

# TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ

*Geological Bulletin of Turkey*

Nisan 2018 Cilt 61 Sayı 2

ISSN 1016-9164

*April 2018 Volume 61 Issue 2*



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

TMMOB  
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
Chamber of Geological Engineers of Turkey

**YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD**

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

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

**Yayın Kurulu / Publication Board**

**Editör / Editor**

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

**Yardımcı Editör / Associate Editor**

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

**İngilizce Editörü / English Editor**

Margaret SÖNMEZ

**Editör Kurulu / Editorial Board**

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

**Yazışma Adresi**

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

Yayın Türü	: Yaygın Süreli Yayın
Yayın Şekli	: 4 Aylık Türkçe - İngilizce
Yayın Sahibi	: TMMOB JMO Adına Hüseyin ALAN
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü	: Hüseyin ALAN
Yayın 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	: Temmuz 2018
Baskı Adedi	: 500

**Corresponding Address**

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

# TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

*Geological Bulletin of Turkey*

Nisan 2018 Cilt 61 Sayı 2  
April 2018 Volume 61 Issue 2

ISSN 1016-9164

## İÇİNDEKİLER CONTENTS

- Gönenç Göçmengil, Zekiye Karacık , Ş. Can Genç**  
**Volcano Stratigraphic Investigation of the Post-Collisional Middle Eocene Magmatism Around İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (NE, Turkey)**  
*İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu (KD, Türkiye) Boyunca Gelişen Çarpışma Sonrası Orta Eosen Magmatizmasının Volkano-Stratigrafik Olarak Araştırılması ..... 131*
- Yunus Levent Ekinci**  
**Application of Enhanced Local Wave Number Technique to the Total Field Magnetic Anomalies for Computing Model Parameters of Magnetized Geological Structures**  
*Manyetize Olmuş Jeolojik Yapıların Model Parametrelerinin Belirlenebilmesi için Gelişmiş Lokal Dalga Sayısı Tekniğinin Toplam Alan Manyetik Anomalilere Uygulanması..... 163*
- Ayten Çalık, Sevinç Kapan, R. Cüneyt Erenoğlu, Oya Erenoğlu, Cumali Yaşar, Emin Uğur Uluggerli**  
**Biga Yarımadasında Jeodeğerler ve Jeoturizm Potansiyeli**  
*Geoalue and Geoturism Potential of Biga Peninsula..... 175*
- Mehmet Furkan Şener**  
**Akhüyük (Konya) Jeotermal Alanındaki Hidrotermal Akışkan Dolaşımı ve Traverten Oluşum Mekanizması, Orta Anadolu, Türkiye**  
*Hydrothermal Fluid Circulation and Travertine Precipitation of Akhüyük (Konya) Geothermal Field, Central Anatolia, Turkey ..... 193*
- Taylan Sançar**  
**Yüksekova Havzası'nın (Güneydoğu Türkiye) Yükselim Hızı Tarihçesi'nin Araştırılması**  
*Investigation of Uplift Rate History of the Yüksekova Basin (Southeast Turkey) ..... 207*

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

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

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





## **Volcano Stratigraphic Investigation of the Post-Collisional Middle Eocene Magmatism Around İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (NE, Turkey)**

*İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu (KD, Türkiye) Boyunca Gelişen Çarpışma Sonrası Orta Eosen Magmatizmasının Volkano-Stratigrafik Olarak Araştırılması*

**Gönenç Göcmengil\*<sup>1</sup> , Zekiye Karacık<sup>1</sup>, Ş. Can Genç<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Geological Engineering Department, Faculty of Mines, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey. 34469*

Geliş/Received : 21.11.2017 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 16.01.2018 • Kabul/Accepted : 16.03.2018 • Baskı/Printed : 19.03.2018

*Araştırma Makalesi/Research Article*

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

**Abstract:** The obliteration of the Neo-Tethyan Ocean along the northern part of Turkey leads the development of the İzmir-Ankara-Erzincan suture zone (IAESZ). After the suturing stage; extension and magmatism concomitantly developed on the both sides and along the IAESZ during the middle Eocene. During this stage, the areas confining to Almus, Yıldızeli, and Yıldızdağ regions have experienced a severe magmatic activity. Middle Eocene magmatism in Almus and Yıldızeli areas are represented by the volcano-sedimentary successions. Besides, in Yıldızdağ region, gabbroic and dioritic intrusives are the dominant manifestations of magmatism. The volcano-sedimentary successions from Almus and Yıldızeli areas represented by shallow marine sedimentary units at the lower parts and lava flows and volcanoclastic units at the middle to upper parts. Eight volcano-sedimentary sections from Almus and Yıldızeli measured to demonstrate the evolution of the magmatic units developed coevally along the both sides of the suture zone. In both regions; three different volcanic episodes are differentiated based on stratigraphy. First episode includes amphibole-basaltic andesite, andesite, and dacite. Second episode contains basalt and pyroxene-basaltic andesite lavas and third episode represented by trachyte and trachyandesite dikes and stocks. The field data from the all regions demonstrated that middle Eocene magmatic units along the post-collision zone concomitantly developed in a wide area and triggering of the magmatism controlled by the region-scale delamination and/or lithospheric removal processes.

