 ila 0,5 ppm aralığındadır.

BULGULAR

Petrografi

Çalışma alanında bulunan volkanik kayalar başlıca bazalt, andezit, trakiandezit, trakidasit ve dasit türü kayalardan oluşurlar (Şekil 2, Çizelge 1).

Bazaltlar, mikrolitik porfirik ve glomeroporfirik dokuya sahip olup, plajiyoklaz (labrador), klinopiroksen (ojit) ve olivin kayacın esas bileşenlerini oluştururlar (Şekil 2a). Plajiyoklazlar subtomorf tabüler fenokristaller ve hamurda mikrolitler halinde bulunurlar. Genellikle polisentetik albit ikizlenmesi gösteren plajiyoklazların mikroskopta incelenmesi sonucu (albit kanununa göre ikizlenmiş kristallerde sönme açılarının yardımı ile anortit içeriğinin saptanması yöntemi-Michel Levy yöntemi) Labrador (An_{55-65}) türü oldukları tespit edilmiştir. Klinopiroksenler otomorf ve subtomorf fenokristaller halinde ve hamurda ksenomorf mikrotaneler halinde bulurlar ve ojit türü ile temsil edilirler (Şekil 2a). Yüksek optik engebeye sahip olan klinopiroksenler, tek nikolde renksiz veya soluk yeşil, çift nikolde ise III. ve IV. diziye ait yüksek dalga boylu mavi, mor girişim renklerini gösterirler. Olivinler kayaçta otomorf ve subtomorf fenokristaller halinde ve hamurda ksenomorf kristaller halinde bulunurlar (Şekil 2a).

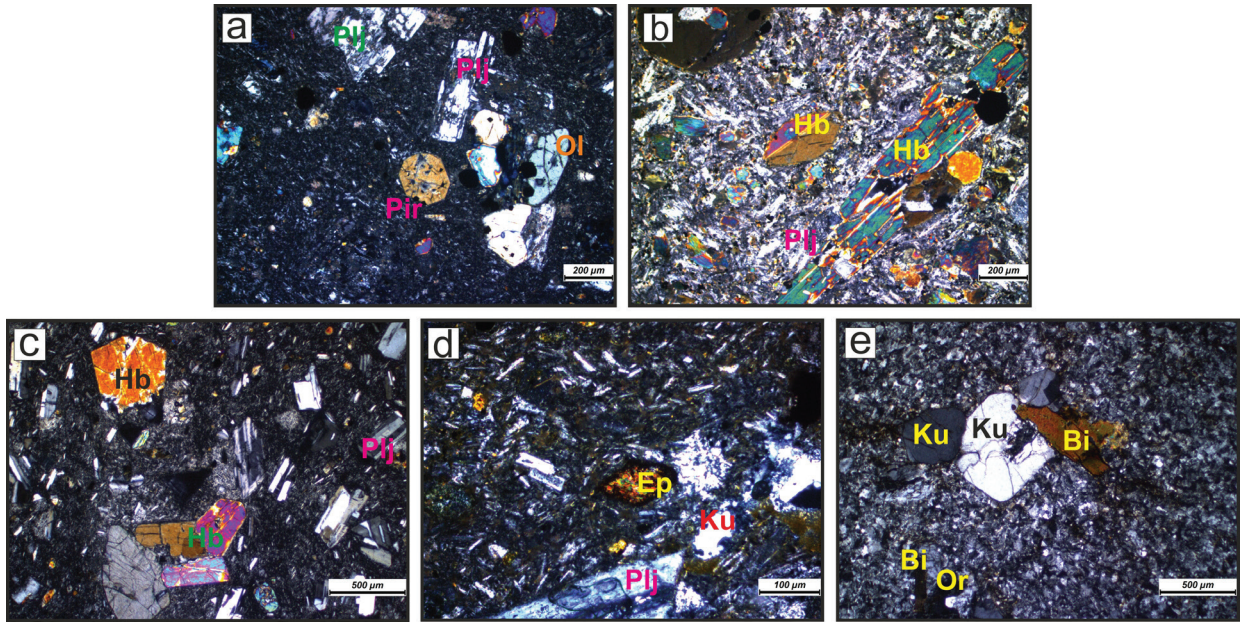
Yaygın olarak hyalo-mikrolitik porfirik ve glomeroporfirik doku gözlenen andezitlerde kayaç yapıcı bileşenler olarak plajiyoklaz ve hornblend görülür (Şekil 2b). Tali olarak gözlenen epidot (pistazit) ve klorit hornblend ve kayaçta az miktarda bulunan biyotitin alterasyonu sonucu gelişmiştir. Subtomorf fenokristaller ve mikrolitler halinde gözlenen plajiyoklazların andezin (An_{35-44}) oldukları tespit edilmiştir. Çok yaygın olmamakla birlikte bazı plajiyoklaz kristallerinde zonlanma gözlenir. Hornblendler otomorf ve subtomorf fenokristaller halinde bulunurlar. Otomorf kristallerinde çift yöndeki dilinim izleri tipik olan hornblendlerde yer yer ikiz düzlemi (100) olan basit ikizlenme gözlenmiştir. Biyotitler kayaçta az miktarda subtomorf kristaller halinde bulunur. Kahverengi pleokroizma rengine sahip biyotitlerde kenarlarından itibaren kloritleşme gelişmiştir.

Trakiandezitlerde mikrolitik porfirik ve glomeroporfirik doku gözlenir. Kayaçtaki mineral parajenezi olarak plajiyoklaz, hornblend,

klinopiroksen ile birlikte az miktarda biyotit sayılabilir. Epidot ve klorit mineralleri, hornblend ve biyotitten itibaren gelişen bozunma sonucu kayada ikincil olarak yer almaktadırlar (Şekil 2c).

Trakidasitlerde mikrolitik porfirik, glomeroporfirik ve trakitik dokular gözlenir. Plajiyoklaz, potasyumlu feldispat, kuvars ve hornblend kayadaki mineral parajenezinin bileşenleri olarak sayılabilir. Kayada gözlenen epidotlar hornblendlerin bozunması ile gelişmiştir (Şekil 2d).

Dasitlerde mikrogranüler porfirik ve glomeroporfirik doku hakim olup, plajiyoklaz, ortoklaz, kuvars esas bileşenlerdir. Kayada mafik mineral olarak biyotit gözlenir (Şekil 2e). Plajiyoklazlar subtomorf kristaller halinde bulunurlar. Ortoklazlar daha çok hamurda mikrokristaller olarak bulunur ve kaolinleşme türü alterasyon gösterirler. Kuvarlar subtomorf ve ksenomorf fenokristal ve hamurda daha çok ksenomorf taneler şeklinde gözlenir. Düzensiz gelişmiş çatlaklı kuvarlar yer yer kenarlarından kemirilmiş şekilde bulunurlar. Biyotitler kayada az miktarda fenokristal olarak bulunur.



Şekil 2. Gözucu volkaniklerine ait polarizan mikroskop görüntüleri a) Bazalt (ÇN) b) Andezit (ÇN) c) Trakiandezit (ÇN) d) Trakidasit (ÇN) e) Dasit (ÇN), (ÇN:Çift Nikol), (Bi: Biyotit, Ep: Epidot, Hb: Hornblend, Ku: Kuvars, Ol: Olivin, Or: Ortoklaz, Pir: Piroksen, Plj: Plajiyoklaz).

Figure 2. Polarized microscope views of Gözucu volcanics: a) Basalt (PPL) b) Andesite (PPL) c) Trachyandesite (PPL) d) Trachydacite (PPL) e) Dacite (PPL), (PPL: Plane Polarized Light), (Bi: Biotite, Ep: Epidote, Hb: Hornblende, Ku: Quartz, Ol: Olivine, Or: Orthoclase, Pir: Pyroxene, Plj: Plagioclase).

Çizelge 1. Gözucu volkaniklerinin modal mineralojisi ve petrografik özellikleri.**Table 1.** Modal mineralogy and petrographic features of the Gözucu volcanics.

Örnek No	Kayaç Adı	Doku	Modal Mineralojik Bileşim
Y-30	Bazalt	Mikrolitik porfirik, Glomeroporfirik	Plj, Ol, Kpir, Opak
Y-36	Bazalt	Mikrolitik porfirik	Plj, Ol, Kpir, Opak
Y-9	Andezit	Hyalo-Mikrolitik porfirik	Plj, Hb, Bi, Ep
Y-13	Andezit	Mikrolitik porfirik	Plj, Hb, Bi, Ep, Opak
Y-15	Trakiandezit	Mikrolitik porfirik, Entersertal	Plj, Hb, Bi, Opak
Y-64	Trakiandezit	Mikrolitik porfirik	Plj, Hb, Kpir, Ep, Opak
Y-12	Trakidasit	Mikrolitik porfirik, Trakitik	Plj, Or, Ku, Hb
Y-14	Trakidasit	Mikrolitik porfirik, Trakitik	Plj, Or, Ku, Hb
Y-18	Trakidasit	Mikrolitik porfirik, Trakitik	Plj, Or, Ku, Hb
Y-19	Trakidasit	Mikrolitik porfirik, Trakitik	Plj, Or, Ku, Hb
Y-114	Dasit	Mikrogranüler porfirik	Plj, Or, Ku, Bi
Y-54	Dasit	Mikrogranüler porfirik	Plj, Or, Ku, Bi

(Plj: plajiyoklaz; Or: ortoklaz; Ku: kuvars; Ol: olivin; Kpir: klinopiroksen; Hb: hornblend; Bi: biyotit; Ep: epidot)

(Plj: plagioclase; Or: ortoclase; Ku: quartz; Ol: olivine; Kpir: clinopyroxene; Hb: hornblende; Bi: biotite; Ep: epidote)

Jeokimya

Çalışma alanındaki volkanik kayaçların ana-iz ve nadir toprak element jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Gözucu volkaniklerinin SiO_2 içerikleri 42,28-65,03 arasında, MgO içerikleri 0,50-13,38 arasında, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ içerikleri 2,25-9,36 arasında değişir. Örnekler toplam alkali-silis (TAS) diyagramında (Le Bas vd. 1986) bazalt, andezit, trakiandezit, trakidasit ve dasit alanlarına düşmektedirler (Şekil 3a). Gözucu volkanikleri TAS diyagramında (Irvine ve Baragar, 1971) subalkali bölgede (Şekil 3b), AFM diyagramında (Irvine ve Baragar, 1971) kalkalkalen bölgede yer alırlar (Şekil 3c). Örnekler SiO_2 ’ye karşı K_2O diyagramında (Peccerillo ve Taylor, 1976) toleyitik alandan şoşonitik alana kadar dağılmış olarak gözlenirler (Şekil 3d).

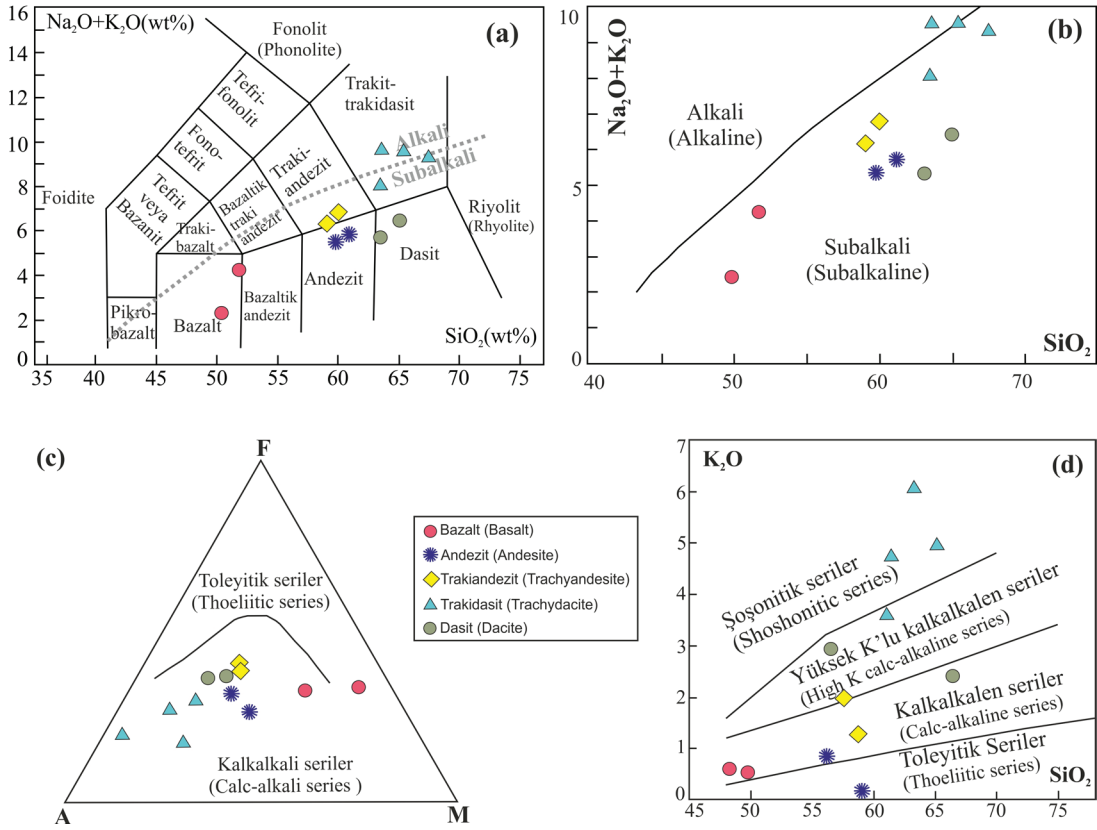
Gözucu volkaniklerine ait kayaçların ana element oksit ve seçili iz elementlerinin SiO_2 ’ye göre değişim diyagramlarına bakıldığında, ana oksitlerden Al_2O_3 içeriğinde silis miktarının artışı ile plajiyoklaz kristalizasyonuna bağlı olarak düzenli bir azalma görülür, MgO

oranındaki silis artmasına karşın negatif gidiş hornblend, biyotit ve piroksen kristalizasyonu ile açıklanabilir. Fe_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2 içeriğinde silis içeriğinin artışına bağlı olarak görülen düzenli azalma trendi her ne kadar doğrusal olmasa da bazalttan dasite doğru belirtilen elementlerin azalması piroksen ve titanit kristalizasyonundan kaynaklanmaktadır. CaO içeriğinde kalsiyumca zengin plajiyoklazların kristallenmesi nedeniyle düzenli bir azalma görülmektedir; Na_2O ve K_2O miktarları sodik plajiyoklazların ve K’lu feldispatların kristalizasyonu nedeniyle silis artışı ile artar; iz elementlerden Sc, piroksen, amfibol ve biyotitlerin kristallenmesine bağlı olarak azalma eğilimi; Co ise olivin kristalizasyonuna bağlı olarak silis artışına karşı azalma eğilimi sergiler. Ba ve Rb miktarlarında K’lu feldispat, biyotit ve hornblend kristalizasyonuna bağlı olarak silis miktarının artması ile artış gözlenir, Th, Zr ve Nb kalıcılığı yüksek elementler ana minerallerden ziyade aksesuar minerallerin bünyesine girerek eriyikten uzaklaşma eğiliminde olduklarından ve aksesuar minerallerin kristallenmenin sonlarına doğru oluşması nedeniyle silis miktarındaki artışa

Çizelge 2. Gözucu volkaniklerine ait ana-iz ve nadir toprak element jeokimyasal analiz sonuçları.

Table 2. Geochemical analysis results of major-trace and rare earth elements Gözucu volcanics.

Örnek	Y-30	Y-36	Y-9	Y-13	Y-15	Y-64	Y-12	Y-14	Y-18	Y-19	Y-114	Y-54
Kayaç Adı	Bazalt	Bazalt	Andezit	Andezit	Trakiandezit	Trakiandezit	Trakidasit	Trakidasit	Trakidasit	Trakidasit	Dasit	Dasit
SiO ₂	48,27	49,74	58,68	57,47	56,51	56,31	65,03	61,33	63,23	60,92	63,87	60,19
Al ₂ O ₃	12,36	16,97	16,16	16,10	16,73	16,22	16,88	16,59	16,42	16,72	15,75	14,95
Fe ₂ O ₃	8,73	6,59	6,39	6,13	5,82	5,43	2,90	4,88	3,11	6,33	4,17	4,11
MgO	13,38	7,80	3,91	3,58	3,34	3,72	0,50	2,00	3,18	2,95	2,18	4,35
CaO	10,84	9,52	5,25	6,90	6,42	5,32	1,06	1,54	0,52	0,71	5,39	5,62
Na ₂ O	1,68	3,63	4,46	3,40	3,09	5,60	4,11	4,51	3,28	4,19	4,00	5,09
K ₂ O	0,57	0,45	1,22	1,91	2,94	0,84	4,97	4,78	6,08	3,62	2,37	0,29
TiO ₂	0,64	1,42	0,71	0,83	0,87	0,69	0,89	0,76	0,88	0,71	0,57	0,57
P ₂ O ₅	0,06	0,28	0,14	0,25	0,25	0,13	0,21	0,24	0,22	0,28	0,20	0,12
MnO	0,12	0,11	0,04	0,11	0,16	0,04	0,04	0,27	0,03	0,06	0,05	0,06
Cr ₂ O ₃	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	<0,002	0,01	<0,002	<0,002	0,01	0,02
AK(LOI)	2,90	3,20	2,80	3,00	3,60	5,50	3,00	2,80	2,80	3,30	1,20	4,40
Toplam	99,68	99,71	99,80	99,68	99,70	99,82	99,55	99,73	99,77	99,77	99,79	99,81
Ni	97,00	23,00	26,00	<20	<20	<20	<20	26,00	<20	<20	33,00	60,00
Sc	35,00	35,00	16,00	15,00	17,00	16,00	9,00	12,00	9,00	11,00	10,00	13,00
Ba	104,00	129,00	316,00	685,00	657,00	244,00	2467,00	826,00	805,00	805,00	532,00	107,00
Be	2,00	3,00	2,00	3,00	3,00	1,00	4,00	2,00	<1	1,00	<1	1,00
Co	39,30	17,10	7,10	17,00	16,90	14,30	2,10	14,60	4,90	8,40	10,60	11,90
Cs	4,10	1,60	1,40	86,70	3,50	0,50	3,70	2,30	0,50	1,00	2,00	0,30
Ga	11,30	18,40	15,00	15,10	17,50	14,70	17,40	16,60	16,10	16,30	16,60	14,90
Hf	1,90	4,30	4,00	5,70	5,90	3,70	10,10	6,70	8,00	5,60	4,30	3,70
Nb	4,60	14,90	12,50	17,00	18,10	9,80	32,20	21,80	26,10	19,10	12,20	10,30
Rb	13,40	7,70	28,70	64,70	105,60	24,80	155,20	161,00	98,70	76,70	66,10	6,60
Sn	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	<1	3,00	2,00	2,00	2,00	<1	1,00
Sr	289,90	523,90	357,30	705,80	525,20	380,80	188,40	385,10	71,20	170,60	516,60	441,00
Ta	0,30	1,00	0,90	1,00	1,00	0,80	2,00	1,60	1,50	1,30	0,80	0,90
Th	3,00	3,30	8,60	14,60	13,40	7,70	21,10	20,20	17,90	14,10	9,10	11,30
U	0,60	1,30	3,10	4,50	4,20	2,60	6,10	5,60	5,60	3,90	2,90	3,80
V	184,00	295,00	145,00	155,00	156,00	137,00	60,00	113,00	56,00	123,00	84,00	116,00
W	<0,5	0,60	0,50	1,20	1,20	0,80	1,80	1,70	2,20	2,20	0,70	0,80
Zr	64,40	155,20	155,10	239,60	241,10	134,60	408,10	287,20	329,00	220,50	169,40	145,80
Y	15,10	29,60	21,10	22,10	21,80	15,50	34,90	26,40	31,90	19,70	14,10	16,10
La	14,70	31,60	30,20	36,80	37,00	18,90	64,00	47,90	52,60	38,90	35,20	26,20
Ce	28,40	66,50	53,40	70,80	71,20	34,80	111,30	86,90	99,50	76,60	53,70	47,20
Pr	3,32	8,37	5,82	7,55	7,71	3,68	13,26	9,38	10,90	7,68	6,18	4,87
Nd	14,40	34,70	20,90	28,30	28,30	14,10	46,90	34,30	42,30	28,00	22,10	18,00
Sm	3,25	7,21	4,47	5,29	5,46	2,77	8,32	5,74	7,47	5,02	3,87	3,21
Eu	0,96	1,91	0,95	1,28	1,30	0,79	1,76	1,39	1,62	1,09	1,00	0,80
Gd	3,13	6,66	3,99	4,74	4,99	2,70	7,38	5,46	6,27	4,35	3,32	3,02
Tb	0,51	1,00	0,67	0,73	0,75	0,48	1,10	0,81	0,98	0,68	0,50	0,49
Dy	2,86	5,45	3,87	4,48	4,31	2,74	6,40	4,50	5,61	3,74	2,77	2,94
Ho	0,55	1,07	0,77	0,82	0,83	0,57	1,32	0,84	1,17	0,75	0,50	0,57
Er	1,49	2,90	2,23	2,34	2,30	1,69	3,75	2,56	3,48	2,16	1,39	1,66
Tm	0,22	0,44	0,33	0,38	0,36	0,28	0,60	0,41	0,54	0,30	0,20	0,27
Yb	1,30	2,75	2,20	2,36	2,38	1,80	3,90	2,76	3,75	2,19	1,25	1,84
Lu	0,20	0,42	0,36	0,39	0,37	0,28	0,63	0,40	0,59	0,30	0,19	0,29
Nb/La	0,31	0,47	0,41	0,46	0,49	0,52	0,50	0,46	0,50	0,49	0,35	0,39
Ba/Rb	7,76	16,75	11,01	10,59	6,22	9,84	15,90	5,13	8,16	10,50	8,05	16,21
(Th/Nb) _N	12,7	4,3	13,4	16,7	14,4	15,3	12,72	17,99	13,31	14,33	14	21
(Gd/Yb) _N	1,93	1,94	1,45	1,61	1,68	1,20	1,51	1,58	1,34	1,59	2,12	1,31
(La/Yb) _N	7,54	7,66	9,15	10,40	10,36	7,00	10,94	11,57	9,35	11,84	18,77	9,49

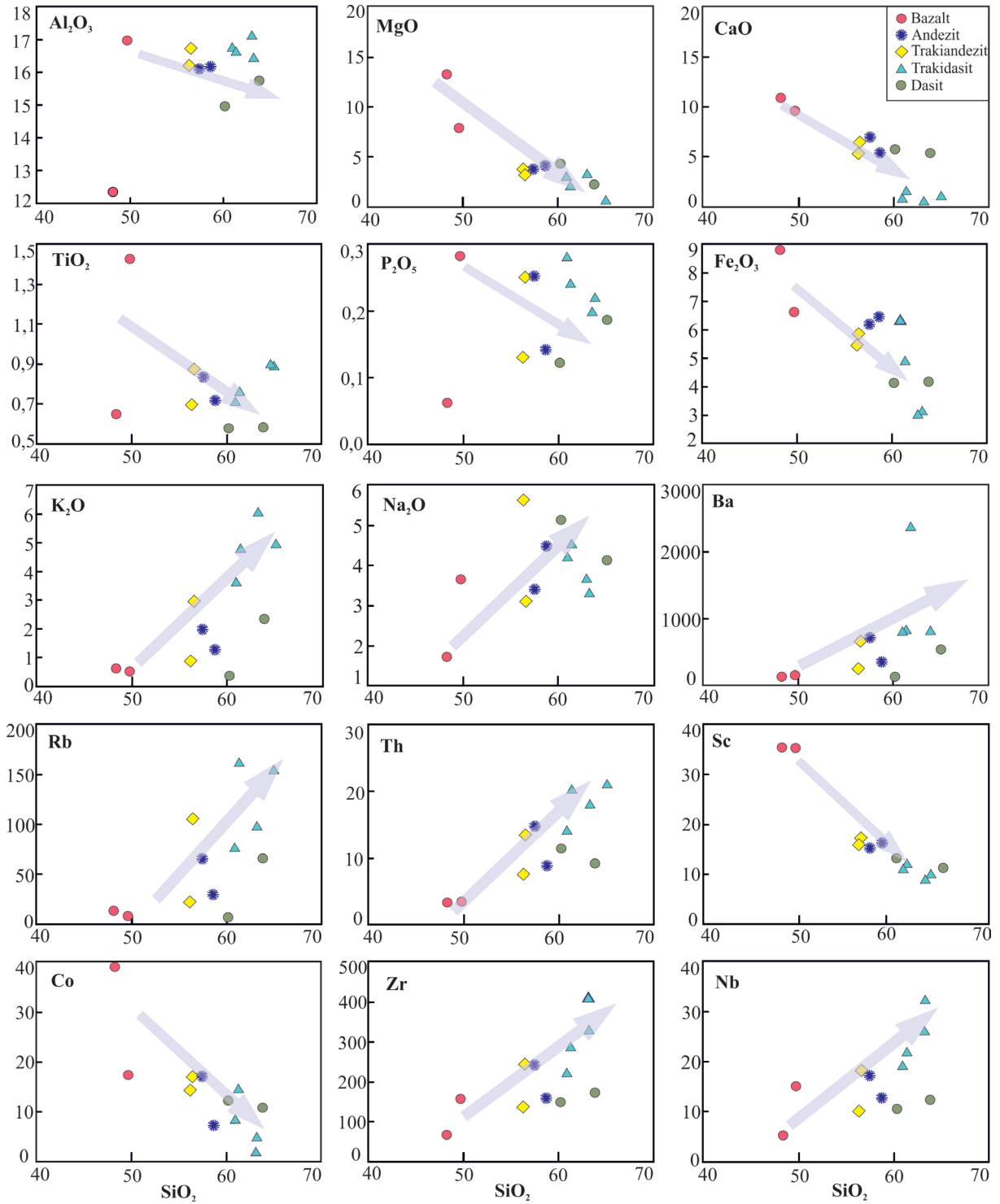


Şekil 3. Gözucu volkaniklerinin a) TAS diyagramındaki konumları (Le Bas vd., 1986). b) Irvine ve Baragar'ın (1971)'in TAS diyagramındaki, c) AFM (A: $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, F: FeO, M: MgO) diyagramındaki (Irvine ve Baragar, 1971) d), K_2O - SiO_2 diyagramındaki (Peccerillo ve Taylor, 1976) konumları.