**Keywords:** İzmir-Ankara-Erzincan suture zone, middle Eocene, post-collisional magmatism, Volcano-stratigraphy.

**Öz:** *Neo-Tetis Okyanusunun, Türkiye'nin kuzey kesiminde yitimi sonucunda İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu (IAESZ) gelişmiştir. Suturlaşma sürecinin bitmesi sonrasında, IAESZ'nin her iki tarafı ve üzerinde gerilme ve magmatizma eş zamanlı olarak gelişmiştir. Bu dönem boyunca, Almus, Yıldızeli ve Yıldızdağ bölgelerinde yoğun magmatik aktivite gelişmiştir. Almus ve Yıldızeli bölgesindeki Orta Eosen magmatizması volkano-sedimantar birimler ile temsil edilmektedir. Buna karşın Yıldızdağ bölgesindeki gabroyik ve diyoritik kayalar magmatizmanın genel unsurlarıdır. Almus ve Yıldızeli bölgelerindeki volkano-sedimantar kayalar alt kesimlerinde sığ denizel sedimantar kayalar, orta ve üst kesimlerinde ise lav akıntıları ve volkanoklastik birimler ile temsil edilmektedir. Almus ve Yıldızeli bölgelerindeki eş zamanlı olarak gelişen magmatik birimlerin evrimini anlamak adına sekiz adet volkano-sedimantar istif ölçülmüştür. Her iki bölgede, stratigrafiye bağlı olarak üç farklı volkanik dönem ayırtlanmıştır. İlk evre amfibollü bazaltik andezit, andezit ve dasitlerden oluşur. İkinci evre bazalt ve piroksenli bazaltik andezitler ve üçüncü evre ise trakit ve trakiandezit dayk ve stoklarından meydana gelmektedir. Bütün bölgelerden elde edilen arazi verisi sonucunda orta-Eosen magmatik birimlerinin eş zamanlı olarak çarpışma sonrası dönemde geliştiği ve magmatizmayı tetikleyen olayın bölgesel ölçekte bir delaminasyon veya litosferik ayrılma süreçleri ile kontrol edildiği görülmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** çarpışma sonrası magmatizma, orta Eosen, volkano-stratigrafi, İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu.

\* Correspondence/Yazışma: [gocmengil@itu.edu.tr](mailto:gocmengil@itu.edu.tr)

## INTRODUCTION

Continental collisional orogenies juxtaposed different tectonic units with distinct geological characteristics along the narrow contractional zones and developed heterogeneous crustal entities. These heterogeneous areas constitute the major weakness zones in the continental plates that can be ideal places for development of the tectonic activities, post-collisional melt generation, extraction and subsequent magmatism (Turner et al., 1992).

Despite the variable petrological processes related with the magmatism, post-collisional areas also display stratigraphic sequences which documents the building stages of complex volcanic edifices (Western Anatolia: Yılmaz et al., 2000; Dönmez et al., 2004; Karacık, 2006; Gülmez et al., 2013; Karacık et al., 2013; Ersoy et al., 2014; Eastern Anatolia: Keskin et al., 1998; Özdemir et al., 2006; Oyan et al., 2016; Tibet: Chung et al., 2005; Sulu Belt: Fan et al., 2001; NW Iran: Jahangiri, 2007). Furthermore, understanding the development of the style and facies of the post collisional volcanism and coeval intrusive units can give valuable information about the stages of development of the continental crust and evolution of post-subduction tectonic setting.

Anatolian Plate has a complex tectonic evolution which is document the obliteration of the different portions of the Tethyan Ocean, collision of the different tectonic blocks and subsequent syn to post collisional magmatism since the Paleozoic (Şengör and Yılmaz 1981; Yılmaz et al., 1997a; Okay and Tüysüz 1999). The vanishing of the Northern branch of the Neo-Tethyan ocean in Cretaceous and subsequent collision of the Pontides and Anatolide-Tauride micro-continents (together with Central Anatolian Crystalline Complex: (CACC)) in Paleocene give rise to a long and narrow suture zone called İzmir-Ankara-Erzincan (IAESZ) at the northern part of the Anatolian Plate (Şengör and Yılmaz 1981;

Okay and Tüysüz 1999) (Figure 1a). Around both sides and along this suture zone, post-collisional Eocene magmatism developed through western to eastern part of the Anatolian Plate and represented by granitoids (Harris et al., 1994; Topuz et al., 2005; Arslan and Aslan 2006; Okay and Satır 2006; Karşlı et al., 2007, 2012; Boztuğ., 2008; Karacık et al., 2008; Ustaömer et al., 2009; Altunkaynak et al., 2012; Gülmez et al., 2013; Kaygusuz and Öztürk 2015) gabbroic intrusions (Boztuğ et al., 1998; Temizel et al., 2014; Eyüboğlu et al., 2016) and calc-alkaline, mildly alkaline and shoshonitic volcanic products (Figure 1b; Peccerillo and Taylor 1975; Ercan et al., 1998; Keskin et al., 2008 and references therein; Karşlı et al., 2011, Kaygusuz et al., 2011; Aydınçakır and Şen 2013; Arslan et al., 2013 and references therein; Dokuz et al., 2013; Gülmez et al., 2013; Aslan et al., 2014; Aydınçakır, 2014; Sipahi et al., 2014; Yücel et al., 2014; Kasapoğlu et al., 2016; Temizel et al., 2016, Ersoy et al., 2017). Besides, similar units also crop out through the Balkans (Marchev et al., 2004) to Caucasus regions (Sahakyan et al., 2016).

We focus on the middle Eocene aged volcano-sedimentary units from Almus (Tokat), Yıldızeli (Sivas) and intrusive units from the Yıldızdağ (Sivas) areas to understand the development of post-collisional Eocene magmatism along the IAESZ (Figure 1b). In the literature, volcano-sedimentary units along the IAESZ collectively named as Middle Eocene Volcano Sedimentary Belt (MEVSB after Keskin et al., 2008) which are extensively studied in various regions (Keskin et al., 2008 and references therein). A few works have been done to understand the early Cenozoic evolution of these units at the aforementioned regions except geological mapping (Terlemez and Yılmaz 1980; Yılmaz, 1984; Yılmaz et al., 1997b; Mesci and Gürsoy 2002) and scarce geochemical data (Alpaslan, 2000, Koçbulut et al., 2001). Furthermore; there are only three publications trying to deduce crystallization ages of these units. A radiometric dating from Almus area basaltic



andesite gives  $45.3 \pm 3.1$  million year ages (M.a.) and  $41.8 \pm 1.3$  M.a. ages by K-Ar method for a paleomagnetic study (Platzman et al., 1994). Also a recent study in westernmost part of the Yıldızeli area postulated sporadic ages between Ar-Ar method and gives  $57.2 \pm 2$  and  $45.1 \pm 1.3$  M.a. (Akçay and Beyazpınar, 2017). On the other hand, recent publication by Göçmengil et al., (2018) display 40-41 M.a. for the trachytic lavas in Almus and Yıldızeli regions. Hence, there are very few attempts to correlate the stratigraphic evolution of the middle Eocene volcano-sedimentary suites along the southern edge of Pontides (Terlemez and Yılmaz 1980; Yılmaz et al., 1997b; Keskin et al., 2008).

On the other hand, gabbroic units along Yıldızdağ area (Okay, 1955; Yılmaz and Ercan, 1984; Boztuğ et al., 1998) are studied in terms of general geology and geochemical data, however, the main geological features of these region also still poorly constrained.

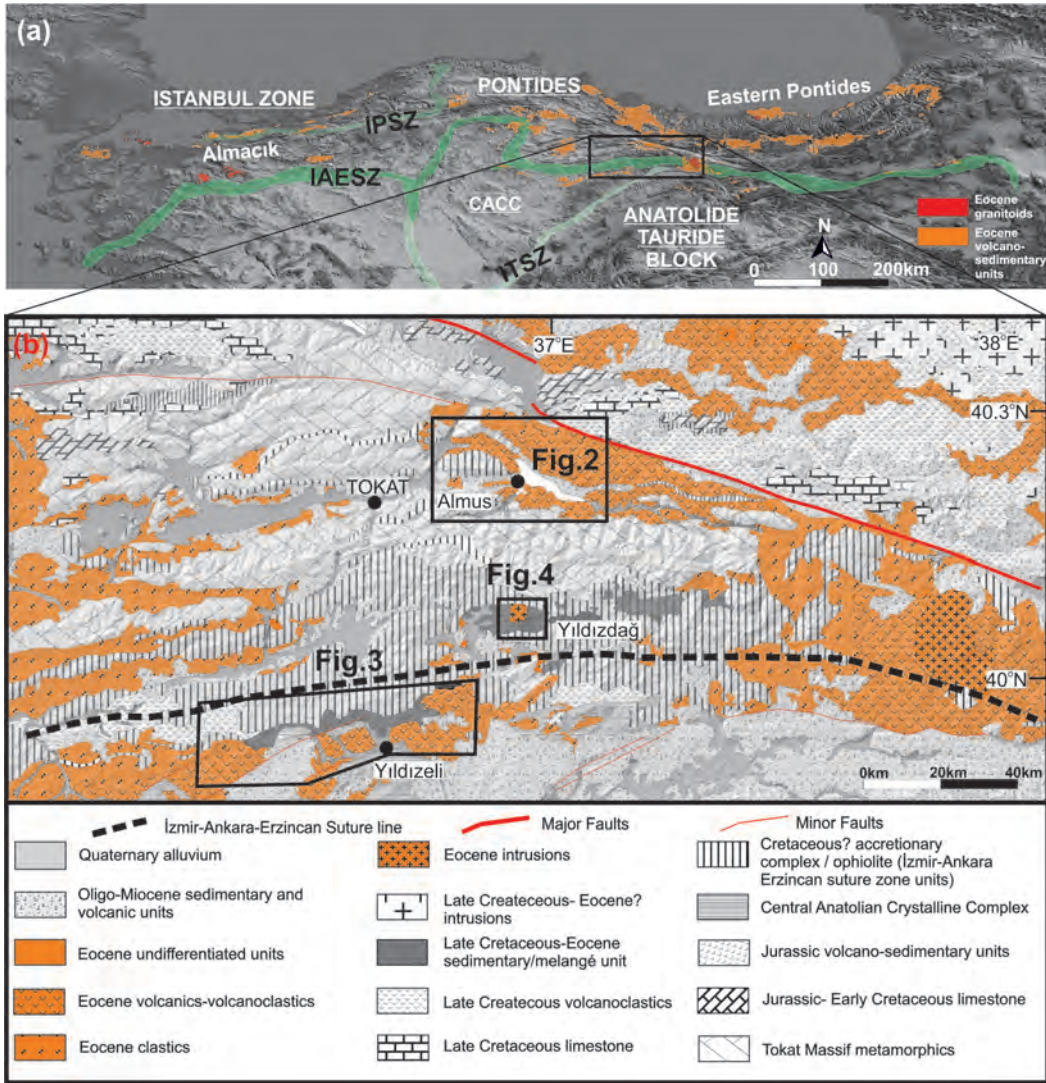
In this study; 1:25000 scale field mapping and volcano-stratigraphic studies have been used on MEVSB units and coeval intrusives to generate: (i) a temporal and lateral stratigraphic variation and correlation of the volcano-sedimentary sequences and intrusives along the Almus-Yıldızdağ and Yıldızeli regions (ii) deduce the broad geological features of the magmatism and (iii) discuss the possible tectono-magmatic processes operated at the early to middle Eocene time interval.