Figure 3. Location of rock samples on volcanic units: a) TAS diagram of Le Bas et al., (1986) b) TAS diagram from Irvine and Baragar (1971) c) AFM (A: $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, F: FeO, M: MgO) diagram d) K_2O - SiO_2 diagram from Peccerillo and Taylor (1976).

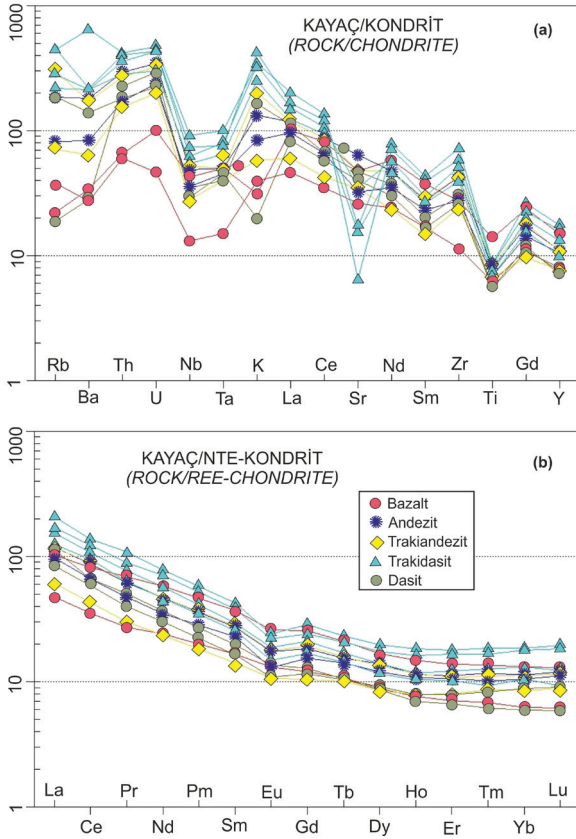
karşı artış eğilimi gösterirler (Şekil 4). Genel olarak çalışılan volkanik kayaların mafik üyesinden (bazalt) felsik üyesine (dasit) doğru ana ve iz elementlerdeki bu artma ve azalma trendleri bu kayaların tek bir magma kaynağından fraksiyonel kristalleşmeyle (Cox vd., 1979) oluştuğuna işaret etmektedir. İlksel mantoya göre normalize çoklu element örümcek diyagramında Cs, Rb, Ba, U ve K gibi büyük iyonlu litofil elementlerde (BİLE)

zenginleşme, Nb gibi yüksek değerlikli katyonlar (YDK) ve ağır nadir toprak elementlerinde ise (ANTE) tüketilme söz konusudur (Şekil 5a). İlksel mantoya göre normalize edilerek hazırlanan nadir toprak elementleri (NTE) örümcek diyagramında hafif nadir toprak elementleri (HNTE) açısından zenginleşme, ağır nadir toprak elementleri (ANTE) açısından tüketilme dikkat çeker. Eu açısından ise zayıf bir negatif trend gözlenir (Şekil 5b).



Şekil 4. Gözucu volkaniklerinin seçilmiş ana ve iz elementlerinin SiO_2 'ye karşı değişim diyagramları.

Figure 4. Variation diagrams of selected major and trace elements of Gözucu volcanics.



Şekil 5. Gözucu volkaniklerinin örümcek diyagramları a) Kayaç/Kondrit b) Kayaç/NTE-Kondrit (kondrit normalize değerleri Sun vd., 1980, NTE kondrit normalize değerleri Boynton, 1984'ten alınmıştır)

Figure 5. Spider diagrams for Gözucu volcanics: a) Rock/Chondrite b) Rock/REE-Chondrite (chondrite normalizing values from Sun et al., 1980, REE chondrite-normalizing values from Boynton, 1984).

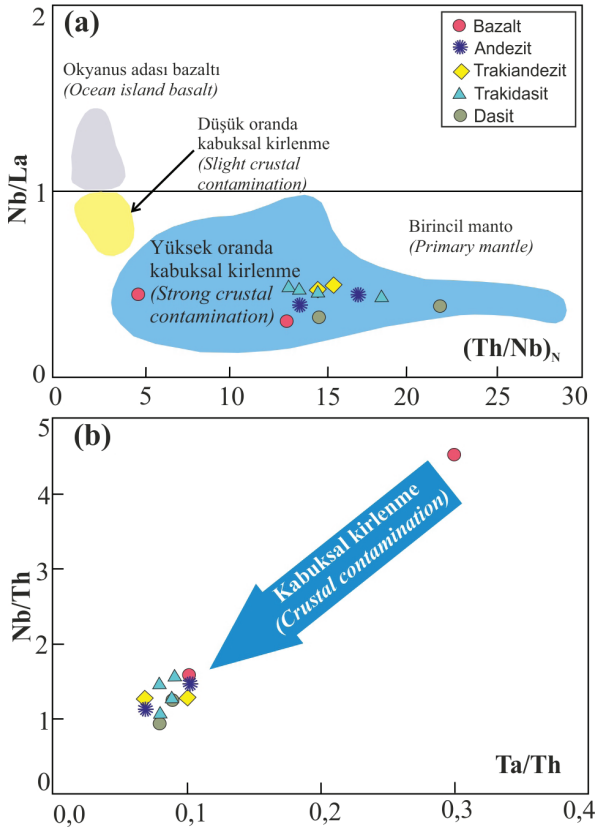
Kabuksal Kirlenme ve Fraksiyonel Kristallenme

Kayaçların kimyasal bileşimindeki değişimler, magmaların evrimi sırasındaki değişim veya kirlenme hakkında bilgi verebilir. Çünkü mantodan türetilen magmaların kıtasal kabuk içinde yükselimleri ve yerleşmeleri sırasında bileşimlerinin, fraksiyonel kristalleşme ve kabuksal

kirlenme gibi bazı işlemlerle değiştirilmesi kaçınılmazdır (De Paolo, 1982; Hawkesworth vd., 1984; Lightfoot ve Hawkesworth, 1988; Arndt vd., 1993; Seghedi vd., 2001, 2004; Dessai vd., 2008; Michael ve Cheadle, 2009; Freund vd., 2013; Azzone vd., 2016; Hutchison vd., 2018). Kalıcılığı yüksek element içeriğinin düşük Sr ve Ba oranlarının yüksek olması, MgO içeriği düşük kayaçların kirlenmesine ilişkin göstergelerdir, çünkü kabuk BİLE'de zenginleşme ve kalıcılığı yüksek elementlerde tükenme gösterir (De Paolo, 1982; Cribb ve Barton, 1996; Ayalew vd., 2002; Beard vd., 2005; Ayalew ve Gibson 2009; Genske vd., 2013).

Gözucu volkaniklerinin ortalama Sr ve Ba değerleri sırasıyla 379 ppm ve 639 ppm olup, bu değerler kıtasal kabuğun ortalama Sr ve Ba değerlerine oldukça yakındır (kıtasal kabuğun ortalama Sr ve Ba değerleri 503 ppm ve 707 ppm dir, Weaver ve Tarney, 1984). Bu Sr ve Ba'daki yüksek değerler, BİLE (örn. Rb, Ba, Sr) ve HNTE'inde ve kalıcılığı yüksek elementlerde (örn. Zr, Th, U, Ce) görülen zenginleşmeler Gözucu volkaniklerinin oluşumu sırasında kıtasal kabuk kayaçlarından kirlenmeye uğradığına veya magma kaynağına dalan levha tarafından sediman katkısına işaret etmektedir. Kabuksal kirlenmenin fraksiyonel kristalleşme ile birlikte etkili olduğu Nb/La'a karşı $(Th/Nb)_N$ ve Nb/Th'a karşı Ta/Th diyagramlarından da görülebilir (Şekil 6a, b). Çalışılan volkanik kayaçların Nb/La, $(Th/Nb)_N$, Nb/Th ve Ta/Th değerleri sırasıyla 0,31-0,52; 4,3-17,99; 0,91-4,52; 0,07-0,3 arasında değişmektedir.

Üst kıtasal kabuğun ortalama Ta/Zr değeri 0,01 ppm ilksel mantonun Ta/Zr değeri 0,003 ppm (Taylor ve McLennan, 1985) olup Gözucu volkaniklerinin 0,02 pmm-0,08 pmm arasında değişen ve üst kıtasal kabuk değerinden yüksek Ta/Zr değerleri de kabuksal kirlenmeye işaret etmektedir.



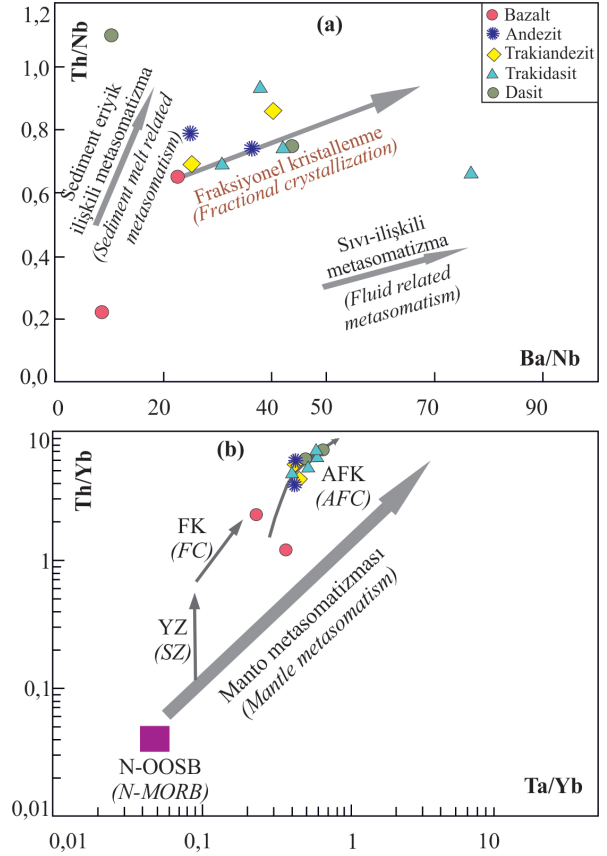
Şekil 6. Gözucu volkaniklerinin (a) Nb/La'a karşı (Th/Nb)_N (Hart, 1988'den sonra) ve b) Nb/Th'a karşı Ta/Th diyagramlarındaki konumları.

Figure 6. Location of Gözucu volcanics in: a) Nb/La vs. (Th/Nb)_N (after Hart, 1988) b) Nb/Th vs. Ta/Th diagrams.

Nadir toprak elementleri (NTE) açısından bakıldığında okyanus ortası sırtı bazaltının ortalama HNTE değeri 6,05 ppm ve ANTE değeri 2,664 ppm dir (McDonough, 1996). Çalışılan volkanik kayaların ortalama NTE değerlerine bakıldığında ortalama HNTE değerinin 413,83 ppm ve ANTE değerinin 26,625 ppm olduğu görülür ve yüksek değerler de kirlenmeye işaret eder.

Gözucu volkaniklerinin Th/Nb; Ba/Nb; Th/Yb ve Ta/Yb değerleri sırasıyla 0,22-1,1; 8,66-76,61; 1,2-7,32 ve 0,23-0,64 arasındadır. Çalışılan örnekler Th/Nb'a karşı Ba/Nb diyagramında fraksiyonel kristallenme (FK) vektörü boyunca; Th/Yb'ye karşı Ta/Yb diyagramında ise

asimilasyon fraksiyonel kristallenme (AFK) vektörü boyunca konumlanır (Şekil 7a, b). Bu özellikler Gözucu volkaniklerinin evrimi sırasında fraksiyonel kristallenme ve asimilasyon fraksiyonel kristallenmenin ana etkili süreçler olduğunu ifade eder.



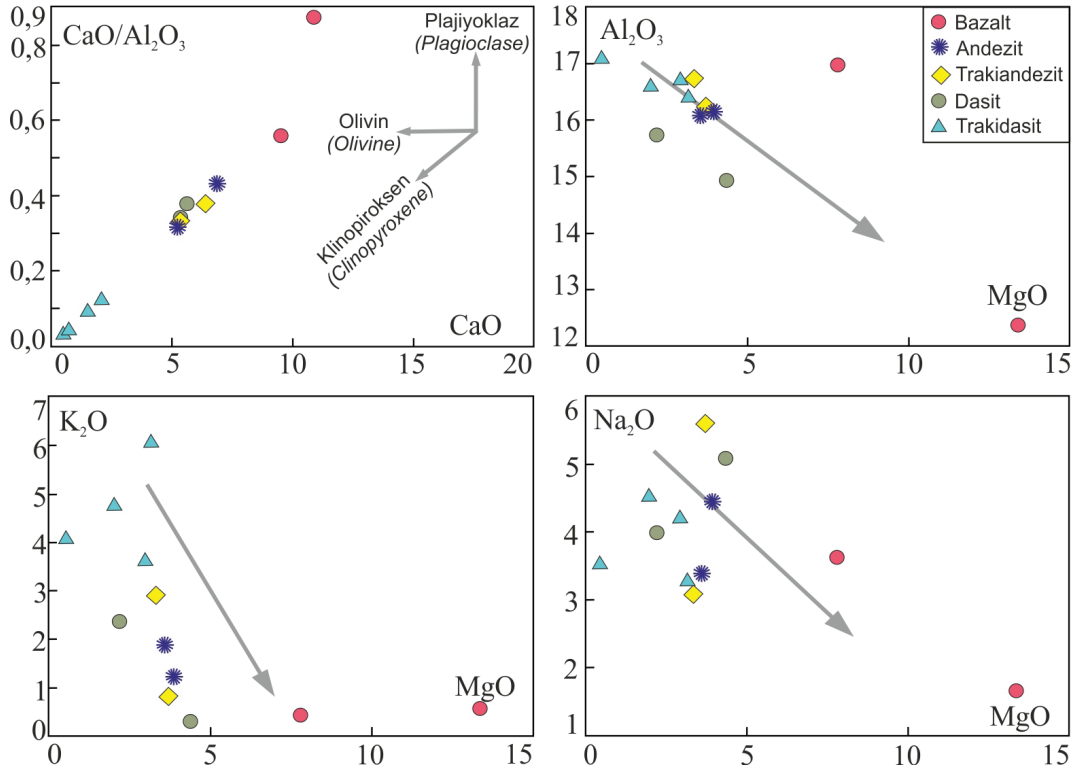
Şekil 7. Gözucu volkaniklerinin (a) Th/Nb'a karşı Ta/Nb diyagramı (b) Th/Yb-Ta/Yb diyagramındaki konumları (Pearce vd., 1984). Manto metasomatizması vektörü için N-OOSB (Sun ve McDonough, 1989) (Normal Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı) değerleri kullanılmıştır YZ (Yitim Zonu). FK (Fraksiyonel Kristallenme). AFK (Asimilasyon Fraksiyonel Kristallenme).

Figure 7. Location of Gözucu volcanics in: a) Th/Nb vs. Ta/Nb (b) Th/Yb vs. Ta/Yb diagrams (Pearce et al., 1984). N-MORB values were used for mantle metasomatizma vector (Sun and McDonough, 1989) (Normal Mid-Ocean Ridge Basalt). Abbreviations: YZ (Subduction Zone), FK (Fractional Crystallization), AFK (Assimilation Fractional Crystallization).

CaO ve $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ arasındaki doğrusal gidiş bu volkanik kayaların oluşumunun başlangıç aşamasında klinopirotksen ve kalsik plajiyoklazların ana farklılaşma fazı olduğuna (Şekil 8), MgO değerlerine karşılık Al_2O_3 , Na_2O ve K_2O değerleri kullanılarak hazırlanan ikili değişim diyagramlarında bu oksit içeriklerinin gösterdiği negatif trend (Şekil 8) ve kondrite göre normalize edilmiş NTE örümcek diyagramında çok zayıf negatif Eu anomalisinin görülmesi (Şekil 5b) alkali feldispatların başlangıçtaki kristal fraksiyonlanmasında etkili faz olmadığına delil olarak kabul edilebilir. MgO ile Ni ve Co içerikleri arasında gözlenen pozitif anomaliler fraksiyonel kristallenmenin başlangıcında olivinin etkili bir faz olduğuna işaret eder (Şekil 9).

Magma Kaynak Zenginleşmesi ve Kısmi Ergime

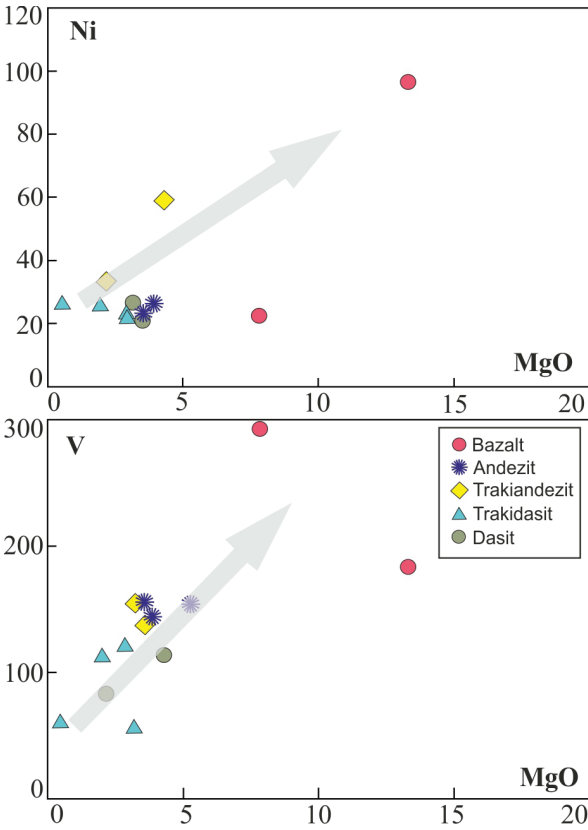
Zenginleşme süreçlerini test etmek için Wang vd. 2004'ün Ba/Rb a karşı Nb/La diyagramı kullanılabilir. Gözucu volkaniklerine ait kayaç örneklerinin tamamı bu diyagramda düşük Nb/La ve yüksek Ba/Rb değerleriyle Küresel Okyanusal Sedimentler (Plank ve Langmuir, 1998) alanına düşerler (Şekil 10a). Gözucu volkaniklerinin düşük Nb/La ve yüksek Ba/Rb değerleri manto kaynak bölge zenginleşmesinde sediment katkısının dahan okyanusal levha ile birlikte götürülen sedimentlerin arasında taşınan deniz suyundan ve okyanusal levhada gerçekleşen dehidratasyon reaksiyonları sonucu açığa çıkan



Şekil 8. Gözucu volkaniklerinin CaO'ye karşı $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$; Al_2O_3 'e karşı MgO; Na_2O 'e karşı MgO ve K_2O 'e karşı MgO diyagramlarındaki konumları.

Figure 8. Location of Gözucu volcanics in CaO vs. $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$; Al_2O_3 vs. MgO; Na_2O vs. MgO and K_2O vs. MgO diagrams.

ve eriyik oluşumu sırasında açığa çıkan sıvıların oluşturduğu akışkanların katkısından daha fazla olduğunun bir işareti olarak kabul edilebilir (Tatsumi vd., 1986; Ryan vd., 1995; Turner vd., 1996; Plank ve Langmuir, 1998; Class vd., 2000; Turner, 2002; Elburg vd., 2002; Foley vd., 2002; Guo vd., 2005; Kessel vd., 2005). Ek olarak lavlardaki düşük Ba/Rb oranı (<1) manto kaynak bölgesinde akışkanca zengin metasomatizmaya işaret etmektedir (Wang vd. 2004). Çalışılan volkanik kayaların Ba/Rb oranları 5,13 ppm ile 16,75 ppm arasında değiştiğinden sediment katkısının akışkanlara nazaran daha baskın olduğu söylenebilir.