## **GEOLOGICAL OUTLINE**

In this section, main geological features of the basement and cover units of the three different areas will be presented according to our new geological maps along the three different areas. Detailed characteristics of the middle Eocene units in these areas will be explained more extensively at the next chapters.

### **Almus Area**

In Almus (Tokat) area, basement units consist of Paleozoic-Mesozoic Tokat Massif and Bakımlıdağ Complex units (Yılmaz, 1984; Bozkurt and Koçyiğit 1996; Özcan and Aksay 1996; Yılmaz et al., 1997b; Sümengen, 2013a, 2013b). Tokat Massif comprises low grade metamorphic units which are represented by metabasite, marble, serpentinite, mica-schist, amphibolite and scarce blueschist. Bakımlıdağ Complex made up of gabbro, serpentinite and cross cutting dolerite dikes. All these basement units are unconformably overlain by middle Eocene volcano-sedimentary successions (Bozkurt and Koçyiğit 1996; Figure 2 and Figure 5a). Neogene sedimentary units (Gökköy formation; or Almus formation according to definition of Terlemez and Yılmaz 1980) and Quaternary sedimentary successions are the youngest units in the area and unconformably overlain the older units.



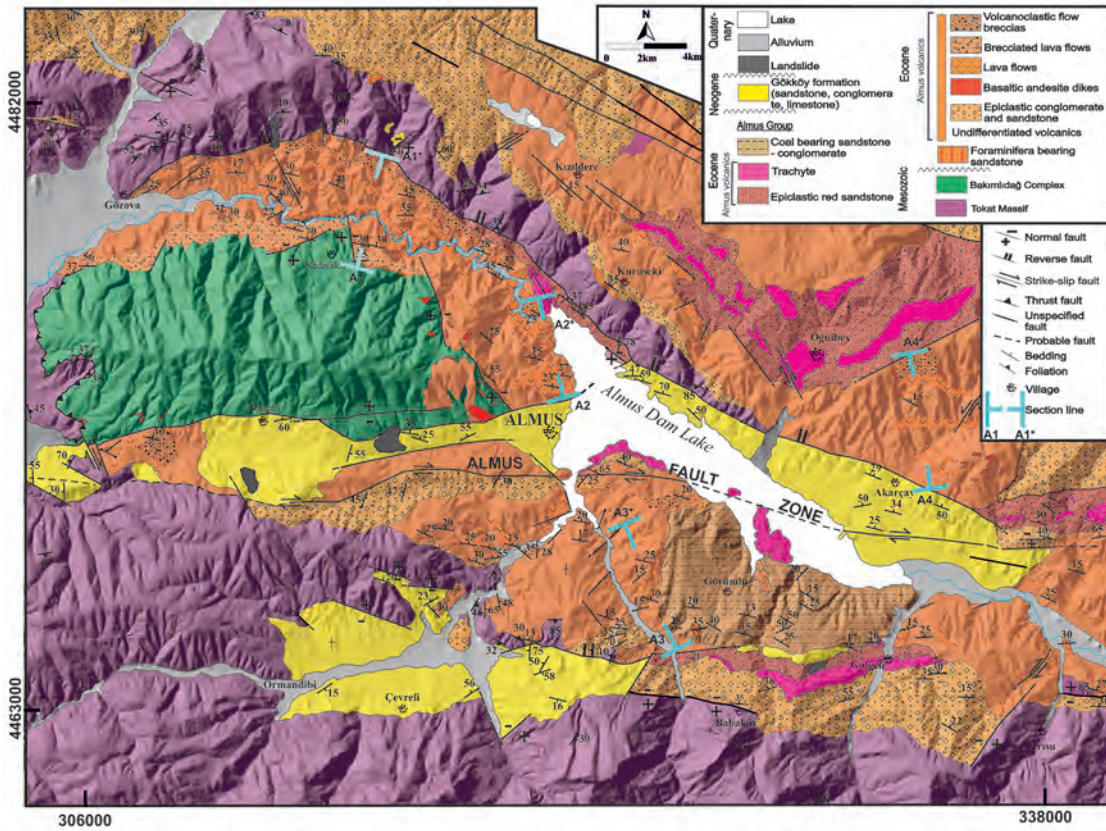
**Figure 1. a)** Geological map of the Eocene volcanic units in the northern part of the Turkey. (IPSZ: Intra-Pontide Suture Zone, IAESZ : İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone, ITSZ: Intra-Tauride Suture Zone, CACC: Central Anatolian Crystalline Complex). **b)** Simplified geological map of the NE part of the Turkey. Locations of the study areas are marked in rectangular. Both maps are simplified from the MTA (2002) geological map of Turkey.

**Şekil 1. a)** Türkiye'nin kuzey kesimlerinde yer alan Eosen yaşlı volkanik birimlerin dağılımı (IPSZ: İntra-Pontid Sütur Zonu, IAESZ: İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu, ITSZ: İntra-Torid Sütur Zonu, OAKK: Orta Anadolu Kristalen Kompleksi). **b)** Türkiye'nin KD kesiminin genelleştirilmiş jeoloji haritası. Her iki harita da MTA (2002) Türkiye Jeoloji haritasından sadeleştirilmiştir.

Almus dextral strike slip fault zone cut all the units in W-E direction (Bozkurt and Koçyiğit, 1996). The other prominent tectonic feature is a

NW-SE oriented reverse and normal faults at the northern part of the Almus town center (Figure 2).