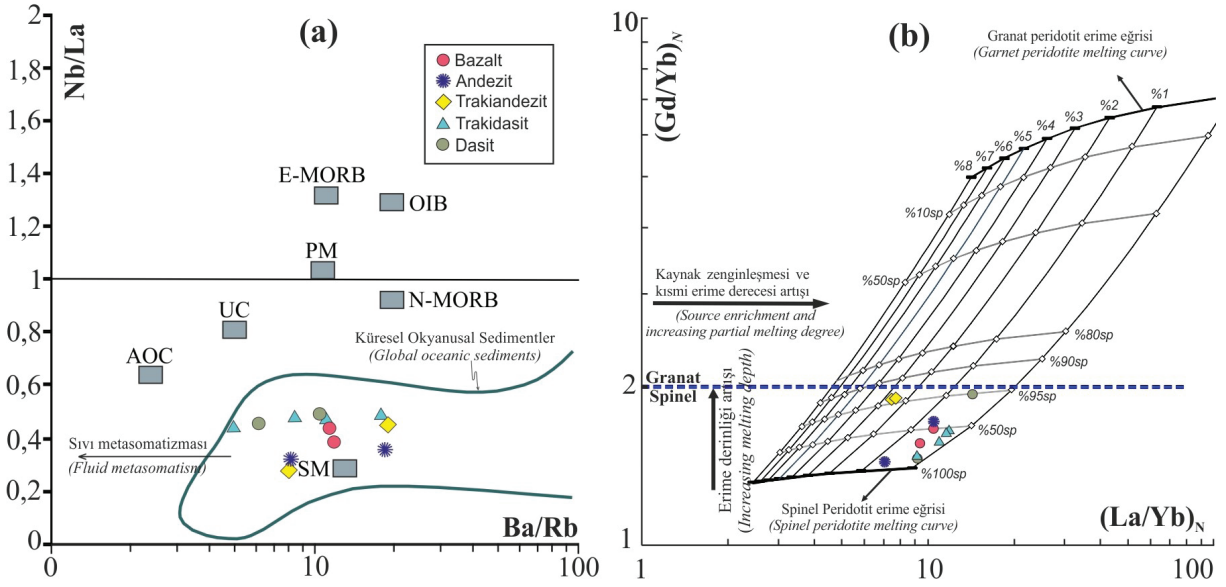
Şekil 9. Gözucu volkaniklerinin MgO'ye karşı Ni ve MgO'ye karşı V diyagramlarındaki konumları.

Figure 9. Location of Gözucu volcanics in MgO vs. Ni and MgO vs. V diagrams.

Gd/Yb (veya Dy/Yb, Tb/Yb) içerikleri granat ve spinel lerzolit kaynaklarını birbirinden ayırt etmede kullanılabilir (granat lerzolit (Gd/Yb)_N oranı >2 ve spinel lerzolit (Gd/Yb)_N oranı <2; Alvarado vd., 2014) (_N kondrite göre normalize edilmiş değerleri gösterir). Bu amaçla Shaw 1970'in non-modal yığın kısmi ergime formülasyonu kullanılarak kısmi ergime modeli üretilmiştir. Diyagram üzerine farklı kısmi ergime dereceleri ve farklı kaynak mineralojisine sahip eğriler iz düşürülmüştür.

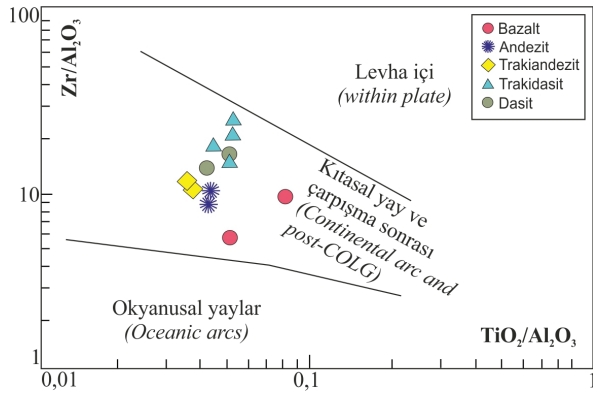
Gözucu volkaniklerinin kaynak bölgesinin kısmi erime derecesini yansıması nedeniyle hazırlanan (La/Yb)_N (HNTE/ANTE)'ye karşı (Gd/Yb)_N (ONTE/ANTE) diyagramı, çalışılan volkaniklerin düşük (Gd/Yb)_N oranlarına sahip spinel mineralojisi açısından baskın bir kaynak bölgesinin %0,1 ile %3 oranında kısmi erimesi ile türetilmiş olduğuna işaret etmektedir (Şekil 10b). Deneysel çalışmalar granat ile spinel arasındaki geçiş derinliğinin yaklaşık 70-90 km olduğunu ifade etmektedir (Fumagalli ve Klemme, 2015; Naemura vd., 2009; Takahashi ve Kushiro, 1983). Gözucu volkaniklerinin manto kaynağının spinelce zengin oluşu nedeniyle, bu kayaların litosferik mantının sığ derinlikteki kısmının erimesi ile oluşmuş manto kaynağından itibaren oluştuğu söylenebilir.

Çalışma alanının da içinde yer aldığı Doğu Anadolu Bölgesi Pliyosen ve Kuvaterner'de yoğun volkanik faaliyetin etkisinde kalmıştır. Jeokimyasal veriler Gözucu volkaniklerinin çarpışma sonrasında kıtasal yay ortamında (Şekil 11b) oluştuğuna işaret etmektedir.



Şekil 10. a) Ba/Rb'ya karşı Nb/La diagramı (Wang vd., 2004'ten sonra). Kısaltmalar: OAB (Okyanus Adası Bazaltı). İM (İlksel Manto). N-OOSB (Normal Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı) Sun and McDonough (1989)'dan. ÜK (Üst Kabuk) Taylor ve McLennan (1985)'den. Küresel okyanusal sedimentler Plank ve Langmuir (1998)'den ve AOK (Altere Okyanusal Kabuk) Staudigel vd. (1996)'dan alınmıştır. (b) $(La/Yb)_N$ 'a karşı $(Gd/Yb)_N$ diagramı (Alvarado vd., 2014). Granat-Spinel geçiş çizgisi Alvarado vd. 2014'den alınmıştır. Erime ve karışma eğrileri üzerindeki % değerleri kaynak mineralojisinde sırasıyla spinel ve granatın kısmi erime derecelerini yansıtır. Granat ve spinel peridotit kaynaklarının mineralojisi için hesaplanan kısmi erime eğrileri (kaynak modu: granat peridotit. 0,598 Ol., 0,211 Opir. 0,076 Klp. 0,115 Gr; spinel peridotit: 0,578 Ol. 0,27 Opir. 0,119 Klp. 0,033 Sp (McKenzie ve Onions 1991). erime modu: granat peridotit. 0,05 Ol. 0,2 Opir. 0,3 Klp. 0,45 Gr; spinel peridotit: 0,1 Ol. 0,27 Opir. 0,5 Klp. 0,13Sp (Thirlwall vd. 1994). Bu modelde kullanılan dağılım katsayıları McKenzie ve Onions (1991) ve Adam ve Green (2006)'dan alınmıştır. İlksel manto normalize değerleri Sun ve McDonough (1989)'dan alınmıştır. Sp: spinel. Gr: granat. Ol: olivin. Klp: klinopiroksen. Opir: ortopiroksen).

Figure 10. a) Ba/Rb vs. Nb/La diagram (after Wang et al., 2004). Abbreviations: OAB (Ocean Island Basalt); İM (Primitive Mantle); N-OOSB (Normal Mid-Ocean Ridge Basalt) from Sun and McDonough (1989); ÜK (Upper Crust) from Taylor and McLennan (1985); GLOSS (Spherical oceanic sediments) from Plank and Langmuir (1998); AOK (Altered Oceanic Crust) from Staudigel et al., (1996). b) $(La/Yb)_N$ vs. $(Gd/Yb)_N$ diagram (Alvarado et al., 2014). Garnet and spinel transition line from Alvarado et al., 2014. % values on melting and mixing curves reflect partial melting degrees of spinel and garnet. Partial melting curves were calculated for mineralogy of garnet and spinel peridotite sources (source mode: garnet peridotite. 0.598Ol. 0.211Opx. 0.076Cpx. 0.115Gr; spinel peridotite: 0.578 Ol. 0.27 Opx. 0.119 Cpx. 0.033Sp; McKenzie and O'Nions 1991; melting mode: garnet peridotite. 0.05Ol. 0.2 Opx. 0.3 Cpx. 0.45Gr; spinel peridotite: 0.1 Ol. 0.27 Opx. 0.5 Cpx. 0.13Sp; Thirlwall et al. 1994). Partition coefficients for this model from McKenzie and O'Nions (1991) and Adam and Green (2006). Normalizing values for Primitive Mantle from Sun and McDonough (1989).



Şekil 11. Gözucu volkaniklerinin TiO_2/Al_2O_3 'e karşı Zr/Al_2O_3 jeotektonik sınıflandırma diyagramlarındaki konumları (Muller vd. 1992).

Figure 11. Location of Gözucu volcanics in TiO_2/Al_2O_3 vs. Zr/Al_2O_3 diagrams (Muller et al., 1992).

SONUÇLAR

Bu çalışma ile incelenen volkanik birimlerin bazalt, andezit, trakiandezit, trakidasit ve dasit türü kayalardan oluştuğu tespit edilmiştir.

Volkanik kayalar subalkali, kalkalkali, yüksek K'lu seri ve şoşonitik özelliklere sahiptirler. İkili değişim diyagramlarında SiO_2 ye karşı ana oksitlerden Al_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , Fe_2O_3 , iz elementlerden Co ve Sc değerlerinde bazalttan dasite doğru gözlenen negatif trendler, benzer şekilde Na_2O , K_2O , Ba, Rb, Th, Zr ve Nb değerlerinde gözlenen pozitif trendler Gözucu volkaniklerinin oluşumu sırasında fraksiyonel kristallenme sürecinin etkili olduğunu; kayaların ortalama HNTE değerinin 413,83 ppm ve ANTE değerinin 26,625 ppm olduğu ve hafif nadir toprak elementleri (HNTE), büyük iyonlu litofil elementlerinde (BİLE) görülen zenginleşmeler bu kayaların oluşumu ve evrimi sırasında kıtasal kabuktan kirlenmenin de etkili bir süreç (AFK) olduğuna delil olarak kabul edilebilir.

Düşük Nb/La (5,13 ppm) ve yüksek Ba/Rb (16,75 ppm) oranı Gözucu volkaniklerinin kirlenme süreci sırasında akışkanlardan ziyade sediment katkısının daha baskın rol oynadığını ifade etmektedir.

Jeodinamik ortam olarak çarpışma sonrası kıtasal yay ortamında bulunan Gözucu volkanikleri için hazırlanan kısmi erime modeli ile bu volkanik kayaların spinel mineralojisi açısından baskın bir litosferik manto kaynak bölgesinin sığ bölümünün %0,1-%3 oranında kısmi erimesi ile türetilmiş olabileceği ortaya konulmuştur.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından 2010-FBE-YL 145 No'lu yüksek lisans tez projesi olarak desteklenmiştir.

EXTENDED SUMMARY

The study area is located in the East Anatolian accretionary complex which formed as a result of the collision between the Arabian and Eurasian plates along the Bitlis-Zagros suture zone during Lower Miocene. The Gözucu volcanics are situated about 25 km southeast of Ağrı province and mainly consist of basalt, andesite, trachyandesite, dacite and trachydacite. The content of Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , CaO , TiO_2 , MnO and P_2O_5 systematically decreases with increasing SiO_2 , and the K_2O and Na_2O content increases with increasing SiO_2 content. Similarly, the Ba and Rb (LILE) content increases with increasing SiO_2 ; while the content of Th, Zr and Nb increases with increasing SiO_2 . The content of Sc and Co decreases with increasing SiO_2 . These properties indicate fractional crystallization.

In chondrite-normalized multi-element spider diagrams, the Gözucu volcanics exhibit enrichment in LILE (Cs, Rb, Ba, K) and depletion in HFSE (Nb, Ti, Zr). The samples generally show enrichment in LREE and depletion of HREE in the REE chondrite-normalized spider diagram. Eu shows a weakly negative trend.

Fractional crystallization (FC) and assimilation fractional crystallization (AFC) are

the main effective processes during evolution of the Gözücu volcanic rocks. We can observe this feature in some diagrams. The trend of FC can be seen in the Th/Nb vs. Ba/Nb diagram.


There is positive correlation on the MgO vs. Ni and MgO vs. V diagrams. These trends imply that olivine was the main fractionating phase initially, and that pyroxene did not play an important role at the beginning in differentiation of the primitive magmas of the Gözücu volcanics.

In addition, the linear trend between CaO and CaO/Al₂O₃ suggests clinopyroxene crystallization in controlling the magmatic differentiation. The negative anomalies between MgO and the Al₂O₃, Na₂O, and K₂O content indicate that feldspar was not effective at the beginning of the fractional crystallization.

The Nb/La vs. (Th/Nb)_N and Nb/Th vs. Ta/Th diagrams imply crustal contamination during evolution of the Gözücu volcanics. The locations and trends of the rock samples on Th/Yb vs. Ta/Yb diagram support this.

The Gözücu volcanics, which formed in an active continental margin, continental arc and post-collisional environment, indicate that these volcanic rocks were formed with a partial melting of the spinel-rich lithospheric mantle source region with 0.1-3% partial melting.

ORCID

Mustafa AÇLAN  <https://orcid.org/0000-0002-2131-8646>

Yusuf ALTUN  <https://orcid.org/0000-0002-1963-8149>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

Adam, J., Green, T. 2006. Trace element partitioning between mica- and amphibole-bearing garnet lherzolite and hydrous basanitic melt: 1. Experimental results and the investigation of controls on partitioning behavior. Contributions to Mineralogy and Petrology, 152, 1-17.

Açlan, M., Turgut, İ.K. 2017. Şekerbulak (Diyadin-Ağrı) Dolaylarında Yüzeyleyen Volkanik Kayaçların Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (4), 163-174.

Açlan, M., Altun, Y. 2018. Syn-collisional I-type Esenköy Pluton (Eastern Anatolia-Turkey): An indication for collision between Arabian and Eurasian plates. Journal of African Earth Sciences, 142, 1-11.

Açlan, M., Duruk, H.İ. 2018. Geochemistry, zircon U-Pb geochronology and tectonic setting of the Taşlıçay Granitoids, Eastern Anatolia, Turkey. Arabian Journal of Geosciences, 11 (336), 1-19.

Açlan, M., Davran, N. 2019. Karlıca Volkanitlerinin (Hamur-Ağrı) Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 40 (1), 72-91.

Al-Lazki, A., Seber, D., Sandvol, E., Türkelli, N., Mohamad, R., Barazangi, M. 2003. Tomographic Pn velocity and anisotropy structure beneath the Anatolian plateau (Eastern Turkey) and the surrounding regions. Geophysical Research Letters, 30, 8043.

Altun, Y. 2016. Oğlaklı-Gözücu (Taşlıçay-Ağrı) Dolaylarında Yüzeyleyen Kayaçların Mineralojik-Petrografik İncelenmesi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 141 s., (yayınlanmamış).

Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J.M., Lagreulet, S., Segovia Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrin, P., Quidelleur, X. 2014. Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. Tectonics, 33, 67-83.

Arndt N. T., Czamanske G. K., Wooden J. L., and Fedorenko V. A. 1993. Mantle and crustal contributions to continental flood basalt volcanism. Tectonophysics (1-2), 223, 39-52.

Ayalew, D., Barbey, P., Marty, B., Reisberg, L., Yirgu, G., Pik, R. 2002. Source, genesis, and timing of giant ignimbrite deposits associated with Ethiopian continental flood basalts. Geochimica Cosmochimica Acta, 66 (8), 1429-1448.

- Ayalew, D., Gibson, S.A. 2009. Head-to-tail transition of the Afar mantle plume: geochemical evidence from a Miocene bimodal basalt–rhyolite succession in the Ethiopian Large Igneous Province. *Lithos*, 112 (3), 461–476.
- Azzone, R.G., Munoz, P.M., Enrich, G.E., Alves, A., Ruberti, E., Gomes, C.B., 2016. Petrographic, geochemical and isotopic evidence of crustal assimilation processes in the Ponte Nova alkaline mafic-ultramafic massif, SE Brazil. *Lithos*, 260, 58–75.
- Barazangi, M., Sandvol, E., Seber, D. 2006. Structure and tectonic evolution of the Anatolian Plateau in eastern Turkey, (Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia, Editörler: Dilek, Y., Pavlides, S.). Geological Society of America Special Paper, 409, 463–473.
- Beard, J.S., Ragland, P.C., Crawford, M.L. 2005. Reactive bulk assimilation: A model for crust-mantle mixing in silicic magmas. *Geology*, 33 (8), 681–684.
- Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies (Rare Earth Element Geochemistry, Editör: Henderson, P.). Elsevier, Amsterdam, 63–114.
- Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14 (1-3), 3-30.
- Class, C., Miller, D.M., Goldstein, S.L., Langmuir, C.H. 2000. Distinguishing melt and fluid subduction components in Umnak volcanics: Aleutian arc. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, (3G) 1 (6), 1-34.
- Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J. 1979. The interpretation of igneous rocks. Boston, George Allen and Unwin.
- Cribb, J.W., Barton, M. 1996. Geochemical effects of decoupled fractional crystallization and crustal assimilation; *Lithos*, 37 (4) 293–307.
- Çakır, Y., 1994. Ağrı Diyadin ve İğdir Dolayının Jeoloji Etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Raporu, (yayınlanmamış).
- De Paolo, D.J., 1982. Sm-Nd, Rb-Sr and U-Th_Pb systematics of granulite facies rocks from Fyfe Hills, Enderby Land, Antarctica. *Nature*, 298, 614-618.
- Dessai, A.G., Downes, H., Lopez-Moro, F.J., Lopez-Plaza, M., 2008. Lower crustal contamination of Deccan Traps magmas: Evidence from tholeiitic dykes and granulite xenoliths from western India. *Mineralogy and Petrology*, 93 (3–4), 243–272.
- Ekici, T., Colin, M.G., Otlu, N. 2012. Polybaric melting of a single mantle source during the Neogene Siverek phase of the Karacadağ Volcanic Complex SE Turkey. *Lithos*, 146, 152-163
- Elburg, M.A., Bergen, M.V., Hoogewerff, J., Foden, J., Vroon, P., Zulkarnain, I., Nasution, A., 2002. Geochemical trends across an arc-continent collision zone: magma sources and slab-wedge transfer processes below the Pantar Strait volcanoes, Indonesia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66, 2771–2789.
- Ercan, T., Fujitani, T., Madsuda, J.I., Notsu, K., Tokel, S., Tadahide, U.I. 1990. Doğu ve güneydoğu Anadolu Neojen–Kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 110, 143–164.
- Foley, S.F., Tiepolo, M., Vannucci, R. 2002. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones. *Nature*, 417, 837–840.
- Freund, S., Beier, C., Krumm, S., Haase, K.M. 2013. Oxygen isotope evidence for the formation of andesitic–dacitic magmas from the fast-spreading Pacific–Antarctic Rise by assimilation-fractional crystallization. *Chemical Geology*, 347, 271-283.
- Fumagalli, P., Klemme, S. 2015. Mineralogy of the Earth. Phase transitions and mineralogy of the upper mantle, (Treatise on Geophysics Volume 2, Mineral Physics, 2nd ed., Editör Gerald, S.). Elsevier, Oxford, 7–31.
- Genske, F.S., Beier, C., Haase, K.M., Turner, S.P., Krumm, S., Brandl, P.A., 2013. Oxygen isotopes in the Azores islands: Crustal assimilation recorded in olivine. *Geology*, 41 (4) 491–494.
- Guo, Z., Hertogen, J., Liu, J., Pasteels, P., Boven, A., Punzalan, L., He, H., Luo, X., Zhang, W. 2005. Potassic magmatism in western Sichun and Yunnan provinces, SE Tibet, China: petrological and geochemical constraints on petrogenesis. *Journal of Petrology*, 46, 33-78.

- Hart, S.R. 1988. Heterogeneous mantle domains: signatures, genesis and mixing chronologies. *Earth and Planetary Science Letter*, 90, 273-296.
- Hawkesworth, C.J., Rogers, N.W., Vancalsteren, P.W.C. 1984. Mantle enrichment processes. *Nature*, 311, 331-335.
- Hutchison, W., Mather, T.A., Pyle, D.M., Boyce, A.J., Gleeson, M.L., Yirgu, G., Blundy, J.D., Ferguson, J.D., Vye-Brown, C., Millar, L.I., Sims, K.W., Finch, A.A. 2018. The evolution of magma during continental rifting: new constraints from the isotopic and trace element signatures of silicic magmas from Ethiopian volcanoes. *Earth Planetary Science Letter*, 489, 203–218.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F., Villari, L. 1976. Evolution of volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian plates Lake Van, Eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1, 103–112.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Serri, G., Villari, L. 1980. Geology of the volcanic area north of Lake Van, Turkey. *Geologischen Rundschau*, 69, 292–322.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Karaoğlan, F., Parlak, O., Thöni, M., Klötzli, U., Koller, F. 2016. The temporal evolution of the active margin along the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE Turkey): Evidence from U-Pb, Ar-Ar and fission track chronology. *Gondwana Research*, 33, 190-208.
- Keskin, M. 2003. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30, 8046-8050.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Kempton, P.D., Greenwood, P. 2006. Magma–crust interactions and magma plumbing in a post-collision setting: geochemical evidence from the Erzurum–Kars Volcanic Plateau, Eastern Turkey, (Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia, Editörler: Dilek, Y., Pavlides, S.). *Geological Society of America Special Paper*, 409, 475–505.
- Keskin, M. 2007. Eastern Anatolia: a hot spot in a collision zone without a mantle pluma, (Plates, Plumes and Planetary Processes, Editörler: Foulger, G.R., Jurdy, D.). *Geological Society of America Special papers*, 430, 693–722.
- Kessel, R., Schmidt, M., Ulmer, P., Pettke, T. 2005. Trace element signature of subductionzone fluids, melts and supercritical liquids at 120-180 km depth. *Nature*, 437, 724–727.
- Ketin, İ. 1977. Türkiye'nin başlıca orojenik olayları ve paleocoğrafik evrimi. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 88, 1-4.
- Koçyiğit, A. 2013. New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62, 586-605.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27, 745–750.
- Lebedev, V.A., Sharkov, E.V., Keskin, M., Oyan, V., 2010. Geochronology of the Late Cenozoic volcanism in the area of Van Lake (Turkey): an example of the developmental dynamics for magmatic processes. *Doklady Earth Sciences*, 433, 1031–1037.
- Lightfoot, P., Hawkesworth, C., 1988. Origin of Deccan Trap lavas: Evidence from combined trace element and Sr-, Nd and Pb-isotope studies. *Earth Planetary Science Letter*, 91 (1–2) 89–104.
- McKenzie, D., O'Nions, R.K. 1991. Partial melt distributions from inversion of rare Earth element concentrations. *Journal of Petrology*, 32, 1021-1091.
- Michael, P.J., Cheadle, M.J. 2009. Making a Crust; *Science*, 323 (5917) 1017–1018.
- Muller, D., Rock, N.M.S., Groves, D.I. 1992. Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: a pilot study. *Mineralogy and Petrology*, 46, 259-289.
- Naemura, K., Hirajima, T., Svojtka, M. 2009. The pressure-temperature path and the origin of phlogopite in spinel-garnet peridotites from the Blansky les massif of the Moldanubian Zone, Czech Republic. *Journal of Petrology*, 50, 1795–1827.

- Okay, A.I., Zattin, M., Cavazza, W. 2010. Apatite fission-track data for the Miocene Arabian-Eurasia collision. *Geology*, 38, 35-38.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V. 2016. Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrüsk stratovolcano, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Lithos*, 256-257, 88-108.
- Oyan, V. 2017. Petrogenesis and Ar-Ar dating of Early Miocene Mecitli granitoid in Eastern Anatolian Region, Turkey: evidence for lower crust-mantle interaction and fractionation from MMEs to host rocks on the basis of petrological modelling. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*, 11-15 September, 2017. Prague (Czech Republic).
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., Ünal, E. 2017. Petrology and Geochemistry of the Quaternary Mafic Volcanism in the northeast of Lake Van, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Journal of Petrology*, 58, 1701-1728.
- Oyan, V. 2018. Geochemical and petrologic evolution of Otlakbaşı basaltic volcanism to the east of Lake Van. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 157, 1-21.
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A.Ü., Güleç, N. 2006. Volcano stratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, 226 (3-4), 189-211.
- Özdemir, Y., Güleç, N. 2014. Geological and geochemical evolution of Suphan stratovolcano Eastern Anatolia, Turkey: evidence for the lithosphere-asthenosphere interaction on post collisional volcanism. *Journal of Petrology*, 55, 37-62.
- Özdemir, Y., Mercan, Ç., Oyan, V., Özdemir, A.A. 2019. Composition, pressure, and temperature of the mantle source region of quaternary nepheline-basanitic lavas in Bitlis Massif, Eastern Anatolia, Turkey: A consequence of melts from Arabian lithospheric mantle. *Lithos*, 328-329, 115-129.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G.W. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Peccerillo, A., Taylor, S.P. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contribution Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Perinçek D. 1980. Bitlis metamorfitlelerinde volkanitli Triyas. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 23 (2), 201-211.
- Plank, T., Langmuir, C.H. 1998. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chemical Geology*, 145, 325-394.
- Ryan, J.G., Morris, J., Tera, F., Leeman, W.P., Tsvetkov, A. 1995. Cross-arc geochemical variations in the Kurile arc as a function of slab depth. *Science*, 270, 625-627.
- Sandvol, E., Türkelli, N., Barazangi, M. 2003. The Eastern Turkey Seismic Experiment: the study of a young continent-continent collision. *Geophysical Research Letter*, 24, 8038-8041.
- Seghedi, I., Downes, H., Pécskay, Z., Thirwall, M.F., Szakács, A., Prychodko, M., Matthey, D. 2001. Magma genesis in a subduction-related post-collisional volcanic arc segment: the Ukrainian Carpathians. *Lithos*, 57, 237-262.
- Seghedi, I., Downes, H., Szakács, A., Mason, P.R.D., Thirwall, M.F., Rosu, E., Pécskay, Z., Márton, E., Panaiotu, C. 2004. Neogene-Quaternary magmatism and geodynamics in the Carpathian-Pannonian region: a synthesis. *Lithos*, 72, 117-146.
- Sun, S.S., Bailey, D.K., Tarney, J., Dunham, K., 1980. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 297, 409-445.
- Sun, S.S., McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, (Magmatism in Ocean Basins, Editörler: Saunders, A.D., Norry M.J.). *Geological Society of London Special Publication*, 42, 313-345.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Genc, T., Zor, E. 2003. East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letter*, 30 (24, 8045), 1-4.

- Şengör, A.M.C., Özeren, M.S., Keskin, M., Sakiç, M., Özbakır, A.D., Kayan, I. 2008. Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens. *Earth Sciences Review*, 90, 1-48.
- Takahashi, E., Kushiro, I. 1983. Melting of a dry peridotite at high pressures and basalt magma genesis. *American Mineralogist*, 68, 859-879.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D.J., Nesbitt, R.W. 1986. Chemical characterization of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: Evidence from high-pressure experiments and natural rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 29, 293-309.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M. 1985. *The Continental Crust: its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific Publication, Oxford.
- Turner, S., Arnaud, N., Liu, J., Rogers, N., Hawkesworth, C., Harris, N., Kelley, S., van Calsteren, P., Deng, W. 1996. Post-collisional, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. *Journal of Petrology*, 37, 45-71.
- Turner, S.P., 2002. On the time-scales of magmatism at island-arc volcanoes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360, 2853-2871.
- Wang, K.L., Chung, S., O'Reilly, S.Y., Sun, S., Shinjo, R., Chen, C. 2004. Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution of the Northern Taiwan region. *Journal of Petrology*, 45, 975-1011.
- Weaver, B.L., Tarney, J., 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature* 310, 575-577
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., Güner, Y. 1987. Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177-199.
- Yılmaz, Y., Güner, Y., Şaroğlu, F. 1998. Geology of the Quaternary volcanic centers of the east Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 173-210.



Porosity and Density Evaluation of Fatha-Hartha Interval in East Baghdad Oil Field Using Well Log Data

Doğu Bağdat Petrol Sahası'nda Fatha-Hartha Aralığındaki İstifin Kuyu Logu Verisi Kullanılarak Porozite ve Yoğunluk Değerlendirmesi

Maan H. Abdullah Al-Majid 

*Department of Petroleum Reservoir-Engineering College of Petroleum and Mining Engineering,
University of Mosul, Mosul-Iraq*

• Geliş/Received: 30.11.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 17.01.2020 • Kabul/Accepted: 29.01.2020
• Çevrimiçi İlk Yayın/Available online: 21.02.2020 • Baskı/Printed: 01.04.2020

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

Abstract: The present study deals with experimental mathematical equations that link density and porosity with depth. After obtaining density and porosity information from three well logs scattered in the East Baghdad oil field, new empirical polynomial equations (porosity-depth, density-depth) were produced for all the geological formations between the Fatha and Hartha formations. The coefficient of determination (R^2) of the equations derived for each formation ranged from 0.11 to 0.93, which was attributed to variable lithological and compaction effects. The depth information of (131) velocity analyses situated on the seismic lines grid covering the field was used for applying the new equations. After the new empirical polynomial equations were applied to the whole field, porosity and density contour maps for the Fatha-Hartha interval were produced. The location of high porosity zones was identified and related to the compaction and petroleum distribution in the field.

Keywords: East Baghdad oil field, Empirical equations, Petrophysical parameters, Seismic velocity analyses.

Öz: Bu çalışma, yoğunluk ve gözenekliliği derinlikle ilişkilendiren deneysel matematiksel denklemlerle ilgilidir. Doğu Bağdat petrol sahasındaki üç kuyu logundan yoğunluk ve gözeneklilik bilgisi elde edildikten sonra, Fatha ve Hartha formasyonları arasındaki tüm jeolojik formasyonlar için yeni ampirik polinom denklemleri (gözeneklilik-derinlik, yoğunluk-derinlik) üretilmiştir. Her bir formasyon için türetilen bu denklemlerin farklı litoloji ve kompaksiyon etkilerine atfedilen belirleme katsayısı (R^2), 0,11 ila 0,93 arasında değişmektedir. Çalışma alanını kapsayan sismik hatlar içinde yer alan 131 hız analizinin derinlik bilgisi, yeni denklemlerin uygulanması için kullanılmıştır. Yeni ampirik polinom denklemlerinin tüm alana uygulanmasından sonra, Fatha-Hartha aralığı için gözeneklilik ve yoğunluk kontur haritaları üretilmiştir. Yüksek gözeneklilik alanlarının yerleri belirlenmiş ve arazideki kompaksiyon ve petrol dağılımı ile ilişkilendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Bağdat petrol sahası, Ampirik denklemler, Petrofiziksel parametreler, Sismik hız analizleri.

INTRODUCTION

The East Baghdad oil field was discovered by seismic surveys carried in 1960 and 1974. The first well was drilled and completed in the southern part of the field in 1975, and up to the present, many exploration delineation and production wells in different parts of the field have been drilled and completed (Alrazzaq, 2019).

The East Baghdad field actually has multi-reservoirs; the main ones are Tanuma, Khasib and Zubair with different grades of crude oil (21, 23 and 35 API) in the Zubair formation (Midfield Oil Company, 2005).

East Baghdad oil field is considered to be a giant field with proven reserves estimated at more than 11 billion barrels and probable reserves of up to about 17 billion barrels. The geological structure of East Baghdad oil field is very complex due to the presence of many faults. At the same time, the field is located under treated agriculture lands and urban areas. The total area of the field is about 660 km².

The East Baghdad oil field extends northwest-southeast in the center of Iraq, 10 km east of Baghdad city (Figure 1). Many wells have been drilled in this field. Most of these wells reached Cretaceous formations while one of them penetrates the Cretaceous formations and reaches Upper Jurassic (Al-Ameri and Al-Obaydi, 2011).

Darweesh et al. (2017) discuss the structural history of East Baghdad oil field and state that it resulted from oblique-slip growth faults which were later folded and faulted.

The stratigraphic section contains many types of rocks which were deposited in marine and lagoon environments such as carbonates, shale, anhydrite, marl, sandstone, and siltstone. These deposits expanded in geologic time from Jurassic up to Pliocene (Al-Ameri and Al-Obaydi, 2011). Figure 2 shows a stratigraphic section of the formations in this field.



Figure 1. Location map of study area (Modified from Al-Ameri and Al-Obaydi, 2011).

Şekil 1. Çalışma alanının konumu (Al-Ameri ve Al-Obaydi, 2011'den değiştirilmiştir).

Petrophysical Properties

There are many empirical equations on a local and regional scale but they vary from field to field according to the physical properties of the formations, depositional age and geological settings (Ojha and Sain, 2014). The most important factors affecting primary porosity are compaction, the authigenesis of minerals, and leaching. Comparison of modeled normal compaction trends with actual compaction trends can be used to quantify zones of over-compaction and under-compaction in a rock column (El-Shari, 2017).

The porosity of a formation can be estimated for the purpose of correction either from one porosity log or a combination of porosity logs.

Reduced porosity with depth may be caused by increased compaction. Pore pressure can prevent pores from decreasing at great depths above the overpressure zone. At a certain lithology and depth, the porosity is greatly affected by the overburden pressure (Tamunosiki et al., 2014).

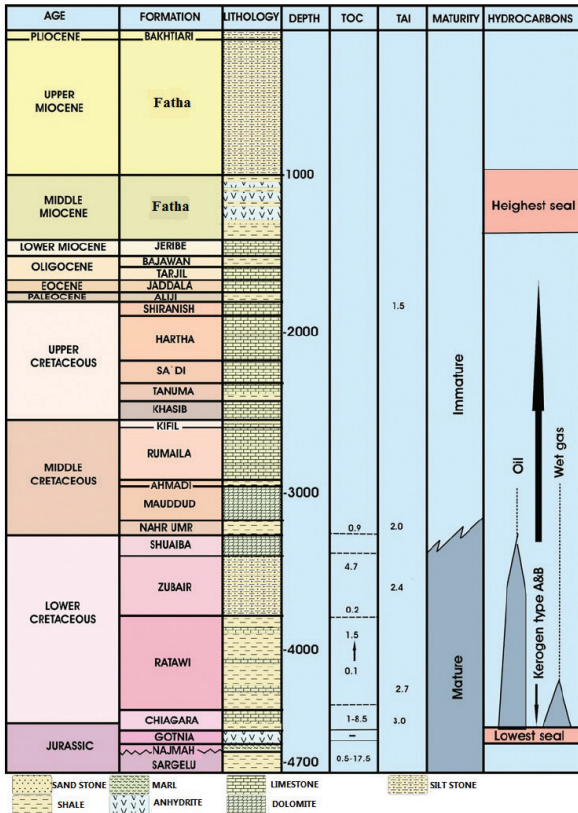


Figure 2. Stratigraphic section of East Baghdad oil field in study area (Al-Ameri and Al-Obaydi, 2011).

Şekil 2. Çalışma alanındaki Doğu Bağdat petrol bölgesinin stratigrafik kesiti (Al-Ameri ve Al-Obaydi, 2011).

The thickness of the reservoir also greatly affects the porosity; the thicker the reservoir, the greater the porosity. Tamunosiki et al. (2014) produced a porosity equation with the depth in two wells, as shown below:

$$Z = -138.76 \phi_z + 12383 \quad (1)$$

z: depth in feet,

ϕ_z : porosity at given depth

This indicates that porosity values can be calculated at each depth by using (Equation 1), even in the absence of core samples.

The aims of this study are:

1. Creation of new polynomial equations (density-depth, porosity-depth) for the study area using well log information for the purpose of calculating porosity and density values for all formations within the Fatha-Hartha interval.
2. Determination of the location of high and low compaction for all formations Fatha-Hartha interval based on the coefficient of determination values (R^2) of new equations.
3. Estimation of the porosity and density values for the Fatha-Hartha interval in the whole field using the new empirical polynomial equations derived from this study.
4. Establishment of porosity and density maps for the Fatha-Hartha interval in the study area.

MATERIALS AND METHODS

In this study, the gamma ray and neutron-density logs of three wells (EB-02, EB-04, EB-16) in the East Baghdad oil field were utilized. In addition, the depth information of 131 seismic velocity analysis sites distributed over a network of seismic lines was used (Al-Majid, 1992; Figure 3). The lithological information was obtained from the final field reports and gamma ray logs.

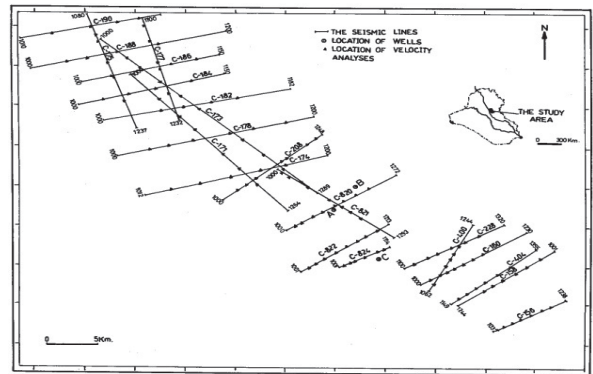


Figure 3. Location map of seismic lines in study area (Al-Majid, 1992).

Şekil 3. Çalışma alanındaki sismik hatların konumları (Al-Majid, 1992).

The volume of shale (V_{sh}) was estimated using the following equations.

$$\phi N_{corr} = \phi N - (V_{sh} * \phi N_{sh}) \quad (2)$$

$$\phi D_{corr} = \phi D - (V_{sh} * \phi D_{sh}) \quad (3)$$

$$\phi ND = ((\phi N^2 + \phi D^2)/2)^{1/2} \quad (4)$$

V_{sh} : shale volume,

ϕN_{sh} : neutron porosity in the shale formation,

ϕD_{sh} : density porosity in the shale formation.

Figure 4 shows one of the well log records used in this study.

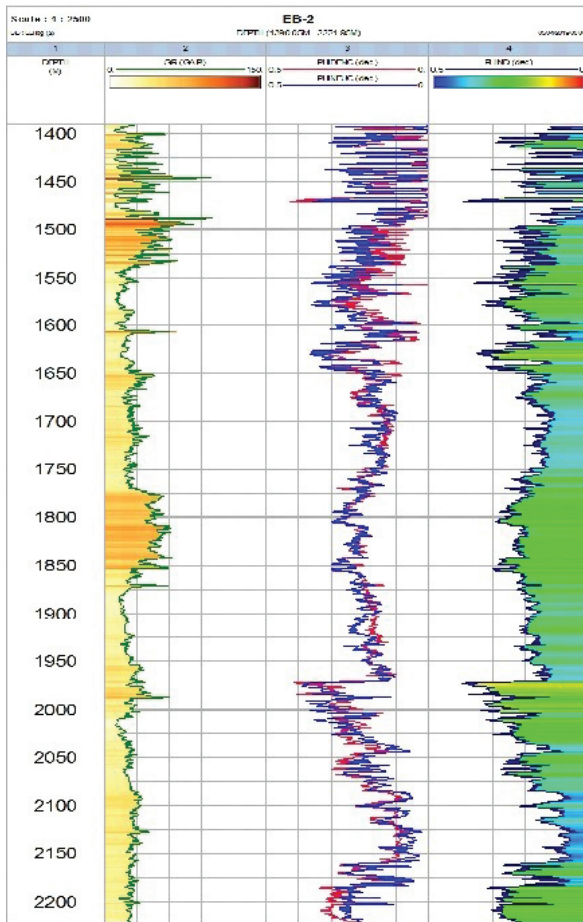


Figure 4. Corrected porosity and density values for some depths in well EB-02.

Şekil 4. EB-02 kuyusundaki bazı derinlikler için düzeltilmiş gözeneklilik ve yoğunluk değerleri.

The (porosity-depth, density-depth) polynomial equations for all formations within the Fatha-Hartha interval were derived from porosity, density, and depth data obtained from the logs of the three wells mentioned above. Subsequently, the optimum empirical polynomial equations (porosity-depth, density-depth) for the whole Fatha-Hartha period were deduced and generalized to all parts of the field.

The Fatha-Hartha interval consists of nine formations in its stratigraphic column (well log data), which are Fatha, Jeribe, Dhiban, Bajawan, Tarjil, Palani, Jaddala, Aliji, and Shiranish. Table 1 gives a brief description of all formations in this interval and their different parameters.

Table 1. Brief description of Fatha, Jeribe, Dhiban, Bajawan/Baba, Tarjil, Palani, Jaddala, and Aliji formations in well EB-02 in the study area.

Çizelge 1. Çalışma alanındaki EB-02 kuyusunda belirlenen Jeribe, Dhiban, Bajawan/Baba, Tarjil, Palani, Jaddala, ve Aliji formasyonlarının kısa açıklamaları.

Well	Formation	R ² (D- ρ)	R ² (D- φ)	Mean φ %	Mean P (gm/cc)
EB-02	Fatha	0.0093	0.013	0.112	2.65
EB-02	Jeribe	0.359	0.278	0.155	2.50
EB-02	Dhiban	0.144	0.043	0.214	2.49
EB-02	Bajawan/ Baba	0.371	0.175	0.211	2.45
EB-02	Tarjil	0.37	0.5	0.182	2.48
EB-02	Palani	0.43	0.60	0.163	2.53
EB-02	Jaddala	0.03	0.26	0.230	2.31
EB-02	Aliji	0.58	0.92	0.226	2.41
EB-02	Shiranish	-	-	-	-

Figures 5 and 6 illustrate the porosity-depth and density-depth relationship of all formations within the Fatha-Hartha interval (except Shiranish Formation, which does not appear due to lack of data).

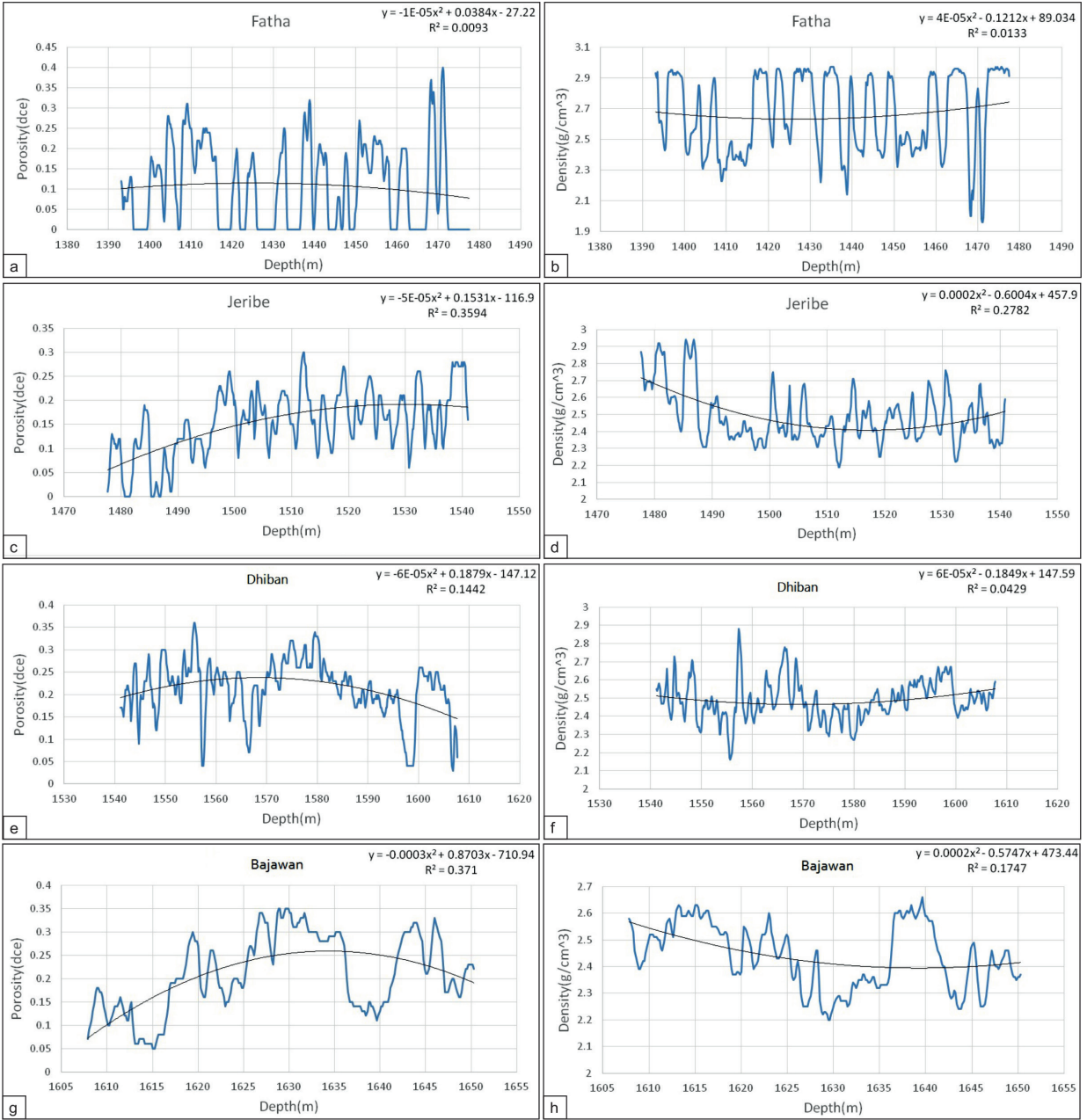


Figure 5. Porosity-depth relationship of (a) Fatha, (c) Jeribe, (e) Dhiban, (g) Bajawan/Baba Formations and its parameters in well EB-02; Density-depth relationship of (b) Fatha, (d) Jeribe, (f) Dhiban, (h) Bajawan/Baba Formations and its parameters in well EB-02.

Şekil 5. EB-02 kuyusunda: (a) Fatha, (c) Jeribe, (e) Dhiban, (g) Bajawan/Baba formasyonlarının gözeneklilik derinlik ilişkileri ile parametreleri ve (b) Fatha, (d) Jeribe, (f) Dhiban, (h) Bajawan/Baba formasyonlarının yoğunluk-derinlik ilişkileri ile parametreleri.