**Figure 2.** Geological map of the Almus area and surroundings (past mapping efforts in the literature are: Bozkurt and Koçyiğit 1996; Sümengen et al., 2013a; 2013b)

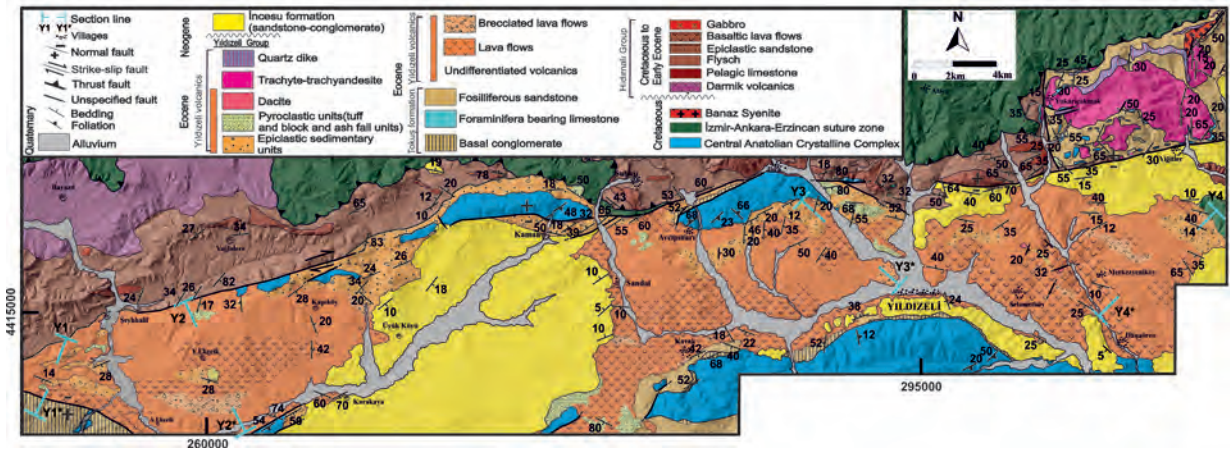
**Şekil 2.** Almus bölgesi ve çevresinin jeoloji haritası (Bölgedeki eski haritalama çalışmaları: Bozkurt ve Koçyiğit 1996; Sümengen ve diğ., 2013a; 2013b).

### Yıldızeli Area

In Yıldızeli area, basement units made up of metamorphic and magmatic units of Central Anatolian Crystalline Complex (CACC; Kırşehir Massif); IAESZ accretionary complex units and Cretaceous to Early Eocene Hıdırnalı Group units (Figure 3 and 5b; Yılmaz et al., 1997b).

CACC represented by marble, quartzite, phyllite, mica-schist and scarce garnet amphibolite together with plutonic units. CACC in the area was reported as Akdağ metamorphics (Tatar, 1977;

Gökten 1993), Yıldızeli metamorphics (Alpaslan et al., 1996) or Akdağmadeni metamorphic (Yılmaz, 1984). The age of metamorphism in the area is constrained as 68 to 77 M.a. (Alpaslan et al., 1996). Intrusive units in the CACC are represented by Banaz Syenite which is crop out at the easternmost part of the Yıldızeli region (Figure 3). The generation of the Banaz syenite is constrained by Ar-Ar method as  $68.93 \pm 2.13$  M.a.  $75.76 \pm 1.46$  M.a. by mixed biotite and amphibole separates (our own unpublished data).



**Figure 3.** Geological map of the Yıldızeli area and surroundings (past mapping efforts in the literature are: Tatar 1977; Yılmaz 1984; Koçbulut ve Tatar 2001; Mesci and Gürsoy, 2002; Akçay and Büyükpıriñç 2017 )

**Şekil 3.** Yıldızeli bölgesi ve çevresinin jeoloji haritası (bölgedeki eski haritalama çalışmaları: Tatar 1977, Yılmaz 1984; Mesci ve Gürsoy, 2002; Akçay ve Beyazpıriñç, 2017).

Cretaceous IAESZ units are represented by a accretionary complex unit consist of fault bounded blocks of metabasite, gabbro, serpentinite, amphibolite, chert, basalt, gabbro, and dolerite (Tatar, 1977; Yılmaz, 1984; Yılmaz et al, 1997a; Çörtük et al., 2016, Özkan et al., 2017). Hıdırnalı Group made up of highly deformed mixture of sandstone-shale alternation (flysch), epiclastic sandstone, basaltic lava flows and sills and scarce pyroclastic units. In addition to that; in some areas, the sedimentary package turns into a wild flysch which bears the mega blocks of chert bearing, Cretaceous red pelagic limestone (up to 1 km<sup>2</sup> surface exposure) and serpentinite (Tatar, 1977). Some parts of these units previously described as Kılıçlı Olistostrome (Yılmaz 1984; Yılmaz et al., 1995), Boğazköy formation (Yılmaz et al., 1995) and Paleogene Flysch (Tatar, 1977). There are widespread and extensively altered basaltic andesites (Darmik volcanics, Yılmaz et al., 1995) which crops out at the western portion of the Hıdırnalı Group. We interpreted this unit together with the volcanic lithologies of the Hıdırnalı Group considering their rock type and stratigraphic position. Apart from these; in the western part

of the Hıdırnalı Group, small scale (<200 meter in diameter) gabbroic/dioritic intrusion cut the sedimentary units near the northern part of the Şeyhhalil village.

The tectonic setting of the Hıdırnalı Group was interpreted as a remnant fore-arc basin which is active throughout the closure and suturing stages of the northern branch of the Neotethys Ocean (Yılmaz et al., 1997b; Keskin et al., 2008).

Similarly to Almus area, middle Eocene volcano-sedimentary units unconformably overlie the older units around the Yıldızeli area. Commonly, the basement and middle Eocene units dissected by NE-SW trending faults (Figure 3). In some areas, older and younger faults are intersecting with each other. Furthermore, IAESZ units thrust over the younger units along the northern part of the Yıldızeli area at the post-Eocene time; (Tatar, 1977, Yılmaz, 1984; Yılmaz et al., 1997b; Mesci and Gürsoy, 2002, Akçay and Beyazpıriñç, 2017) however the exact timing of thrusting is not settled. All the older units sealed by Neogene İncesu Formation and Quaternary sedimentary units.