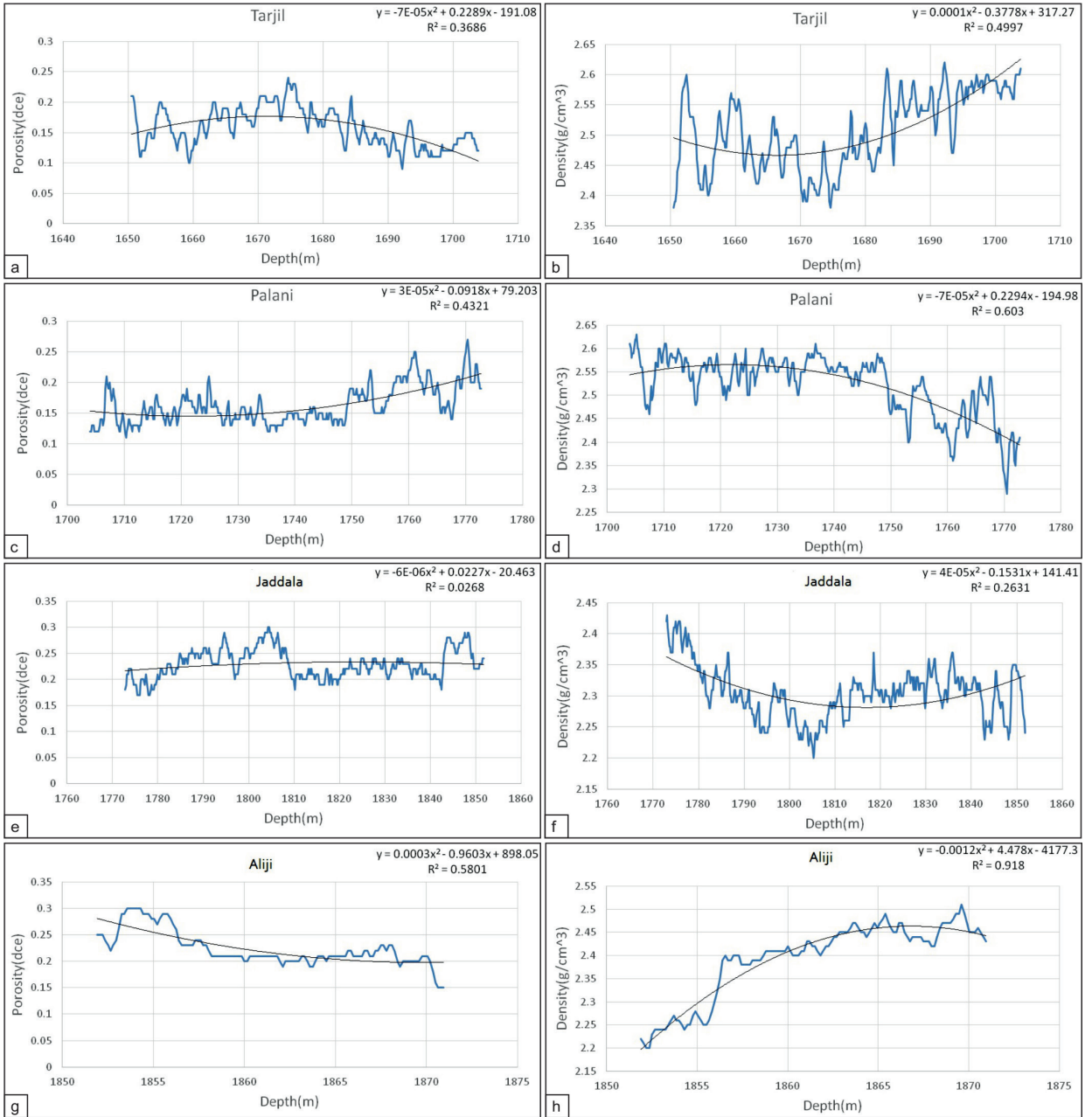


Figure 6. Porosity-depth relationship of (a) Tarjil, (c) Palani, (e) Jaddala, (g) Aliji formations and its parameters in well EB-02; Density-depth relationship of (b) Tarjil, (d) Palani, (f) Jaddala, (h) Aliji Formations and its parameters in well EB-02.

Şekil 6. EB-02 kuyusunda: (a) Tarjil, (c) Palani, (e) Jaddala, (g) Aliji formasyonlarının gözeneklilik-derinlik ilişkileri ile parametreleri ve (b) Tarjil, (d) Palani, (f) Jaddala, (h) Aliji formasyonlarının yoğunluk-derinlik ilişkileri ile parametreleri.

Following this, the porosity and density polynomial relationships with the depth of the whole interval (Fatha-Hartha) were determined, as shown in Figure 7.

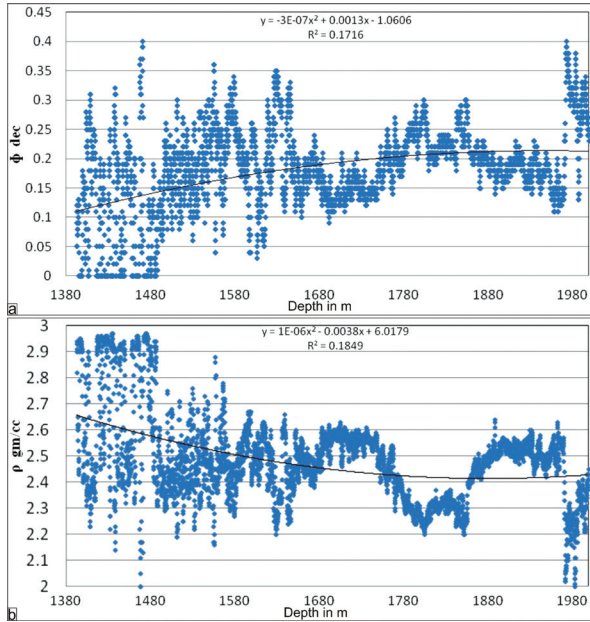


Figure 7. (a) Porosity-depth relationship and (b) density-depth relationship of Fatha-Hartha interval and its parameters in well EB-02.

Şekil 7. (a) EB-02 kuyusu Fatha-Hartha arasındaki gözeneklilik-derinlik ile (b) yoğunluk-derinlik ilişkileri ve parametreleri.

Polynomial equation of porosity (5) and density (6):

$$y = -3 \cdot 10^{-7} x^2 + 0.0013x - 1.0606 \quad (5)$$

y: The porosity in (%),

x: The depth in (m).

$$y = 1 \cdot 10^{-6} x^2 - 0.0038x + 6.0179 \quad (6)$$

y: The density in (g/cm³),

x: The depth in (m).

These equations were applied to the whole field to produce average porosity and density maps for this interval (Figures 8).

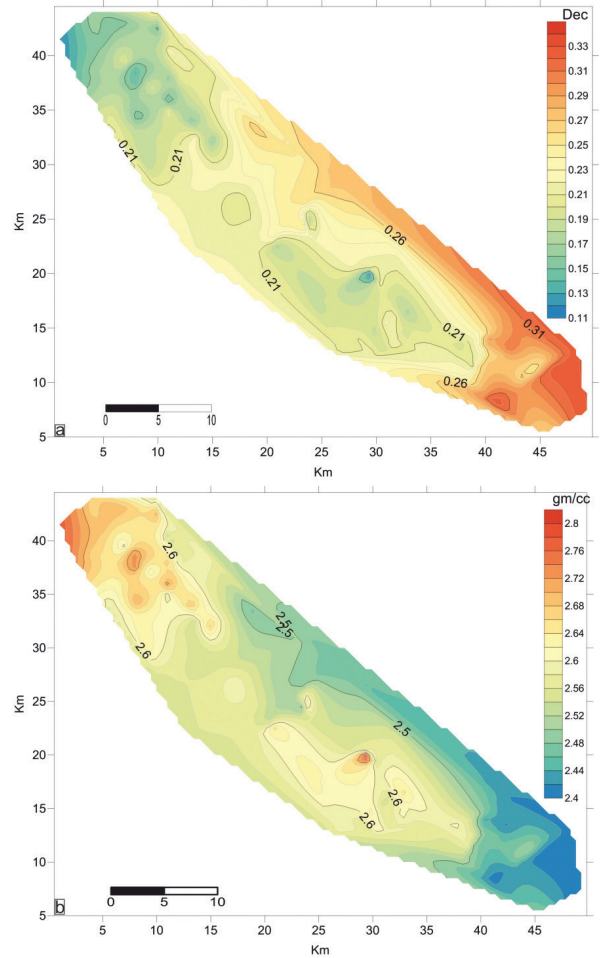


Figure 8. (a) Porosity and (b) Density maps of Fatha-Hartha interval in study area.

Şekil 8. Çalışma alanında Fatha-Hartha aralığının (a) gözeneklilik ve (b) yoğunluk haritaları.

DISCUSSION

The log interpretations were carried out using the Interactive Petrophysics program (IP) and show that the formations consist mainly of limestone with the inclusion of dolomite, anhydrite, siltstone, shale, marl, claystone, and salt rocks.

The porosity and density polynomial equations together with the depth were determined using the well log data. After applying the polynomial equations to the depth information of 131 sites, porosity and density contour maps for the Fatha-Hartha interval were established.

The coefficient of determination (R^2) of these polynomial equations ranges from weak (0.01) to strong (0.92) depending on the correlation between porosity and density with compaction in the formation. The low R^2 values in (Fatha, Dhiban, and Jaddala) formations may be due to the heterogeneity of formation components or low compacted materials, while their high values in the Aliji and Shiranish formations may be caused by homogeneity or highly-compacted materials.

The polynomial equations of the Fatha-Hartha interval were utilized to calculate the porosity and density rates for the whole area. Porosity in this interval is distributed gradually, reaching 11.5% in the northern part while increasing to (18-26%) in the middle part and then increasing gradually toward the southeast (33%). The density exhibits a reverse behavior as it increases in the northern part and decreases southwards.

In spite of the sediment thickness increasing in the south-east part of the study area, the porosity increases in this direction.

CONCLUSIONS

1. This study produced new polynomial equations (porosity-depth, density-depth) for all formations in Fatha-Hartha seismic interval using well log data.
2. Average porosity and density maps for the seismic interval in the study area were created by applying the new polynomial equations to 131 velocity analysis sites.
3. The value of R^2 can be used as a function of homogeneity between formation components.

4. Increased porosity values toward the south-eastern part of the study area, despite increased sediment thickness, may give information on changing lithological facies or possibly indicate an increase in hydrocarbon concentrations in that direction.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Doğu Bağdat petrol sahası, 11 milyar varilden fazla görünür rezervi ve yaklaşık 17 milyar varil tahmini rezervi ile dev bir petrol sahası olarak kabul edilmektedir. Doğu Bağdat petrol sahasının jeolojik yapısı birçok fayın varlığı nedeniyle oldukça karmaşıktır. Aynı zamanda alan, işlenmiş tarım arazileri ve kentsel alanların altında yer almaktadır. Sahanın toplam alanı yaklaşık 660 km²'dir.

Doğu Bağdat petrol sahası, Bağdat şehrinin 10 km doğusunda, Irak'ın merkezinde kuzeybatı-güneydoğuya doğru uzanmaktadır (Şekil 1). Bu alanda birçok kuyu açılmıştır. Bu kuyuların çoğu Kretase formasyonlarına ulaşırken, bunlardan biri Kretase formasyonlarını keserek Üst Jura'ya ulaşır (Al-Ameri ve Al-Obaydi, 2011).

Stratigrafik kesit; karbonatlar, şeyl, anhidrit, marn, kumtaşı ve silttaşı gibi deniz ve lagün ortamlarında çökelen birçok kaya türünü içerir. Bu çökellerin yaşı Jura'dan Pliyosen'e kadar uzanmaktadır (Al-Ameri ve Al-Obaydi, 2011). Şekil 2, bu alandaki formasyonların stratigrafik kesitini göstermektedir.

Rezervuarın kalınlığı, gözenekliliği büyük ölçüde etkiler. Yani rezervuar ne kadar kalın olursa, gözeneklilik o kadar büyük olur. Tamunosiki vd. (2014) aşağıda gösterildiği gibi iki kuyuda derinliğe ait bir gözeneklilik denklemi oluşturmuştur:

$$Z = -138,76 \phi_z + 12383 \quad (1)$$

Z: feet cinsinden derinlik,

ϕ_z : verilen derinlikteki gözeneklilik

Bu, karot örneklerin yokluğunda bile (denklem 1) kullanılarak her derinlikte gözeneklilik değerlerinin hesaplanabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın amaçları:

- 1- Fatha-Hartha aralığı içindeki tüm formasyonlar için gözeneklilik ve yoğunluk değerlerini hesaplamak amacıyla kuyu log bilgisi kullanarak çalışma alanı için yeni polinom denklemlerin (yoğunluk derinliği, gözeneklilik derinliği) oluşturulması,
- 2- Yeni denklemlerin belirleme katsayısına (R^2) dayanarak, çalışma alanı içindeki tüm formasyonların yüksek ve düşük kompaksiyon alanlarının belirlenmesi,
- 3- Bu çalışmadan türetilen yeni ampirik polinom denklemleri kullanılarak Fatha-Hartha aralığı için gözeneklilik ve yoğunluk değerlerinin hesaplanması,
- 4- Çalışma alanındaki Fatha-Hartha aralığı için gözeneklilik ve yoğunluk haritalarının oluşturulmasıdır.

Bu çalışmada, Bağdat petrol sahasındaki üç kuyunun (EB-02, EB-04 ve EB-16) Gamma ışını ve Nötron-Yoğunluk logları kullanılmıştır. Ayrıca, bir sismik hat ağı üzerinde dağılmış 131 sismik hız analiz alanı için derinlik bilgisi kullanılmıştır (Al-Majid, 1992; Şekil 3).

Fatha-Hartha aralığı stratigrafik kesiti (kuyu log verilerine göre), Fatha, Jeribe, Dhiban, Bajawan, Tarajil, Palani, Jaddala, Aliji ve Shiranish olmak üzere dokuz formasyondan oluşmaktadır.

Şeyl hacmi (V_{sh}), mevcut denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Her formasyon için ortalama gözeneklilik ve yoğunluk, nötron ve yoğunluk loglarının kombinasyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

Fatha-Hartha aralığı içindeki tüm formasyonlar için (gözeneklilik-derinlik, yoğunluk-derinlik) polinom denklemleri, yukarıda belirtilen

üç kuyunun loglarından elde edilen gözeneklilik, yoğunluk ve derinlik verileri kullanılarak elde edilmiştir (Tablo 1). Daha sonra, tüm Fatha-Hartha geçişi için optimum ampirik denklemler (gözeneklilik-derinlik, yoğunluk-derinlik) üretilmiş ve tüm alan için genelleştirilmiştir.

Türetilmiş polinom denklemleri, bu aralık için ortalama gözeneklilik ve ortalama yoğunluk haritaları üretmek üzere tüm alana uygulanmıştır (Şekil 8).

Üretilen tüm denklemlerin zayıf (0,01) ila güçlü (0,92) arasında değişen belirleme katsayısı (R^2), formasyondaki kompaksiyon ile gözeneklilik ve yoğunluk arasındaki korelasyona bağlı olarak değişmektedir. Fatha, Dhiban ve Jaddala formasyonlarındaki düşük R^2 değerleri heterojenliğe veya düşük sıkıştırılmış malzemelere bağlıyken, Aliji ve Shiranish formasyonlarındaki yüksek değerlerine homojenlik veya yüksek sıkıştırılmış malzemeler neden olabilir.

Tüm alan için gözeneklilik ve yoğunluk oranlarının hesaplanmasında Fatha-Hartha aralığının polinom denklemleri kullanılmıştır. Bu aralıktaki gözeneklilik dereceli olarak dağılır; kuzey kısımda %11,5'e ulaşırken, orta kısımlarda %18-26'ya yükselir ve güneydoğuya doğru kademeli olarak %33 olur. Yoğunluk ise, kuzey kısımda yüksek ve güneye doğru düşük olacak şekilde ters bir davranışa sahiptir.

Çalışma alanının güney-doğu kısmında çökel kalınlığının artmasına rağmen, bu yönde gözeneklilik artmaktadır.

Bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Bu çalışma, kuyu log verileri kullanılarak Fatha-Hartha sismik aralığındaki tüm formasyonlar için yeni polinom denklemleri (gözeneklilik derinliği, yoğunluk derinliği) üretmiştir.
- 131 hız analiz alanına yeni polinom denklemlerini uygulayarak çalışma alanındaki

bu aralık için ortalama gözeneklilik ve yoğunluk haritalarının oluşturulmuştur.

- *R² değeri, formasyon bileşenleri arasında homojenliğin bir fonksiyonu olarak kullanılabilir.*
- *Sediman kalınlığının artmasına rağmen çalışma alanının güneydoğu kısmına doğru artan gözeneklilik değerleri, litolojik fasiyes değişimi veya bu yönde hidrokarbon konsantrasyonlarını artması hakkında bilgi verebilir.*

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to the University of Mosul, College of Petroleum and Mining Engineering for providing access to their facilities, which greatly helped to improve the quality of this research.

ORCID

Maan H. Abdullah Al-Majid  <https://orcid.org/0000-0002-3951-4880>

REFERENCES / DEĞİNİLEN BELGELER

Al-Ameri, T.K. and Al-Obaydi, 2011. Khasib and Tannuma oil sources, East Baghdad oil field, Iraq. *Journal of Marine and Petroleum Geology*, Elsevier, 28, 880-894.

Alrazzaq, A.A., 2019. Development of East Baghdad Oil Field by Clusters of Horizontal Wells. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 20 (3), 75-79.

Al-majid, M., 1992. The study of compaction in the east Baghdad oil field by using seismic velocity analyses. MSc thesis, University of Mosul, Iraq, (unpublished).

Darweesh, H.A., Obed, A.M., Albadran, B.N., 2017. Structural study of east Baghdad oil field, central Iraq. *World Journal of Engineering Research and Technology*, 3 (6), 56-66.

El-Shari, S.M., 2017. Normal and abnormal porosity-depth relationship of tertiary rocks in Soluq depression, NE-Libya. *Journal of Science and its Applications*, 5 (1), 1-7.

Midfield Oil Company (MFOC), 2005. "Final Well Reports", Iraq.

Ojha, M., and Sain, K., 2014. Velocity-Porosity and Velocity-Density Relationship for Shallow Sediments in the Kerala-Konkan Basin of Western Indian Margin. *Journal of Geological Society of India*, 84, 187-191.

Tamunosiki, D, Ming, G.H., Uko, E.,D., Ari, I.T., Emudianughe, J.E., 2014. Porosity modeling of the south-east Niger delta basin, Nigeria. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 4 (1), 49-60.



**Susuzdağ ve Tekkedağ (Kapadokya-Türkiye) Çevresindeki Volkanik Kayaçların
ASTER Görüntüsü Kullanılarak Haritalanması**
*Mapping of Volcanic Rocks Around Susuzdağ and
Tekkedağ (Cappadocia-Turkey) Using ASTER image*

Aziz Özyavaş 

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli

• Geliş/Received: 27.08.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 24.12.2019 • Kabul/Accepted: 10.01.2020
• Çevrimiçi İlk Yayın/Available online: 01.03.2020 • Baskı/Printed: 01.04.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Tuz Gölü ve Ecemiş Fayı arasında ve Kapadokya Volkanik Bölgesinde bulunan inceleme alanı, geç dönem tektonizmasından etkilenmiş ve buna bağlı olarak geç Miyosen'den günümüze kadar gelişen volkanik aktiviteye maruz kalmıştır. Bu çalışmada, Terra uydusu üzerindeki Gelişmiş Uydu Isıl Yayım ve Yansıtım Radyometre (ASTER) algılayıcısı tarafından elde edilmiş multispektral uydu görüntüsü kullanılarak Orta Anadolu'da Susuzdağ (Hamurcu, Kayseri) ve Tekkedağ'ı (Başdere, Nevşehir) içine alan bir bölgede yüzeylemiş olan volkanik kayaçlar haritalanmıştır. ASTER'in bölgedeki kayaçların karakteristik Fe, Al-OH ve Fe/Mg-OH soğurma bantlarına karşılık gelen bantları dikkate alınarak 9/8, (1+4)/(2+3), 6 ve (1+4)/(2+3), 8, 4/6 (KYM) bant oran görüntüleri oluşturulmuş ve bölgedeki bazalt, bazaltik andezit/andezit, dasit ve piroklastik kayaçların sınırları belirlenmiştir. Özellikle 9/8 bant oranının bazalt ve andezitlerin diğer volkanik kayaçlardan ayrılmasında etkin olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Fe²⁺(ferröz) demir indeksi, (1+4)/(2+3), Hamurcu çevresindeki dasit domlarını belirgin bir şekilde ortaya çıkarmıştır. Bölgede geniş alanları kaplayan İncesu ignimbriti ise ASTER 6.bantına karşılık gelen radyasyonu soğurma özelliğinden dolayı 4/6 bant oranı görüntüsünde çevresindeki kayaçlara göre daha koyu tonlarda görülmüştür. Bu çalışmada ilk kez kullanılan bant oran görüntüleri sonucu oluşturulan litoloji haritalarının doğruluğu, arazi gözlemleri ve MTA jeoloji haritası ile tasdik edilmiştir. Bazalt ve andezitin birbirinden ayırımı nispeten belirsizlik içermesine rağmen, ASTER'in işlenmiş görüntüleri volkanik kayaçların düşük bir maliyetle, güvenilir ve hızlı bir şekilde haritalanmasına olanak sağlamıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan metodoloji ülkemizin ve dünyanın benzer coğrafik bölgelerinde magmatik kayaçların haritalanmasında uygulanabilir.

Anahtar Kelimeler: ASTER, Bant oran, Volkanik kayaçlar, Orta Anadolu, Kapadokya, Uzaktan algılama

Abstract: The study area, located in the Cappadocia Volcanic Terrain between the dextral Tuz Gölü fault and sinistral Ecemiş fault, was affected by neotectonic forces and accordingly underwent volcanic activity that developed from late Miocene until recent years. Extrusive igneous rocks outcropping in central Anatolia around Susuzdağ (Hamurcu town, Kayseri) and Tekkedağ (Başdere town, Niğde) were mapped using an Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral satellite image. Band ratio images of 9/8, (1+4)/(2+3), 6 and (1+4)/(2+3), 8, 4/6 (RGB) were constructed by taking into account ASTER bands corresponding to the characteristic Fe, Al-OH and Fe/Mg-OH absorption features of rocks in the region, and the boundaries of basalt, basaltic andesite/andesite, dacite and pyroclastic rocks in the region were delineated. It was demonstrated that a band ratio of 9/8 is particularly effective in differentiating basalt and andesite from the surrounding extrusive igneous rocks. In addition, the ferrous iron index, (1+4)/(2+3), clearly indicates dacite domes as bright pixels around Hamurcu town. İncesu ignimbrite covering large areas in the region appears in darker tones than the surrounding rocks in the 4/6 band ratio image due to the fact that it has a relatively shallow absorption feature in ASTER band6. The accuracy of the

resultant lithological maps generated from the first-time used band ratio images was verified by comparing the field survey and geological maps. Although there is some uncertainty in discriminating between basalt and andesite, the resultant ASTER images enable us to map extrusive igneous rocks in a cost-effective, reliable and fast manner. The methodology used in this study can be applied for mapping igneous rocks in similar geographic locations in Turkey and around the world.

Keywords: ASTER, Band ratio, Extrusive igneous rocks, Central Anatolia, Cappadocia, Remote sensing

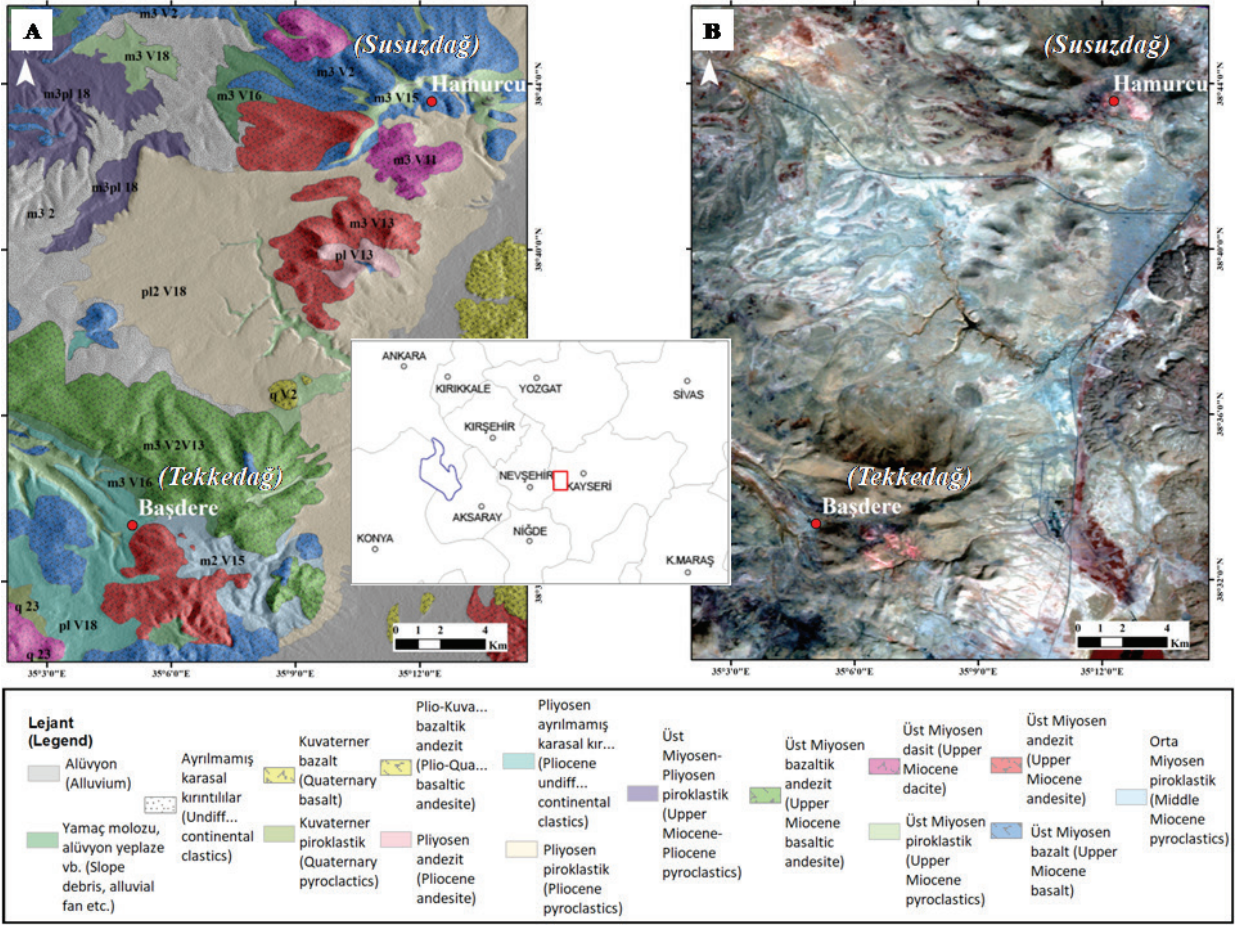
GİRİŞ

Susuzdağ (Hamurcu beldesi, Kayseri) ve Tekkedağ'ı (Başdere beldesi, Nevşehir) çevreleyen çalışma sahası, Kayseri ilinin B-GB'sında yer almaktadır. Çalışma sahasında Erciyes volkanizmasına ait yaygın olarak bazalt, bazaltik andezit/andezit, dasit ve piroklastik kayalar yüzeylenmiştir (Şekil 1). $5,1 \pm 0,3$ my yaşlı Kızılkaya ignimbriti (Schumacher vd., 1990) Başdere bölgesini içine alan Tekkedağ volkanitinin ($7,9 \pm 0,32$ my (Dönmez vd., 2003, 2005; Keskin vd., 2010)) güney eteklerine sıvanmış olup, daha önceki volkanitlerin üzerine yerleşmiştir (Akçay vd., 2017). $3,0 \pm 0,1$ my yaşlı İncesu ignimbriti (Innocenti vd., 1975) ise bölgede Sultansazlığı Havzasının KB'sındaki Himmetdede ilçesinden (Kayseri) güneydoğuda Toroslara kadar çok geniş bir alana yayılmıştır. Çıkış merkezi Kayseri ilinin güneyinde bulunan Koçdağ olan İncesu ignimbritinin akış yönü K, KB, KD, D ve GD yönünde olduğundan Tekkedağ volkanının kuzey yamacına sıvanmış ve G, GB yönünde akamamıştır (Akçay vd., 2017). Susuzdağ çevresindeki volkanik kayalarda gerçekleştirilen radyometrik yaş tayinlerinde $7,4 \pm 1,3$ (aglomera), $9,0 \pm 0,2$ ve $13,3 \pm 0,3$ my yaşları elde edilmiştir (Dönmez vd., 2003).

Gelişmiş Uydu-bazlı Isıl Yayım ve Yansıtım Radyometre (ASTER) multispektral sensörü Yer Gözlem Sistemi (EOS) Terra platformunda taşınmakta olup Aralık 1999 yılında fırlatılmıştır (Yamaguchi ve Naito, 2003). ASTER $0,52 \mu\text{m}$

ve $0,86 \mu\text{m}$ aralığında görünür-yakın kızılötesi (VNIR), $1,6 \mu\text{m}$ ve $2,43 \mu\text{m}$ aralığında kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve termal kızılötesi (TIR) ($8,125 \mu\text{m}$ 'den $11,65 \mu\text{m}$ 'ye kadar) bölgelerinde sırasıyla 15 m, 30 m ve 90 m uzaysal çözünürlüğe sahiptir. ASTER 60 km şerit genişliğinde görüntü elde eder (Fujisada, 1995). Multispektral ASTER görüntüleri uzun zamandır farklı coğrafik bölgelerinde bir çok araştırmacı tarafından litoloji ve mineral haritalamada başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Rowan ve Mars, 2003; Yamaguchi ve Naito, 2003; Mars ve Rowan, 2010; Amer vd., 2010; Pour ve Hashim, 2012; Rajendran ve Nasir, 2017).

Benzer bileşime sahip ve alterasyona uğramış magmatik kayaların uydu görüntüleri kullanılarak haritalanması birtakım zorluklar içermektedir. Bu çalışmada ASTER'in VNIR ve SWIR bantlarından türetilen ve daha önce literatürde kullanılmamış 9/8, $(1+4)/(2+3)$, 6 ve $(1+4)/(2+3)$, 8, 4/6 (KYM) bant oran görüntüleri oluşturulmuş ve Susuzdağ (Hamurcu beldesi) ve Tekkedağ (Başdere beldesi) çevresindeki volkanik kayalar haritalanmıştır. Hamurcu ve Başdere çevresinin seçilmesinin nedeni; (1) daha önce bu bölgede uydu görüntüleri kullanılarak litolojik haritalama yapılmaması ve (2) uzaktan algılama açısından elverişli olmasıdır (arazinin nispeten az bitki örtüsü içermesi ve kayaların mostra vermesidir). ASTER görüntüsünden oluşturulan litoloji haritalarının doğruluğu hem arazi gözlemlerine ve hem de MTA jeoloji haritası değerlendirilerek tasdik edilmiştir.



Şekil 1. (A) Hamurcu (Susuzdağ) ve Başdere beldelerini (Tekkedağ'ı) içine alan alan bölgenin jeoloji haritası. (B) ASTER görüntüsünün bir kısmının bölgeyi içine alan 468 (KYM) yanlış renk bileşik görüntüsü ve çalışma sahasının lokasyonunu gösteren harita (kırmızı dikdörtgen).

Figure 1. (A) Geological map of area covering Hamurcu (Susuzdağ) and Başdere towns (Tekkedağ). (B) Subset of a 468 (RGB) false color composite ASTER image of the region and map showing location of study area (red rectangle).

BÖLGENİN JEOLJİSİ

Çalışma sahasını da içine alan bölge, Anatolid tektonik birlikleri üzerinde yer almaktadır. Anatolidler içerisinde yer alan Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı (OAKK), metamorfik çekirdek ve bunun zarfı ile bu birimleri kesen farklı kökenlere sahip Üst Kretase yaşlı (110-65 my arası) granitoidlerden oluşmuştur (Delibaş ve Genç, 2012). Bölgenin stratigrafisini bu birimleri farklı lokasyonlarda üzerleyen Üst Kretase sonrası oluşmuş çeşitli havza çökelleri ve ofiyolitik

birimler tamamlar (Idleman vd., 2014). İzmir-Ankara Okyanusunun Kretase boyunca kapanması sırasında pasif kıta kenarı pozisyonunda olan OAKK birimlerinin üzerine itilen ofiyolit birimleri ve okyanusal yay ile çarpışması nedeniyle kabuk kalınlaşması ve yüksek sıcaklık metamorfizmasına uğramış olduğu düşünülür (Göncüoğlu, 2010). Geç Kretase'ye kadar bölgede gelişen sıkışmalı tektonizma, kıta kabuğunda kısalmaya ve plüton yerleşimine sebep olurken (Genç ve Yürür, 2010), geç Kretase sonrası ekstansiyonal tektonizma

kabuğu gerip inceltmiş ve OAKK'nın metamorfik temelinin yükselmesine yol açmıştır (Seyitoğlu ve Scott, 1996).

Türkiye'de gelişen volkanizma Neotetis'in dalma-batması ve kapanmasıyla yakından ilişkilidir. Batıdan doğuya doğru ilerleyen volkanik aktivite, Neojen ve Kuvaterner'de Batı Anadolu, Galatya, Kapadokya (orta Anadolu), doğu Anadolu volkanik bölgelerinin gelişmesine neden olmuştur (Pasquare vd., 1988; Toprak vd., 1994). Kapadokya Volkanik Bölgesi (KVB), Avrasya ile Afro-Arab levhalarının geniş bir bölgede orta-geç Miyosen ve Kuvaterner süresince yaklaşım çarpışması sonucu oluşmuş kıtasal yay arkası havzasıdır (Innocenti vd., 1975; Rotstein ve Kafka, 1982). KVB, kalınlığı 2 km'yi bulan başlıca volkanik kül ve iri kaya blokları içeren piroklastik akıntılar, flüvyal ve göl çökelleri, andezitik-riyolitik-bazaltik lavlar ve lav domlarından oluşmuştur. Bölge yaşları orta Miyosen'den tarih öncesi çağlara uzanan (13,7 my – 15.500±2.500 yıl) çok sayıda sinder konileri, monojenetik volkanlar, endojenik/ekzojenik domlar ve Hasandağ, Melendiz ve Erciyes gibi birçok kompozit volkanlar tarafından şekillendirilmiştir (Innocenti vd., 1975; Pasquare, 1968; Batum, 1978; Ercan, 1986; Pasquare vd., 1988). Bir dizi KB-gidişli sağ-yönlü doğrultu atımlı fay KVB'yi kesip birçok bloğa ayırmıştır. Bununla birlikte, KVB'yi iki bloğa ayıran en genç fay sistemi kıtaiçi Orta Anadolu Fay zonudur. Bu fay zonunun içinde yaklaşık olarak K-G yönünde uzanan Erciyes çek-ayır havzası yer almaktadır (Koçyiğit ve Erol, 2001). Kayseri çek-ayır havzasının kuzey kısmında bulunan ve morfolojik görünümüyle kalderayı andıran Hamurcu ve Başdere çevresini kapsayan çalışma alanı KD-GB yönünde yaklaşık 300 km uzanan KVB içinde yer alır. (Ak vd., 2015). KVB'nin K-G, KB-GD ve KD-GB yönelimli faylardan oluşmuş olan Tuz Gölü ve Ecemiş Fay sistemlerinin etkisi altında kaldığı düşünülmektedir (Toprak, 1998; Dhont vd., 1998). Pasquare vd. (1988)

KVB'nin jeolojik evriminde üç ana dönem önermiştir. İlk dönem çoğunlukla andezitik bileşimli efüzif ve endojen domların olduğu 13,5 ile 8,5 my arasındaki priyodu kapsamaktadır. İkinci periyot (8,5-9 ile 2,7 my) Keçiboyduran-Melendiz volkanik kompleksinin oluşumunu ve ignimbirit birimlerinin Ürgüp Havzası/Nevşehir Platosu'nda geniş alanlara yerleştiği dönemdir. Bu ignimbirit birimleri karasal çökellerle (gösel ve akarsu) 400 m kalınlığa ulaşan ara katmanlı çökelleri oluşturmuştur. Üçüncü dönem ise büyük volkan konilerinin oluşumu (Erciyes ve Hasan dağ kompozit volkanları) ile birlikte çok sayıda monojenetik volkan merkezleri ile karakterize edilmiştir.

BÖLGEDEKİ KAYAÇLARIN ÖZELLİKLERİ

KVB'de bulunan volkanik kayalar genellikle kalk-alkalen bileşime sahiptir (Toprak vd., 1994). Skorya konileri, lav akıntıları, maar, silisik domlar, strato-volkanlar (Erciyes, Hasandağ ve Melendiz) ve geniş alanları kaplayan ignimbiritler KVB'de oldukça yaygındır (Le Penneç vd., 1994; 2005). Farklı derecelerde kaynaşmış, üç farklı seviyeden oluşan ve KVB içinde en geniş yayılım gösteren piroklastik kayaç İncesu ignimbiritidir (Schumacher vd., 2004; Koralay ve Kadioğlu 2003). Riyolit/riyodasit-dasit bileşimli ve orta-yüksek potasyum içerikli gri-pembemsi İncesu ignimbiriti kalk-alkalen karaktere sahiptir (Koralay, 2006). İncesu ignimbiriti çok iyi kaynaşmış orta seviyesinin altında vitrofirik olup, üst kısmında düzleşmiş pamis ve altere olmuş ksenolitlerden meydana gelmiştir (Toprak vd., 1994). Ayrıca, İncesu ignimbiritinde volkan cam ve litik bileşenler görülmekte olup, tüm seviyesinde plajioloklas, piroksen, opak minerallerine ilave olarak daha az oranda da olsa kuvars, biyotit ve amfibol mineralleri bulunmaktadır (Koralay, 2006). Tekkedağ volkanik kompleksi Erciyes volkanik kompleksinin batısında 9-10 km çapında dairesel bir yapıdır. Tekkedağ volkanik kompleksi

genç ignimbirit ve bazalt lavları ile kaplıdır. Kompleksin ana kütlelerini andezitik lav akıntıları ve piroklastik kayaçlar oluşturmaktadır. Hamurcu volkanik kompleksi (Susuzdağ), Tekkedağ volkanik kompleksine benzer şekilde, andezitik bileşime sahip 8-10 km çapında dairesel formdadır (Toprak vd., 1994). Susuzdağ ve çevresinde üst Miyosen yaşlı altera olmuş andezit-dasitler ile aglomera-breşler yüzeylenirken, bazalt-bazaltik andezitler, üst Miyosen yaşlı dasidik domlar ve Pliyosen yaşlı İncesu tuf-ignimbiritleri Tekkedağ volkanitleri olarak adlandırılan birimleri meydana getirmektedir (Türkecan vd., 2003; Ak vd., 2015). Tekkedağ volkanitlerinin bir kısmını oluşturan siyah-kahverengi bazaltlar opak minerallerce zengin bir hamurdan ve plajioklas, klinopiroksen, olivin ve ortopiroksen fenokristallerden oluşmuştur. Tekkedağ volkanitleri kuzeyde incesu ignimbiriti ile Kızılkaya ignimbiritini ayırır. Tekkedağ volkanik kayaçlarından olan altere olmamış koyu gri-siyah renkli bazaltik andezitler, plajioklas, piroksen ve olivin fenokristallerinden oluşan porfirik bir doku gösterir (Türkecan vd., 2003). Diğer yandan, bölgedeki andezitler beyaz, açık gri ve sarı renkli olup petrografi analizlerde porfirik dokuya sahip olduğu belirtilmiştir.

Plajioklas, andezitlerin gerek matriks kısmında gerekse fenokristal olarak en yaygın mineraldir. Bunun yanında, daha az oranda amfibol ve biyotit fenokristalleri de görülmüştür. Hidrotermal alterasyona uğramış andezitlerin dokusu bozulmuş ve killeşme ile birlikte alunit ve demir oksitler gelişmiştir (Ak vd., 2015). Susuzdağ genellikle bazaltik andezit karakterli zirveleri oluşturan lavlardan ve piroklastiklerden (aglomera) oluşmuştur (Türkecan vd., 2003). Lavlar gri-siyah renkli, ince veya belirgin feldispat içermektedir (Ak vd., 2015). Bölgedeki açık gri, pembe renkli ince taneli lavlar, önceki araştırmacılar tarafından andezit olarak belirtilmesine rağmen, SiO₂ oranının yüksek olması nedeniyle dasitik domlar olarak tanımlanmıştır. Viskozitesi düşük ve çıktığı yerde biriken dasit domları, belirgin kuvars mineralleri ve porfirik dokusu ile öne çıkmaktadır. Çok miktarda Plajioklas ile birlikte daha az oranda piroksen, amfibol ve biyotit fenokristallerinin bol miktarda plajioklas mikrolitleri, amfibol ve piroksen içeren matriks içinde bulunduğu belirlenmiştir (Türkecan vd., 2003). Bölgedeki volkanik kayaçların petrografi ve arazi gözlemlerine dayanan özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Hamurcu ve Başdere çalışma şhaları ve çevresinde bulunan volkanik kayaçların petrografi analiz ve arazi gözlem sonuçları

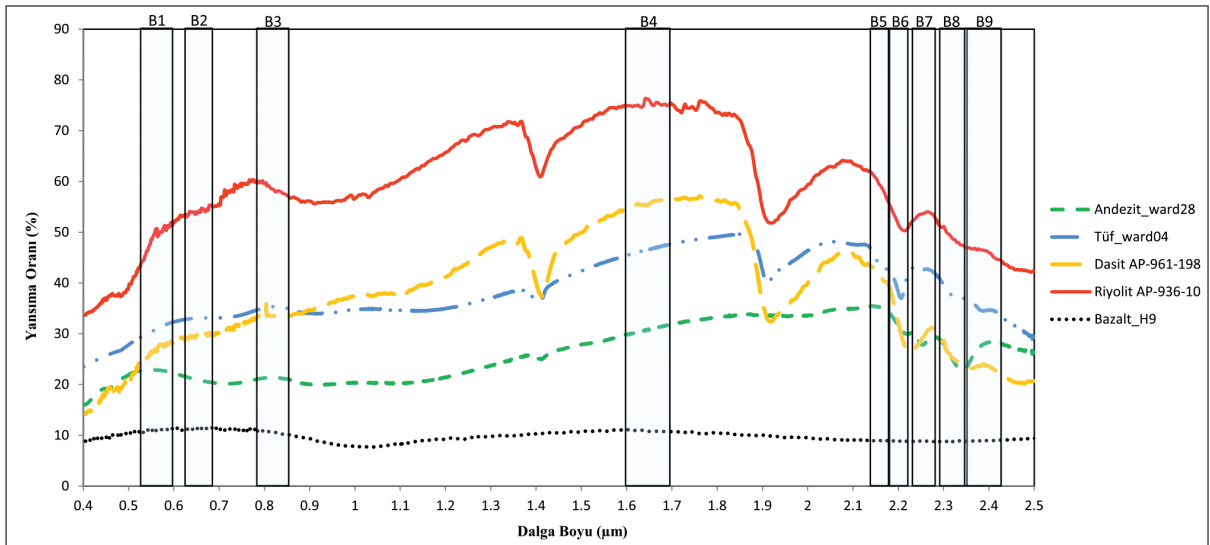
Table 1. Results of petrographic analysis and field observations of extrusive igneous rocks in and around Hamurcu and Başdere study areas.

Kayaç	Petrografi Analiz	Arazi gözlemleri
Bazalt	Opak minerallerce zengin matriks ve plajioklas, klinopiroksen, olivin ve ortopiroksen fenokristaller	Siyah-kahverenkli porfirik dokulu
Bazaltik andezit	Porfirik dokulu, plajioklas, piroksen ve olivin fenokristalleri	Koyu gri-siyah renkli porfirik dokulu
Andezit	Porfirik dokulu, plajioklasla zengin matriks ve plajioklas, bol miktarda plajioklas ile birlikte daha az oranda amfibol ve biyotit fenokristaller	Beyaz, sarı ve gri renkli altere olmuş, yer yer sağlam kısımlar gözlenmektedir
Dasit	Belirgin kuvars mineralleri ve porfirik dokusu. Matriks bol miktarda plajioklas mikrolitleri ile amfibol ve piroksen içerir. Fenokristaller çok miktarda plajioklas yanında daha az miktarda piroksen, amfibol ve biyotitten oluşmuştur	Açık gri-pembe renkli porfirik doku
İgnimbirit	Plajioklas, piroksen, kuvars, biyotit ve amfibol	Gri-pembemsi renkli volkan camı, pomza, kristal parçaları ve litik bileşenler

KAYAÇ VE MİNERALLERİN SPEKTRAL ÖZELLİKLERİ

Kayaçlar, mineral bileşimi, tane boyu ve yüzeylerindeki ayrışmaya bağlı olarak farklı spektral yansımaya ve emisyon özellikleri gösterirler. Volkanik kayaçlarda görülen karakteristik soğurma bantları, kayaçların birincil mineral bileşimi (kuvars, feldspat, amfibol, biotit, piroksen vb.) ve daha sonra gelişen ayrışma ve/veya alterasyon sonucu gelişmiş olan kaolin, alunit, smektit ve muskovit (serisit) gibi mineral birlikteliklerine atfedilir (Drury, 2001). Magmatik kayaçların spektral yansımaları artan SiO₂ içeriği ve/veya azalan mafik minerallerin varlığı ile artar (Hunt vd., 1974). Al-OH ile ilişkilendirilen 2,20 µm'deki karakteristik soğurma bandı (ASTER bant6) genellikle kil mineralleri (kaolinit, smektit ve illit) ile muskovitin (serisit) varlığını yansıtır (Chabrilat vd., 2002) (Şekil 2). Mg açısından zengin volkanik kayaçlar (bazalt ve andezit) ise ASTER'in bant8'e karşılık gelen 2,30-2,35 µm'de karakteristik ve derin Mg-OH soğurma bandı

oluştururken (Şekil 2), Mg'ca fakir magmatik kayaçlar (Felsik volkanik tuf, riyolit ve dasit) 2,30-2,35 µm'de nispeten zayıf veya belirgin bir soğurma bandından yoksundur (Haselwimmer vd., 2010) (Şekil 2). Kayaçların dış yüzeylerinden elde edilen spektrallerdeki Al-OH ve Fe/Mg-OH soğurma bantları, aynı zamanda ayrışma yüzeyinin altındaki taze kayaçtaki önemli miktardaki birincil Al ve Fe/Mg varlığı ile de ilişkilendirilebilir (Zhou ve Wang, 2017). Dolayısıyla, kayacın yüzeyinde ayrışma sonucu oluşan mineraller de litolojilerin belirlenmesinde kullanılabilir (Drury, 2001). Ferrik demir mineralleri morötesi spektrumda (<0,4 µm) karakteristik ve derin bir soğurma bandı oluşturur. Bu soğurma bandının uzun dalga boyu kısmı görünür ışık spektrumuna uzanır ve özellikle mavi ve yeşil renge karşılık gelen radyasyonu emerek, demir oksit minerallerinin kırmızı, turuncu ve sarı renklere sahip olmasına neden olur (Clark, 1999). Buna karşın, ferröz demir içeren kayaçlar kırmızı ve yakın kızılötesinde geniş bir soğurma bandı oluşturur (Şekil 2) (Rockwell, 2012).



Şekil 2. Çalışma sahasında haritalanmış olan volkanik kayaçların ASTER spektral kütüphanesinden elde edilmiş laboratuvar spektral eğrileri (Andezit örneği ward28, tuf örneği ward04, dasit örneği AP-961-198, riyolit örneği AP-936-10 ve bazalt örneği H9). Üst kısımdaki numaralar ve barlar ASTER'in VNIR ve SWIR bantlarının bulunduğu dalga boylarını göstermektedir.

Figure 2. Laboratory spectral curves of the extrusive igneous rocks mapped in the study area obtained from ASTER spectral library (the andezite sample is ward's 28, tuff sample ward's 04, dacite sample AP-961-198, rhyolite sample AP-936-10 and basalt sample H9). The numbers and the corresponding bars above the graph indicate the wavelength locations of ASTER VNIR and SWIR bands.