### Yıldızdağ Area

IAESZ units which are situated between these two areas host the Hıdırnalı Group units with crosscutting intrusives. The intrusive units are made up of gabbroic intrusion, diorite dikes and stocks, namely Yıldızdağ magmatic complex (Okay, 1955; Yılmaz and Ercan 1984; Boztuğ et al., 1998, Figure 4). The basement units in the area are represented by IAESZ units, CACC and Hıdırnalı Group. All these units display tectonic

contacts with each other (Figure 4). Gabbros and dioritic dykes cut the Hıdırnalı Group units with intrusive contacts and produced contact metamorphic aureole. Neogene and younger sedimentary units (alluvium, moraine and talus deposits) seal all the older units. Based on a bulk rock geochemical data, Boztuğ et al., (1998) suggest that they are tholeiitic and calc-alkaline in character and generated in a post-collisional within plate setting.

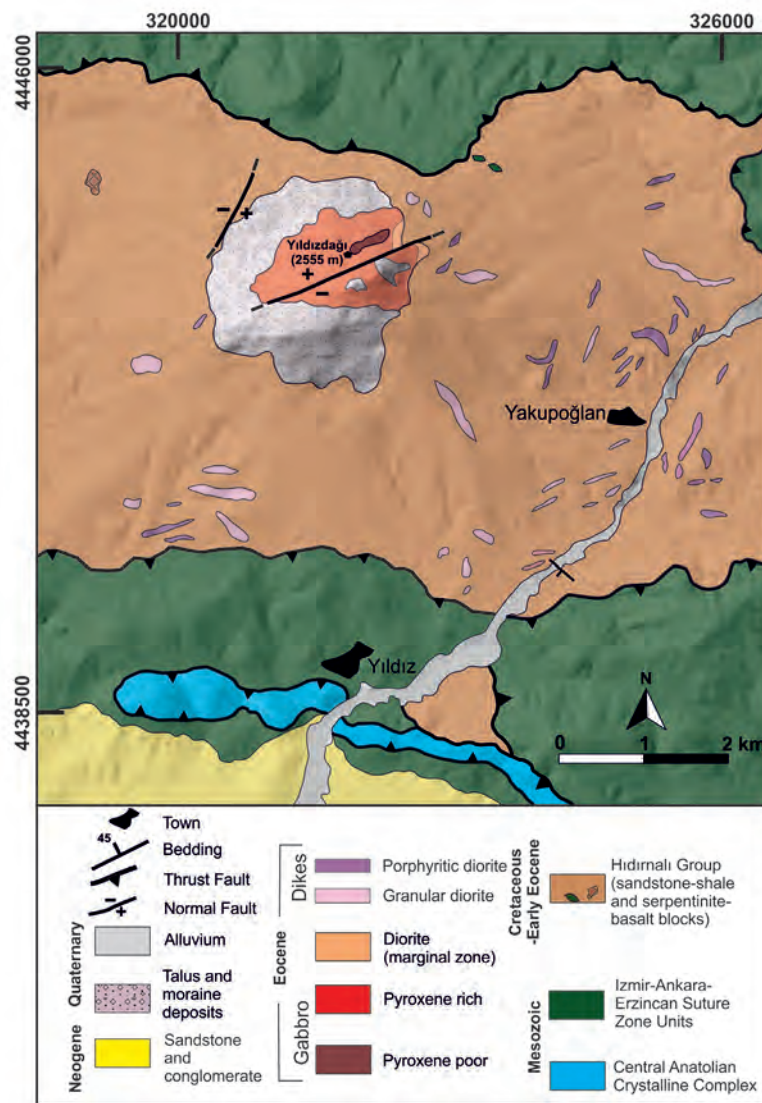


Figure 4. Geological map of Yıldızdağ magmatic complex

Şekil 4. Yıldızdağ magmatik kompleksinin jeoloji haritası

## STRATIGRAPHY OF MIDDLE EOCENE MAGMATIC UNITS

Middle Eocene magmatic units in the Almus and Yıldızeli regions are represented by lava flows in MEVSB units as mentioned above. Furthermore, intrusive units in Yıldızdağ area consist of gabbroic and dioritic intrusives.

MEVSB units crops out along and both northern and southern part of IAESZ (generally along the Pontides range) and share similar stratigraphic order (Keskin et al. 2008). At the base of the volcano-sedimentary sections there are *foraminifera* bearing sandstone, conglomerate and limestone alternation indicating the shallow marine environment. Development of the marine transgression along the MEVSB is related with the onset of extensional phase along the Pontides at this time interval (Gülmez et al., 2013, Arslan et al., 2013). This facies changed into a sub-aerial type and contains volcanic, pyroclastic and epiclastic units from the beginning of the lowermost part of the sections (Genç and Yılmaz 1997; Keskin et al., 2008; Gülmez et al., 2013). Geochemically; most of the lavas display subduction related signatures with calc-alkaline geochemical character. Also, in some areas; alkaline lava flows exposed through the uppermost part of the sections (Keskin et al., 2008 and literature therein).

In the following sections, field characteristics and stratigraphy of MEVSB units in Almus and Yıldızeli areas will be discussed under the names of Almus Group and Yıldızeli Group respectively. Furthermore the intrusive units in Yıldızdağ area will be presented as Yıldızdağ magmatic complex.