VERİ VE YÖNTEM

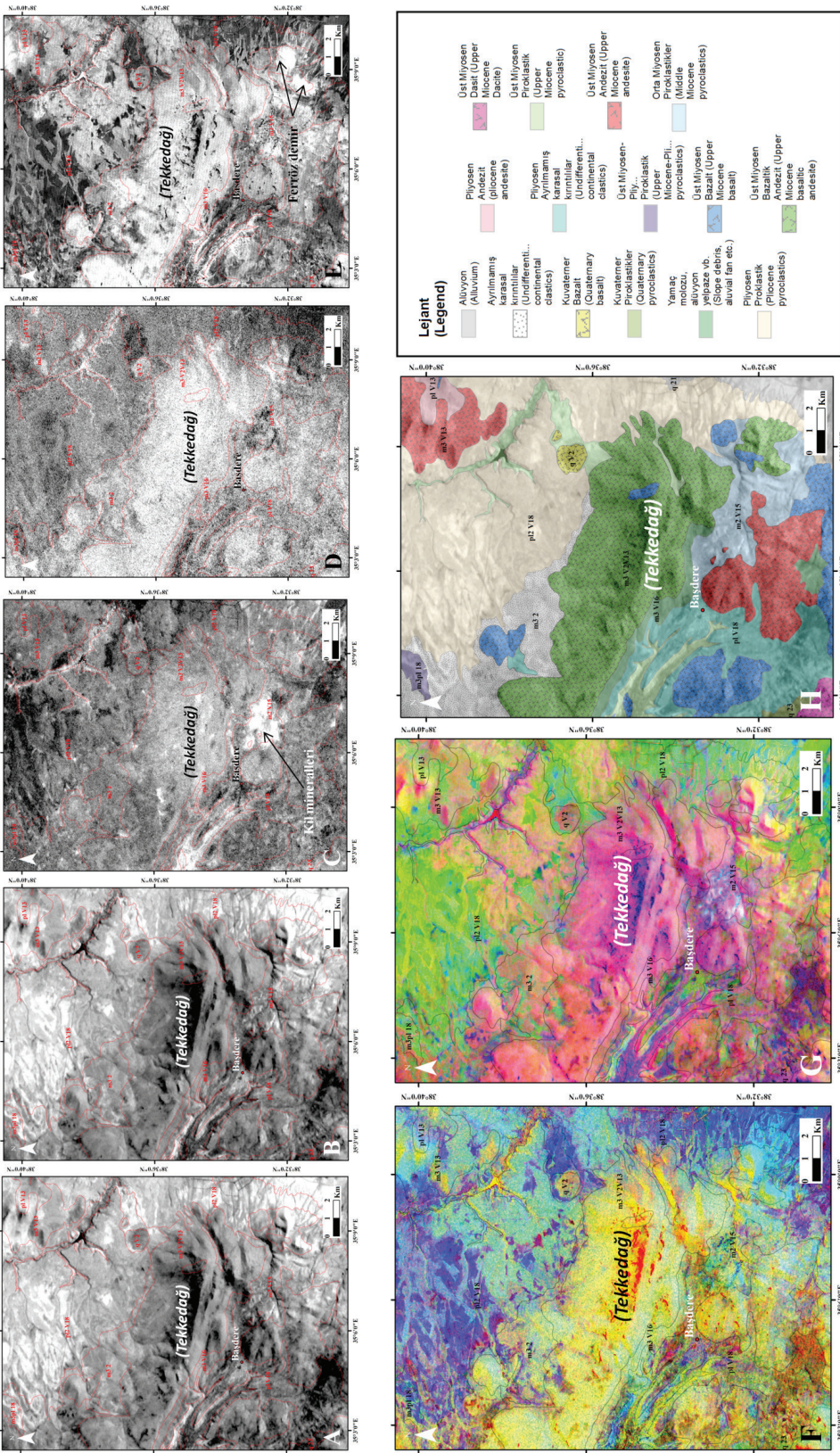
Bu çalışmada kullanılan ASTER L1T verisi 20 Mart 2004 tarihinde elde edilmiş olup minimum bitki, bulut ve kar örtüsüne sahiptir. Bu verinin seçilme nedeni, ASTER'in VNIR ve SWIR bantlarının kayaçları meydana getiren minerallerin soğurma bantlarına karşılık gelmesidir. Environment for Visualizing Images (ENVI) 5.3 ve Arc geographic information system (GIS) 10.1 yazılımları görüntü işleme ve analizlerinde kullanılmıştır. Bölgenin jeoloji haritası (Şekil 1A) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden, volkanik kayaçların spektralleri (Şekil 2) ASTER spektral kütüphanesinden elde edilmiştir. Haziran 2017 tarihinde Hamurcu ve Başdere bölgelerini içine alan bir arazi çalışması yapılmıştır.

ASTER L1T verisi halihazırda ortorektifiye edilmiş ve crosstalk düzeltilmesi yapılmıştır. İlk ön işlem olarak, sensörkalibrasyon dijital numaraların radyansa dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ASTER VNIR bantları 30 m uzaysal çözünürlüğe tekrar örneklenip, ASTER SWIR bantları ile birleştirilerek toplamda eşit çözünürlüğe sahip VNIR-SWIR aralığında 9 bant elde edilmiştir. ASTER L1T verisine, çok yaygın olarak kullanılan atmosferik düzeltme algoritması olan Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) uygulanmıştır. Böylece, veri hem aerosol ve su buharının spektral etkisinden kurtarılmış hem de radyans değerleri yansıma oranına kalibre edilmiştir. Ön işlemler uygulandıktan sonra, ASTER verisinden yanlış renk bileşik görüntüsü ile birlikte (Şekil 1B) bant oranlama tekniği kullanarak iki farklı bant oran görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 3 ve 4). Bant oranlama metodu basit ve aynı zamanda tutarlı bir tekniktir (bir banttaki her bir piksel değeri diğer bir bantın aynı pikselinin değerine bölünür). Bu yöntemle topografik, tane boyu ve güneşin aydınlatma koşullarındaki değişiminin etkisi azaltılarak farklı kayaçların spektral kontrastı artırılır (Rowan ve Mars, 2003).

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yanlış Renk Bileşik Görüntü Analizi

ASTER 468 (KYM) yanlış renk bileşik görüntüsü arjilik, fillik ve propilitik alterasyonların haritalanmasında kullanılmıştır (Tommaso ve Rubinstein, 2007; Mars, 2010). Bu çalışmada ASTER'in 468 (KYM) yanlış renk bileşik görüntüsünün alterasyonlar ile birlikte bölgedeki kayaçların ayırt edilmesinde de etkin olduğu görülmüştür (Şekil 1B). ASTER bant6 seçimi Al-OH soğurma bantı gösteren filloslikat mineralleri (kil mineralleri ve muskovit) ile ilişkili iken, bant8 ferromagnezyen minerallerin (piroksen, amfibol, biyotit ve epidot) karakteristik soğurma bantına karşılık gelmektedir (Şekil 2). ASTER 468 (KYM) yanlış renk bileşik görüntüsünde bölgedeki bazalt ve andezit gibi mafik ve ortaç volkanik kayaçların çok önemli bir kısmının kahverengi ile temsil edildiği görülmektedir (örneğin, Hamurcu çevresindeki kaldera) (Şekil 1B). Bunun nedeni, bazalt ve andezit gibi mafik ve ortaç volkanik kayaçların ASTER bant4'de bant6 ve bant8'e göre daha yüksek yansıması değerine sahip olmasıdır (bant6'ya karşılık gelen zayıf Al-OH soğurma bantı ve mafik minerallerin ASTER bant8'de sahip olduğu Fe/Mg-OH ile ilişkili derin soğurma bantı) (Şekil 2). Ayrıca, haritalanan sahadaki andezit ve bazaltlarda yer yer çok koyu yeşil/lacivert tonlar görülmektedir. Bu alanlar özellikle bant4 ile birlikte genel olarak VNIR-SWIR aralığında yansıma oranında azalma ile ilgilidir ve muhtemelen volkanik kayacın silis (SiO₂) içeriğinin azalması (daha mafik bileşime sahip olması) ile açıklanabilir (Şekil 1B). Haritalanan bölgede geniş alanları kaplayan İncesu ignimbriti özellikle ASTER bant8'deki göreceli olarak yüksek yansıma değeri nedeniyle (başka bir ifadeyle ASTER bant8'deki zayıf/sığ Fe/Mg-OH soğurma bantına sahip olması) mavi tonlarda görülmektedir ki bu alanlar çoğunlukla ekili olmayan alanlara karşılık gelmektedir (Şekil 1B). Hamurcu ve çevresinde bulunan dasit domları ise, ASTER'in 6 ve 8. bantlarındaki nispeten yüksek



Şekil 4. Başdere bölgesi, ASTER’in orijinal ve bant oran görüntüleri. (A) bant6, (B) bant8, (C) bant4/bant6, (D) bant9/bant8, (E) (1+4)/(2+3) ferrus demir indeksi, (F) 9/8, (1+4)/(2+3), 6 (KYM) renkli bileşik görüntü, (G) (1+4)/(2+3), 8, 4/6 (KYM) renkli bileşik görüntü ve (H) bölgenin jeolojisi haritası. Bütün görüntüleri %5 doğrusal kontrast germe uygulanmıştır. Kil mineralleri (C) ve ferröz demir oksitler (E) parlak pikseller ile temsil edilmiştir.

Figure 4. Başdere area: ASTER original bands along with band ratio images. (A) band6, (B) band8, (C) band4/band6, (D) band9/band8, (E) (1+4)/(2+3) ferrus iron index, (F) 9/8, (1+4)/(2+3), 6 (KYM) color composite image, (G) (1+4)/(2+3), 8, 4/6 (KYM) color composite image, and (H) geological map of area. 5% linear contrast stretch was implemented to all images. Bright pixels in (C) and (E) represent clay minerals and ferrous iron oxides, respectively

(zayıf Al-OH ve Mg-OH soğurma bantları) ve bant4'e yakın yansıma oranı nedeniyle parlak pikseller ile temsil edilmiştir (Şekil 1B). Hamurcu ve Başdere beldelerinin yakın çevresinde görülen kırmızı alanlar alterasyonları işaret etmektedir (Şekil 1B).

Bant Oran Görüntü Analizi

Volkanik kayaçların sahip olduğu soğurma bantlarına odaklanarak oluşturulan gri ölçekli ve renkli bileşik bant oranlama görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil 3 ve 4). Bununla birlikte, bant oran görüntülerinin parlaklık yoğunluğu açısından kör olduğu dikkate alınmalıdır (farklı cisimler benzer parlaklığa sahip olabilirler). Bu durumun üstesinden gelebilmek için bant oran görüntülerinde verinin orijinal bantlarından birinin anarenklerden birine tahsis edilmesi önerilmektedir (Lillesand vd., 2004). Bu doğrultuda, oluşturulan her iki bant oran görüntüsünde ASTER verisinin orijinal bantlarından bant6 ve bant8 (sırasıyla kayaçların Al-OH ve Fe/Mg-OH soğurma bantlarına karşılık gelmektedir) kullanılmıştır (Şekil 2). Hamurcu (Susuzdağ, Kayseri) ve Başdere (Tekkedağ, Nevşehir) beldelerini içine alan bölgedeki bazalt, bazaltik andezit, andezit, dasit ve piroklastik kayaçların haritalanması amacıyla ASTER 9/8, (1+4)/(2+3), 6 ve (1+4)/(2+3), 8, 4/6 (KYM) bant oranlarının renkli bileşik görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil 3F,G ve Şekil 4F, G). ASTER'dan türetilen litoloji haritalarında jeoloji haritasına kıyasla bazı kayaçların sınırları daha iyi belirlenmiştir. Bant oran görüntülerinin her ikisinde de Fe kristal alan etkisi sonucu oluşan soğurma bantının belirlenmesi için Rockwell (2012)'in önerdiği (1+4)/(2+3) ferrus demir indeksi kullanılmıştır. Gerek yanlış renk bileşik görüntüsünde gerekse bant oran görüntülerinde, Hamurcu ve Başdere beldeleri çevresinde görülen alterasyon sonucu oluşmuş mineraller (Şekil 3C, G ve Şekil 4C, G) arazi çalışmasında da gözlemlenmiştir (Şekil 5). Bölgedeki dasit ve

İncesu ignimbriti gibi volkanik kayaçlar, bazalt ve andezite göre daha yüksek miktarda felsik mineraller içerdiğinden dolayı, VNIR ve SWIR spektrum boyunca genel olarak yüksek yansıma oranı göstermektedir (Şekil 2, Şekil 3A, B ve Şekil 4A, B). Ayrıca, bölgedeki bazalt, bazaltik andezit ve andezitleri ASTER'in VNIR ve SWIR bantlarını kullanarak birbirinden ayırmak oldukça güçtür.

ASTER 9/8, (1+4)/(2+3), 6 (KYM) renkli bileşik görüntüde, 9/8 bant oran görüntüsü bölgedeki volkanik kayaçlarda farklı oranlarda bulunan amfibol, piroksen, biyotit, epidot ve klorit ile ilişkilendirilen Fe/Mg-OH soğurma bantını vurgulamak için seçilmiştir (ASTER bant8'e karşılık gelen ferromagnezyen mineralleri derin Fe/Mg-OH soğurma bantı oluşturur) (Şekil 2). Bunun sonucu olarak, 9/8 bant oran görüntüsünde bazalt, bazaltik andezit ve andezitin çevresindeki felsik volkanik kayaçlara (dasit ve piroklastik) göre daha parlak pikseller olarak görülmesine neden olmuştur (Şekil 3D ve Şekil 4D). Örneğin, Hamurcu bölgesindeki kaldera da çevresindeki kayaçlardan daha açık tonlarda görülmektedir (Şekil 3D). Bununla birlikte, 9/8 bant oran görüntüsünde parlak piksellerin karbonatlı kayaçları da temsil edebilecek olsa da haritalanan bölgede karbonatlı kayaç bulunmadığını not etmek önemlidir. Dasit domları (1+4)/(2+3) bant oran görüntüsünde çevresindeki bazalt, bazaltik andezit, andezit ve piroklastik kayaçlara göre daha parlak piksellerle temsil edilmektedir (Şekil 3E). Bu durum dasit domlarının bazalt ve andezitlere kıyasla daha az altere olduğunun bir göstergesi olabilir. Özellikle Hamurcu kasabasının KB ve GB'sındaki dasit domları ile birlikte geniş bir alanda yayılmış olan İncesu ignimbriti (Al-OH ile ilişkili) ASTER bant6'ya karşılık gelen radyasyonu daha yüksek oranda yansıttığı için bazaltik ve andezitik kayaçlara göre daha açık tonlarda görünmektedir (Şekil 3A ve Şekil 4A). Buna ilave olarak, 4/6 bant oranında İncesu



Şekil 5. (A, B) Hamurcu beldesi çevresindeki kalderanın doğudan batıya panoramik görünümü. (C, D) Hamurcu'nun doğusundaki vadi boyunca uzanan altere olmuş andezitler. (E) Hamurcu çevresinde hemen hemen tamamen alunitleşmiş andezitler. (F, G, H) Başdere beldesinin güney doğusunda vadi boyunca uzanan altere olmuş andezitler ve vadi tabanındaki ileri alterasyon. (I) Başdere bölgesinde altere olmuş andezitin yakın görünümü ve tabanındaki ileri alterasyon arasındaki keskin alterasyon dokanağı.

Figure 5. (A, B) Panoramic view of the caldera from east to west around Hamurcu town. (C, D) Altered andesite along valley east of Hamurcu. (E) Andesite almost altered to alunite in vicinity of Hamurcu. (F, G, H) Altered andesite along valley together with advanced alteration at base of valley southeast of Başdere town. (I) Close view of altered andesite having sharp alteration line with advanced alteration at its base in Başdere area.

tonlarında görünmektedir (yüksek 9/8 bant oranı ve bant6 ile birlikte düşük ferröz demir indeks yansıtma oranı nedeniyle). Hamurcu çevresindeki dasit domları ise bant6 ve ferrus demir indeksinde parlak pikseller ile temsil edilmesine rağmen, bant 9/8 oranındaki düşük yansıtma oranı nedeniyle yeşilimsi mavi renk ile temsil edilmektedir (Şekil 3F ve Şekil 4F). İncesu ignimbriti ise özellikle

yeşil renge karşılık gelen ferrus demir indeksinde koyu pikseller ile temsil edildiğinden (bant6' da ve bant 9/8 oran görüntüsünde açık gri ve parlak pikseller olarak temsil edilmektedir) eflatun/mor ve lacivert renkler olarak görünmektedir. Kırmızı pikseller ise sağlıklı bitki örtüsünü (ekili alanları) işaret etmektedir (Şekil 3F ve Şekil 4F).

ignimbritinin daha koyu pikseller olarak görünmesi de (Şekil 3C ve Şekil 4C) Al-OH soğurma bantının rölatif olarak zayıf olduğunu ve ignimbritlerin ileri derecede alterasyona maruz kalmadığının bir belirtisi olabilir. Renkli bileşik görüntüde (Şekil 3F ve Şekil 4F) ise bazalt, bazaltik andezit ve andezit sarı ve turuncu ASTER (1+4)/(2+3), 8, 4/6 (KYM) bant oranı görüntüsünde ise Hamurcu beldesi çevresindeki dasit domları ve dasitik kayaçlar açık sarı renk ile temsil edilmektedir (Şekil 3G). Bunun nedeni, (1) (1+4)/(2+3) bant oranında dasit domlarının yüksek yansıma oranına sahip olması (Şekil 3E) (başka bir ifadeyle bant3'teki düşük yansıma değeri), (2) bant8'de dasitin bir dereceye kadar yüksek yansıtma kabiliyeti (Şekil 3B) (dasitin Fe/Mg-OH ile ilişkili soğurma bantının oldukça zayıf olması) ve (3) dasitin 4/6 bant oranındaki düşük parlaklık değeridir (Şekil 3C) (bant6'da dasit diğer volkanik kayaçlara göre daha yüksek yansıtma oranına sahiptir (Şekil 3A)). Öte yandan, bölgede geniş alanlara yayılmış piroklastik kayaçlar (İncesu ignimbriti), bant8'e karşılık gelen radyasyonu bazalt ve andezitlere göre daha fazla yansıtıp (Şekil 3B ve Şekil 4B), bant3 ve bant6'da derin soğurma bantına sahip olmamasından dolayı ((1+4)/(2+3) ve 4/6 bant oran görüntülerinde bölgedeki diğer volkanik kayaçlara göre daha koyu tonlardadır (sırasıyla, Şekil 3E, C ve Şekil 4E, C)). Piroklastik kayaçlar ASTER (1+4)/(2+3), 8, 4/6 (KYM) bant oran görüntüsünde yeşilimsi sarı (ekili olmayan tarım alanları) ve yeşilin farklı tonlarında görünmektedir (Şekil 3G ve Şekil 4G). Bölgedeki bazalt, bazaltik andezit ve andezit ise özellikle ASTER bant8'deki nispeten derin ve karakteristik Fe/Mg-OH soğurma bantı nedeniyle pembe ve mor renkler ile temsil edilmektedir (Şekil 3G ve Şekil 4G). Hamurcu çevresinde ve Başdere beldesinin GD'sunda görülen alterasyonlar beyazımsı açık mavi renkler olarak görülmektedir (Şekil 3G ve Şekil 4G). Hamurcu ve Başdere beldeleri yakınında arazi çalışmasında da gözlemlenen alterasyonlar 4/6 bant oranında

parlak pikseller olarak görünüp kil mineralleri ile ilişkilidir (Şekil 3C ve Şekil 4C). Renkli bileşik görüntüde mavi/lacivert renk sağlıklı bitki örtüsü (ekili alanlar) işaret etmektedir (Şekil 3G ve Şekil 4G).

EXTENDED SUMMARY

The study area around the towns of Hamurcu and Başdere is located in the W-SW part of Kayseri province in central Anatolia (Turkey) (Figure 1). The Hamurcu and Başdere areas, which resemble calderas, lie within the NE-SW-trending Cappadocia Volcanic Terrain (CVT) in the northern part of the Kayseri pull-apart basin. (Ak et al., 2015). The ages of the andesitic volcanism in Tekkedağ (Başdere) and Hamurcu indicate the upper and middle-upper Miocene periods, respectively (Dönmez et al., 2003).

Satellite images provide a practical and cost-effective way of delineating different kinds of rocks. The ASTER multispectral sensor measures reflected radiation in three VNIR bands, six SWIR bands, and five TIR bands with a spatial resolution of 15m, 30m and 90m, respectively (Fujisada, 1995). The study area is underlain by a crystalline massif known as the Central Anatolian Crystalline Complex (CACC) which is a part of the Anatolide platform (Delibaş and Genç, 2012). The CACC is composed of a metamorphic core cut by late Cretaceous granitoids of various origin during and subsequent to the closure of the Neotethyan oceanic plate (Delibaş and Genç, 2012). While a compressional tectonic regime led to crustal shortening and the emplacement of plutons until late Cretaceous (Genç and Yürür, 2010), the metamorphic basement of the CACC was uplifted due to stretching and thinning of the crust by an extensional tectonic regime following late Cretaceous (Seyitoğlu and Scott, 1996). The CVT is a back arc basin formed because of the collision of the Eurasian and Afro-Arabian plates in a broad region during the Middle-Late Miocene

and Quaternary period (Innocenti et al., 1975; Rotstein and Kafka, 1982).

This study presents and describes two novel band ratio images (9/8, (1+4)/(2+3), 6 and (1+4)/(2+3), 8, 4/6 in RGB) for the mapping of extrusive igneous rocks using ASTER VNIR and SWIR data around the Hamurcu (Susuzdağ, Kayseri) and Başdere (Tekkedağ, Nevşehir) areas in central Anatolia, Turkey. Diagnostic Fe, Al-OH and Fe/Mg-OH absorption features pertaining to the extrusive igneous rocks in the study area were the main focus in generating band ratio images. Band ratios of (1+4)/(2+3), 4/6 and 9/8 delineate dacite domes, pyroclastic rocks and basalt/andesite, respectively. Basalt and andesite in comparison with the rest of the surrounding volcanic rocks appear as much brighter pixels in the 9/8 band ratio image (Figures 3D and 4D). While the dacite domes having high reflectance around Hamurcu can be delineated by the ferrous iron index (1+4)/(2+3) (Figure 3E), pyroclastic rocks, İncesu ignimbrite in particular, that extend in the large lowlands appear as darker tones (Figures 3C and 4C).

Hamurcu and Başdere are ideal sites for remote sensing in mapping volcanic rocks because the study region has a semi-arid terrain with good bedrock exposure and scattered and sparse vegetation cover. Note also that, to my knowledge, the rocks in the study area have not previously been mapped with remotely sensed data. Moreover, field observations in conjunction with the geological map validate the ASTER-derived lithological maps. As a result, the developed band ratio images implemented to the ASTER data proved to be a powerful tool for generating preliminary, rapid, accurate and reliable lithological maps at low cost in similar terrain at different geographic locations.

KATKI BELİRTME

Özellikle Kocaeli Üniversitesi BAP birimine bu projeyi desteklediği için teşekkür ederim. Ayrıca, arazi çalışmasına katılan doktora öğrencim Jeoloji Yüksek Mühendisi Kemal Anıl Tözün'e ve ASTER görüntüsünü ücretsiz olarak sağladığı için USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) merkezine teşekkürü bir borç bilirim.