### Almus Group

The Almus Group consists of volcano-sedimentary successions and crops out along the Almus Dam Lake and its surroundings (Figure 2). Some parts of this volcano-sedimentary unit have been mapped under the name of Haydaroğlu formation

(Yılmaz, 1984), Doğanşar Formation (Terlemez and Yılmaz, 1980), Çökelikkışla formation and Kadıvakfı Limestone (Özcan and Aksay, 1996). To avoid the confusion we collectively named all these units as Almus Group.

Almus Group contains sedimentary and volcanic sequences with different thickness and variations. The volcano-sedimentary units have flat dips through the north and crops out along W-E and NW-SE directions. Sedimentary part contains basal conglomerates, fossiliferous sandstones and coal bearing sandstone with scarce conglomerates (Figure 2 and 5a). Basalt conglomerate is poorly-sorted and generally contain metamorphic (metabasites, phyllites, schists) and volcanic (andesites, basaltic andesites) pebbles and cobbles. The average sizes of the gravels are 7-8 cm in diameter. *Foraminifera* bearing sandstone has limited outcrops at the lower part of the Almus Group (Figure 2). The lava flows and concomitant epiclastic units are also intercalated laterally and vertically with the basal conglomerates from the lowermost part of the stratigraphic sections.

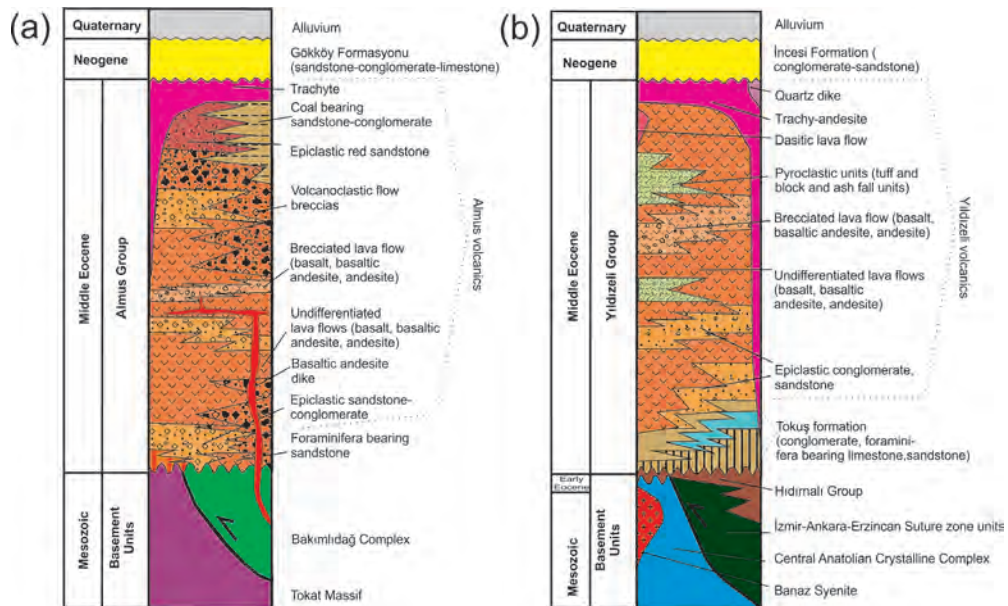
Fossiliferous sandstones are also developed at the lowermost part of the the stratigraphic sections and close to the stratigraphic contacts with the basement units. They contain piles of abundant foramifera and display steep dips due to normal faulting. Coal bearing sandstone and conglomerates crop out at the relatively upper parts of the section, and overlay conformably the Almus volcanics (Figure 5a). This unit dominantly contain medium to thin sandstone layers with thin (2 to 20 cm) coal horizons and rare conglomerate interlayers.

Almus volcanics which are constitute the major part of the Almus Group; contains lava flows, brecciated lavas, volcanoclastic flow breccias, epiclastic units together with the dikes and volcanic plugs. The terminology for describing the volcanic/volcanoclastic rocks used here are after Cas and Wright (1987). Substantial

part of the Almus volcanics are made up of thin intercalations of lava flows and brecciated lavas (Figures 6a and 6b). Furthermore, volcanoclastic flow breccias are minor in volume comparing to the other units. Aforementioned units are also randomly intercalated with each other together with epiclastic units along whole range of Almus area. The intact stratigraphic relationships of these units can be traced at the northern and northwestern part of the Almus town center, near the Almus dam lake. In these areas mappable units marked by different symbols but other parts, are grouped as “undifferentiated lava flows” in Figure 2. In order to understand the temporal and lateral variations and volcanological evolution of the area, four different stratigraphic sections have been measured and outlined briefly in the end of this section.

Lava flows are represented by basalt, basaltic andesite, andesite and rare dacite, displaying different colors due to pervasive alteration and often have flow foliation (Figure 6b) together

with columnar jointing. The thickness of the lava flows varies between 1m to 5 meters. Basalt is generally aphanitic textured and characterized by the presence of olivine + pyroxene + plagioclase phenocrysts. Basaltic andesite and andesite are the dominant lava types in the Almus volcanic unit. They display a wide range of textures such as porphyritic, microlithic and pilotaxitic. They have amphibole + pyroxene + biotite as mafic, and plagioclase as felsic mineral phase with different modal proportions. For these reasons they classified as *amphibole basaltic andesite* and *pyroxene basaltic andesite* respectively (Figure 6c). Dacites are aphanitic rocks with quartz + biotite + amphibole phenocrysts. The amphibole-bearing basaltic andesites can also found as dikes, sills and rarely plugs. They cut both the basement and the lower part of the Almus Group units (Figure 6d). The sills are common in the basement units and their width generally varies between 50 cm to 10-15 meter. The typical outcrops of these dikes can be traced along the northern part of the Almus Fault zone (Figure 2).