ORCID

Aziz Özyavaş  <https://orcid.org/0000-0003-4178-2750>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Ak, S., Yumuk, O., Yıldız, H., Mengeloğlu, M., 2015. Hamurcu-(İncesu-Kayseri ve Başdere (Yeşilhisar-Kayseri) Au-Ag-Cu-Mo-Pb-Zn-As Cevherleşmesi. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 20, 85-95.
- Akçay, A.E., Dönmez, M., Türkecan, A., 2017. Sultan sazlığı havzasının (Kayseri) açılım yaşına ilişkin jeolojik veriler. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 22, 57-62.
- Amer, R., Kusky, T., Ghulam, A., 2010. Lithological mapping in the central eastern desert of Egypt using ASTER data. Journal of African Earth Sciences, 56 (2), 75-82.
- Batum, I., 1978. Nevşehir güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl yöresi volkanitlerinin jeoloji ve petrografisi. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri-Bulletin for Earth Sciences, (3) 50-69.
- Chabrilat, S., Goetz, A.F.H., Krosley, L., Olsen, H.W., 2002. Use of hyperspectral images in the identification and mapping of expansive clay soils and the role of spatial resolution. Remote Sensing of Environment, 82, 431-445.
- Clark, R.N., 1999. Spectroscopy of rocks and minerals and principles of spectroscopy (Remote sensing for the earth sciences, manual of remote sensing, Ed.: Rencz, A.N.). John Wiley and Sons, New York, 3-58.

- Delibaş, O., Genç, Y., 2012. Late Cretaceous coeval acidic and basic magmatism, Karacaali magmatic complex, central Anatolia, Turkey. *International Geology Review*, 54 (14), 1697-1720.
- Dhont, D., Chorowicz J., Yürür T., Froger J.-L., Köse O., Gündoğdu N., 1998. Emplacement of volcanic vents and geodynamics of Central Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 33-54.
- Dönmez, M., Türkecan, A., Akçay, A.E., 2003. Kayseri - Niğde - Nevşehir yöresi Tersiyer volkanitleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No:10575 Ankara, (yayımlanmamış).
- Dönmez, M., Akçay, A.E., Türkecan, A., 2005. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi. Kayseri - K34 paftası: No: 49, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını.
- Drury, S., 2001. Image interpretation in geology. Blackwell Science, Malden, MA, 304 s.
- Ercan, T., 1986. Orta, Anadolu'daki Senozoyik volkanizması. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 107, 119-140.
- Fujisada, H., 1995. Design and performance of ASTER instrument. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*, 2583, 16–25.
- Genç, Y., Yürür, T., 2010. Coeval extension and compression in Late Mesozoic–Recent thinskin extensional tectonics in central Anatolia, Turkey. *Journal of Structural Geology*, 32, 623–640.
- Göncüoğlu, M., 2010. Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Monografi Serisi: 5, Ankara, 69 s.
- Haselwimmer, C.E., Riley, T.R., Liu, J.G., 2010. Assessing the potential of multispectral remote sensing for lithological mapping on the Antarctic Peninsula: case study from eastern Adelaide Island, Graham Land, *Antarctic Science*, 22, (3), 299–318.
- Hunt, G.R., Salisbury, J.W., Lenhoff, C.J., 1974. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: IX. Basic and ultrabasic igneous rocks. *Modern Geology*, 5, 15–22.
- Idleman, L., Cosca, M.A., Heizler, M.T., Thomson, S.N., Teyssier, C., Whitney, D.L., 2014. Tectonic burial and exhumation cycles tracked by muscovite and K-feldspar $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology in a strike-slip fault zone. *Tectonophysics*, 612-613, 134-146.
- Innocenti, F., Mazzudi, R., Pasquare, G., Radicati, Brozolo F., Villari, L., 1975. The Neogene calc-alkaline volcanism of Central Anatolia: Geochronological data on Kayseri-Niğde area: *Geological Magazine*, 112, 349-360.
- Keskin, H., Dönmez, M., Akçay, A.E., 2010. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritaları, Kayseri L34 paftası, No: 141 Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Koçyiğit, A., Erol, O., 2001. A tectonic escape structure: Erciyes pull-apart basin, Kayseri, central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 14, 133–145.
- Koralay, T., Kadioğlu, Y.K., 2003. İgnimbiritlerin tavan ve taban ilişkilerini belirleyen petrografik veriler: İncesu (Kayseri) ignimbiriti. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 18 (1), 43-54.
- Koralay, T., 2006. İncesu ignimbiritinin (Kayseri) Jeolojisi, Petrolojisi ve Ayırtman Özellikleri. Ankara Üniversitesi, Doktora Tezi., 302 s., (yayımlanmamış).
- Le Pennec, J.L., Bourdier, J.L., Froger, J.L., Temel, A., Camus, G., Gourgaud, A., 1994. Neogene Ignimbrites of the Nevşehir plateau (Central Turkey): stratigraphy, distribution and source constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63 (1-2), 59-87.
- Le Pennec, J.L., Temel, A., Froger, J.L., Şen, Ş., Gourgaud, A., Bourdier, J.L., 2005. Stratigraphy

- and age of the Cappadocia ignimbrites, Turkey reconciling field constraints with paleontologic, radiochronologic, geochemical and paleomagnetic data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 141, 45-64.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W., Chipman, J., 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 5. ed. Wiley India Pvt. Limited, 763 s.
- Mars, J.C., 2010. VINR-SWIR and TIR remote sensing of porphyry copper deposits, (Porphyry Copper Deposit Model, Ed.: John, D.A.). *Scientific Investigations Report*, 5070-B, 38–50.
- Mars, J.C., Rowan, L.C., 2010. Spectral Assessment of New ASTER SWIR Surface Reflectance Data Products for Spectroscopic Mapping of Rocks and Minerals. *Remote Sensing of Environment*, 114, 2011–2025.
- Pasquare, G., 1968. Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia. *Accademia nazionale dei Lincei*, 8 (9), 53–204.
- Pasquare, G., Poli, S., Vezzoli, L., Zanchi, A., 1988. Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 146, 217–230.
- Pour A.M., Hashim M., 2012. The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposit. *Ore Geology Reviews*, 44, 1-9.
- Rajendran, S., Nasir, S., 2017. Characterization of ASTER spectral bands for mapping of alteration zones of volcanogenic massive sulphide deposits. *Ore Geology Reviews*, 88, 317–335.
- Rockwell, B.W., 2012. Description and Validation of an Automated Methodology for Mapping Mineralogy, Vegetation, and Hydrothermal Alteration Type from ASTER Satellite Imagery with Examples from the San Juan Mountains, Colorado: *Scientific Investigations Map* 3190.
- Rotstein Y., Kafka A.L., 1982. Seismotectonics of the southern boundary of Anatolia, Eastern Mediterranean region: subduction, collision and arc jumping *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 87 (B9), 7694–7706.
- Rowan, L.C., Mars, J.C., 2003. Lithologic Mapping in the Mountain Pass, California Area Using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Data. *Remote Sensing of Environment*, 84, 350–366.
- Schumacher, R., Keller, J., Bayhan, H., 1990. Depositional characteristics of ignimbrites in Cappadocia, Central Anatolia, Turkey. *Proceedings of IESCA Congress*. (Ed. Savaşçın, Y., Eronat, H.A.), 2, 435-449.
- Schumacher, U.M., Schumacher, R., Götte-Viereck, G.L., Lepetit, P., 2004. Areal Distribution and Bulk Rock Density Variations of the Welded İncesu Ignimbrite, Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13 (3), 249-267.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C., 1996. The cause of N–S extensional tectonics in western Turkey: tectonic escape vs back-arc spreading vs orogenic collapse. *Journal of Geodynamics*, 22, 145-153.
- Tommaso, I.M., Rubinstein, N., 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina. *Ore Geology Reviews*, 32, 275–290.
- Toprak, V., 1998. Vent distribution and its relation to regional tectonics, Cappadocia Volcanics, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1-4), 55-67.
- Toprak, V., Keller, J., Schumacher, R., 1994. Volcano tectonic features of the Cappadocian volcanic province. *International Volcanological Congress, IAVCEI'94, Excursion Guide*. Ankara.
- Türkecan, A., Dönmez, M., Akçay, A., 2003. Kayseri-Niğde-Nevşehir Yöresi Tersiyer Volkanitleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor no: 10575. (yayımlanmamış).

Yamaguchi, Y., Naito, C., 2003. Spectral Indices for Lithologic Discrimination and Mapping by Using the ASTER SWIR Bands. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 4311–4323.

Zhou, K., Wang, S., 2017. Spectral properties of weathered and fresh rock surfaces in the Xiemisitai metallogenic belt, NW Xinjiang, China. *Open Geosciences*, 9, 322–339.



TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ YAZIM KURALLARI

Yazıların Hazırlanması

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

Makale Sunum Süreci ve Etik Bildirimi

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

Yazılar aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır:

- (a) Başlık (Türkçe ve İngilizce)
- (b) Yazar Adları (koyu ve baş harfleri büyük harfle) ve adresleri (italik ve küçük harfle) ile başvurulacak yazarın e-posta adresi
- (c) Öz (Türkçe ve İngilizce)
- (d) Anahtar Kelimeler (Türkçe ve İngilizce)
- (e) Giriş (amaç, kapsam ve yöntem)
- (f) Ana metin (kullanılan yöntemler, çalışılan malzemeler, tanımlamalar, analizler vd)

- (g) Tartışma ve Sonuçlar veya Tartışma Önerileri
- (h) Extended Summary / Genişletilmiş Özet
- (i) Katkı Belirtme
- (j) Kaynaklar
- (k) Çizelgeler
- (l) Şekiller Dizini
- (m) Şekiller
- (n) Levhalar (var ise)

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

Başlıklar şu şekilde olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

KATKI BELİRTME

KAYNAKLAR

Kapak Sayfası

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır:

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

Başlık ve Yazarlar

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

Yazarlara ilişkin bilgi ise aşağıdaki örneklere uygun olarak verilmelidir.

Ahmet Ahmetoğlu

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği
Bölümü, Tandoğan 06100 Ankara

A. Hüsni Hüsniöğlü

MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etütler Dairesi, 06520 Ankara
(e-posta:husnu56@mta.gov.tr)

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 Özden sonra “Abstract” (İtalik) yer almalı, İngilizce yazılarda ise italik yazılmış Türkçe Öz Abstract’ı izlemelidir.

Anahtar Kelimeler

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

EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

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

KATKI BELİRTME

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

DEĞİNİLECEK BELGELER (KAYNAKLAR BÖLÜMÜ)

Aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır.

A. Süreli yayınlar:

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin başlığı. Süreli yayının/derginin adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), sayfa numaraları.

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

B. Bildiriler:

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 numaraları.

Ünal, E., Özkan, İ., Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses.

ISRM Symposium: Eurock'92 – Rock Characterization, Chester, UK., 14-17 September 1992, J. A. Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.

C. Kitaplar:

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın adı (ilk harfleri Büyük). Yayınevi, Basıldığı Şehrin Adı, sayfa sayısı.
Goodman, R.E., 1998. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, New York, 562 s.
Ketin, İ., Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı 869, 520 s.

D. Kitapta Bölüm ise:

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bölüm Adı, (Kitap adı, Editör(ler):). Kitap yayınevi, basıldığı şehrin adı, Bölüme ait sayfa nolar.
Altunel, E., D'Andria, F., 2019. Pamukkale Travertines: A Natural and Cultural Monument in the World Heritage List (Landscapes and Landformes of Turkey, Eds.: Kuzucuoğlu, C., Çiner A., Kazancı N.). Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, 219-229.

E. Raporlar ve Tezler:

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya tezin başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa), Doktora veya Yüksek Lisans tezi, sayfa sayısı, (yayımlanıp yayımlanmadığı).
Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji rezerv ön raporu. MTA Derleme No: 6234, 17 s., (yayımlanmamış).
Sönmez, H., 1996. TKİ. ELİ Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99 s., (yayımlanmamış).

F. Kişisel Görüşme:

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

G. İnternette İndirilen Bilgiler:

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

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; Id, x2). 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*10-3). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca⁺⁺ ve CO₃⁻ yerine Ca(2+) ve CO₃(2-) tercih

edilmelidir. Metinde eşitliklere “eşitlik (1)” şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekiyorsa, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

Çizelgeler

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

Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak “Şekil” başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalı, ayrıca şekiller küçültülüp büyütülebilecek halde sunulmalıdır. Şekil açıklamaları; şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya yazılarak “Şekiller Dizini” başlığıyla verilmeli, ayrıca “Şekil 1” olarak başlamalıdır. Çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe, hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Ayrı sayfalara bastırılmış olan şekiller, çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15,8 cm (Genişlik) x 22,5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin Dergi'nin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir. Özellikle haritalar, arazi ile ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çubuk ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun olduğu takdirde, ulusal grid veya enlem/boylam değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları, şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yer almalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda (örneğin; Şekil 5a ve 5b) a,b,c vb. gibi tek bir şekle ait çizimler veya fotoğraflar, ayrı sayfalarda basılması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. Şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen grafiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Gölgeleme belirgin, fotoğraflar siyah-beyaz ve iyi bir kontrasta sahip olmalıdır. Tüm şekiller, Şekil 1 veya Şekil 1 ve 2 (birden fazla şekle değiniliyorsa) gibi ve metinde anıldıkları sırayla numaralandırılmalıdır. Bir dizi fosil fotoğraflarını içeren şekiller levha olarak değerlendirilmelidir. Levha sayısı mümkün olduğunca az tutulmalıdır. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem de İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

MAKALELERİN EDITÖRLÜĞE GÖNDERİLMESİ

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

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ EDITÖRÜ

Prof. Dr. Erdiñ YİĞİTBAŞ

Tel: 286 2180018-2130

e-posta: eyigitbas@comu.edu.tr

YAYIMA KABUL EDİLEN MAKALELERİN SUNUMU

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

PROVA BASKILAR

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

TELİF HAKLARI

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



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. Paper should be original and comprise previously unpublished research, interpretations, or synthesis of two, or technical notes. Submission implies that the manuscript is not currently under consideration for publication elsewhere.

Submission Process and Ethical Statement

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

Manuscripts should generally be structured as follows:

- (a) Title (English and Turkish)
- (b) Names of authors (bold and in capital), their affiliations (italic and lower-case) and the name and e-mail address of the corresponding author.
- (c) Abstract (English and Turkish)
- (d) Key words (English and Turkish)
- (e) Introduction (aim, content and methodology)
- (f) Main text (methods, material studied, descriptions, analyses etc.)

- (g) Results and Discussion or Conclusions and Recommendations
- (h) Extended Summary / Genişletilmiş Özet
- (i) Acknowledgements (if necessary)
- (j) References
- (k) Tables
- (l) List of figure captions
- (m) Figures
- (n) Plates (if any)

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

Examples for headings:

ABSTRACT

INTRODUCTION

PRIMARY HEADING

Primary Sub-Heading

Secondary sub-heading

Tertiary sub-heading

CONCLUSIONS

EXTENDED SUMMARY

ANCKNOWLEDGEMENTS

REFERENCES

Cover Page

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

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

Title and Authors

The title of the paper should unambiguously reflect its content. If the paper is written in Turkish, the Turkish title (in bold-face type and first letter of the words capital) should be followed by the English title (italic and first letter of the words capital). If the paper is in English, the English title should appear before the Turkish title in the style mentioned above. Authors should provide their Orcid ID which can be obtained from orcid.org website.

The information related with authors should be given as follow:

Ahmet Ahmetoğlu Ankara University, Engineering Faculty, Geological Engineering
Department Tandoğan 06100 Ankara

A. Hüsnu Hüsnuođlu MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdler Dairesi, 06520 Ankara
(e-posta: husnu56@mta.gov.tr)

ABSTRACT

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

Key Words

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

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET / EXTENDED SUMMARY

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

ACKNOWLEDGEMENTS

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

REFERENCES

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

A. Journals:

Author(s), Date. Title of paper. Full Name of Journal, Vol. (No), pages.

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

B. Proceedings and Abstracts:

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

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

C. Books:

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

Goodman, R.E., 1998. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, New York, 562 p.

Ketin, İ., Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı 869, 520 s.

D. Chapter in book:

Author(s), Date. Chapter Name, (Name of Book, Editor(s):) Name and Location of Publisher, Page numbers of the chapter.

Altunel, E., D'Andria, F. 2019. Pamukkale Travertines: A Natural and Cultural Monument in the World Heritage List (Landscapes and Landforms of Turkey, Eds.: Kuzucuoğlu, C., Çiner A., Kazancı N.). Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, 219-229.

E. Unpublished Reports and Thesis:

Author(s), Date. Title of report or thesis. Name of the Organization or Institution , Report No. (if any), PhD or Msc Thesis, total pages, (published or unpublished).

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

Beccalotto L., 2004. Geology, Correlations and Geodynamic Evolution of the Biga Peninsula, Northwest Turkey. University of Lousanne, PhD Dissertation, 187 p. (Unpublished)

F. Personal Communications:

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

G. Information Downloaded from the Internet

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

ERD (Earthquake Research Department of Turkey), 2005. <http://www.gov.tr>, 3 April 2005.

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 is the shear strength, c is cohesion, σ is normal stress and, ϕ is internal friction angle.” Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller character (e.g. I_d, 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 Ca^{2+} and CO_3^{2-} instead of Ca^{++} and CO_3^{--} . In the text, equations should be referred to as equation (1). Computer program listings, if appropriate, must be very clear in an Appendix.

Tables

Tables with their titles should not exceed the printed area of the page (15.8 cm (wide) x 22.5 cm (deep)) and be numbered consecutively. Both Turkish and English titles should appear at the top of a table (do not print table captions on a separate sheet). If the manuscript is written in Turkish, English title in italics should follow the Turkish title. For manuscripts in English, a Turkish title should appear below the English title in italics. They should begin "Table 1." etc. Tables should be referred to as Table 1 or Tables 1 and 2 (if more than one table is referred to). Tables can be written in a font size smaller than that of the text (10 or 11 point). Tables should be arranged to fit single column (7.3 cm wide) or double column (15.8 cm wide). No vertical rules should be used. Horizontal rules should only be used at the top and bottom of the tables, and to separate headings and numbers listed in the tables (Please check the previous issues of the Journal). Tables should not duplicate results presented elsewhere in manuscript (e.g. in graphs). Each table should be separately printed and appear after the text (after references). All abbreviations and symbols must be identified with smaller character underneath the tables (e.g. c: uniaxial compressive strength, etc).

Illustrations

All illustrations, whether diagrams, charts and photographs, should be of high quality, referred to as "Figures" and be numbered consecutively as they appear in the text. They must be originals. The number of the figure should be given at top on the right-hand side of the paper. Illustrations should be provided in camera-ready form, suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Figure captions should be supplied on a separate sheet and should begin "Figure 1." etc. As with the rules given for tables, figure captions should also be given both in Turkish and English. All illustrations should be given with a list of figure captions. The maximum printed size of illustrations is 15.8 cm (wide) x 22.5 cm (deep) together with figure captions. It is recommended that all illustrations should be designed with the Journal's single-column or two-column layout in mind, and where possible, illustrations should be designed for a single column. Illustrations, particularly maps, field sketches and photographs should have a metric bar scale rather than magnification factors. All maps should have a north mark. Regional maps may include National Grid or latitude/longitude number where appropriate. Map keys should be given on the figure, not in the figure caption.

Photographs, line drawings, or combinations may be grouped as figure parts (a), (b), etc. It is preferred that these are mounted. Letters or numerals should not be less than 1 mm after reduction. Avoid fine shading and tones, particularly from computer graphics packages. Shading should be distinct. Photographs must be black and white and sharp, and exhibit good contrast.

All illustrations must be numbered in the order in which they are referred to and discussed in the text as Figure 1 or Figure 1 and 2 (if more than one figures is referred to). Illustrations consisting of a set of fossil photographs should be given as "Plates" and mounted in the desired layout. The number of plates should be kept to a minimum. Explanations of plates should be given in both Turkish and English on the same page.

SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Papers should be submitted electronically through web site DergiPark Academics (dergipark.gov.tr/tjb)

EDITOR IN-CHIEF

Prof. Dr. Erdinç YİĞİTBAŞ

Tel: 286 2180018-2130

e-mail: eyigitbas@comu.edu.tr

SUBMITTING ARTICLES ADMITTED TO PUBLICATION

In cases where authors' manuscripts are admitted to publication, authors should send revised final copies of their manuscripts to Editor through the DergiPark System. Manuscripts should be issued in *DOCX format. All images, should be issued in Corel Draw. Besides, the resolution of the figures should not be less than 300 dpi. Both drawing (CDR) and image (JPG) files must be submitted through the DergiPark System.

PROOFING

Proofing of articles are sent to Reference Author to check for typographical errors and misspelling. Revisions in proofing are limited to misspelling and any amendments and revisions by authors that may alter article in a way different than its final version are not acceptable. Proofing should be sent to editor within at latest three days after receipt by authors. Delayed revisions cannot be guaranteed for printing and therefore, authors are strictly recommended to precisely inspect proofing prior to sending.

COPYRIGHT

The author or corresponding author on behalf of all authors (for papers with multiple authors) must sign the "Copyright Transfer" agreement before the article can be published. This transfer agreement enables the Chamber of Geological Engineers to protect the copyrighted material for the authors, but does not relinquish the authors' proprietary rights. The Copyright Transfer form should be sent to the Editor as soon as possible. Manuscripts accepted for publication will not be sent to print until this form is received by the Editor.

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2020 Cilt 63 Sayı 2
April 2020 Volume 63 Issue 2

Bekir Levent Mesci, Halil Gürsoy, Bassam Ghaleb, Orhan Tatar

An Extensional Fracture Acting as Hot Water Source for Travertine Deposition on the North Anatolian Fault Zone, Turkey: the Reşadiye Fissure-Ridge

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda Traverten Çökeliminde Sıcak Su Kaynağı Olarak Görev Yapan

Bir Açılma Çatlağı: Reşadiye Çatlak Sirtı 145

Fuat Şaroğlu, Bahadır Güler

Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın Güncel Deformasyonu:

Batıya Doğru Kaçıştan Kaynaklanan Blok Hareketleri

Recent Deformation of the Western Anatolia Tectonic Wedge: Block Motions Caused by Escape to the West.. 161

Mustafa Açlan, Yusuf Altun

Çarpışma Sonrası Pliyo-Kuvaterner Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) Volkaniklerinin Jeokimyasal Özellikleri ve Magma Kaynak Bölge Karakteristikleri, Doğu Anadolu, Türkiye

Geochemical Features and Magma Source Regional Characteristics of the Post-Collisional Plio-Quaternary

Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) Volcanics, Eastern Anatolia, Turkey..... 195

Maan H. Abdullah Al-Majid

Porosity and Density Evaluation of Fatha-Hartha Interval in East Baghdad Oil Field Using Well Log Data

Doğu Bağdat Petrol Sahası'nda Fatha-Hartha Aralığındaki İstifin Kuyu Logu Verisi Kullanılarak Porozite ve

Yoğunluk Değerlendirmesi..... 215

Aziz Özyavaş

Susuzdağ ve Tekkedağ (Kapadokya-Türkiye) Çevresindeki Volkanik Kayaçların

ASTER Görüntüsü Kullanılarak Haritalanması

Mapping of Volcanic Rocks Around Susuzdağ and Tekkedağ (Cappadocia-Turkey) Using ASTER image 225

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, Asos İndeks ve
ULAKBİM TR Dizin Veri Tabanlarında yer almaktadır.

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

Emerging Sources Citation Index (ESCI), Georef, Geotitles, Geoscience Documentation,
Geo Archive, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, EBSCO, Asos İndeks and ULAKBİM TR Dizin Databases.

Yazışma Adresi

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