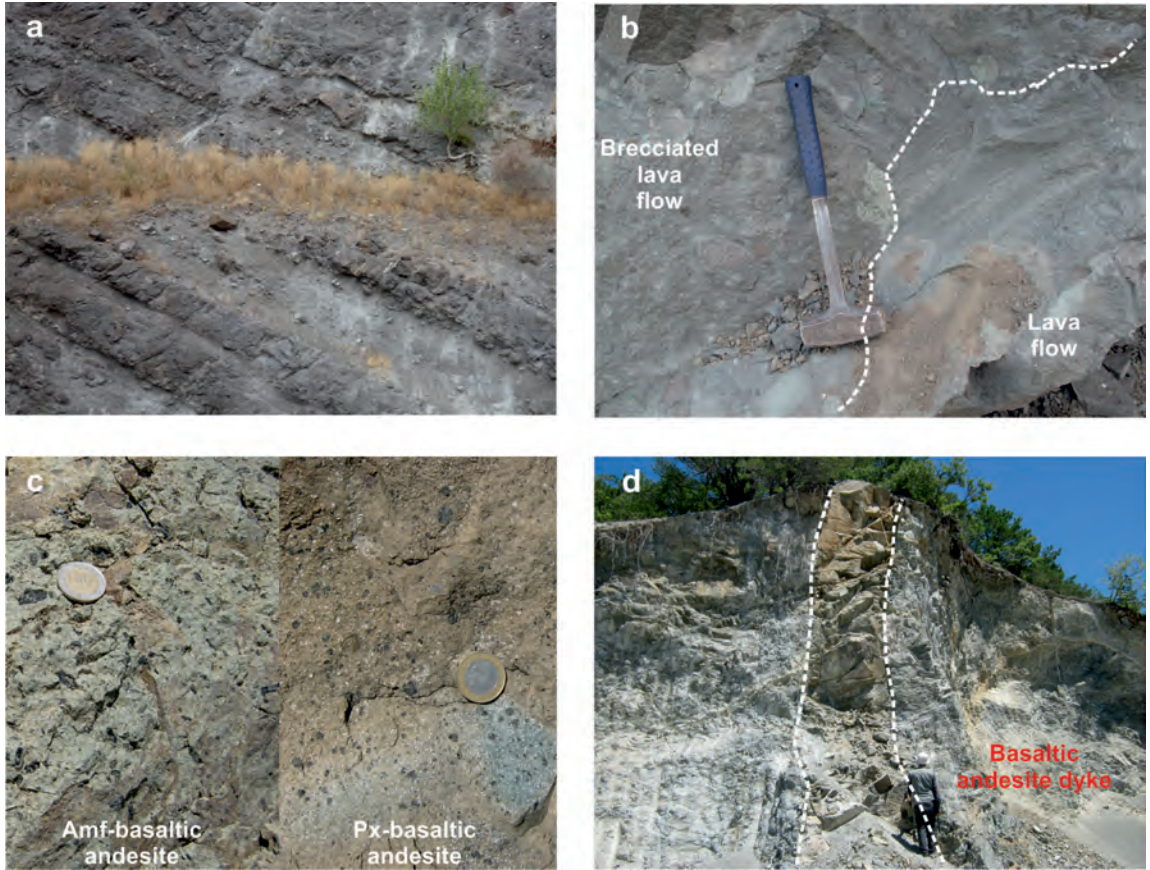
**Figure 5.** Generalized stratigraphic sections of **a)** Almus and **b)** Yıldızeli regions (modified after Göçmengil et al., 2018)

**Şekil 5.** a) Almus ve b) Yıldızeli bölgelerinin genelleştirilmiş stratigrafik kesitleri (Göçmengil ve diğ., 2018'den değiştirilmiştir)



Brecciated lava flows are corresponding to deformed angular andesite, basaltic andesitic lava blocks which are bounded by the same composition lavas (Figure 7a). Their generation controlled by the fracturing of the lava itself during the propagation of the viscous flowing (i.e. flow fragmentation, autobrecciation). They constitute the major part of the Almus volcanics and found

along whole range of Almus Group. The thickness of brecciated lava flows varies from 10-15 cm to 3 meters. The most common blocks are amphibole- and pyroxene-bearing basaltic andesites and andesite with varying sizes (20 cm to 1 meter). The matrix is basaltic andesite in composition and contains rounded, octagonal pyroxenes and plagioclase laths.



**Figure 6.** **a)** Regular stratigraphic order of lava and brecciated lava flow alternation in Almus volcanic. **b)** Magmatic foliation in lava flow and alternation of brecciated lava flow. **c)** General view of the amphibole basaltic andesite, pyroxene basaltic andesite. **d)** Basaltic andesite dike which is cut the Bakımlıdağ Complex unit.

**Şekil 6.** **a)** Almus volkaniklerinde lav ve breşik lav ardalanmasından oluşan düzenli stratigrafik seri. **b)** Breşik lav akıntısı ve magmatik foliasyon gösteren lav akıntısı ardalanması. **c)** Amfibollü bazaltik andezit ve piroksenli bazaltik andezitin genel görünümü. **d)** Bakımlıdağ Kompleksini kesen bazaltik andezit dayku.

Volcanoclastic flow breccias are corresponding to large - mega fragmented blocks with varying size ranges 10-20 cm to 3-5 meter in diameter (Figure 7b). They are generally crops out at the northern part of the Almus town center. Thicknesses of the volcanoclastic flow breccias can be up to 10-15 meter. In general, they are chaotically distributed, notwithstanding in some areas they show poorly graded-stratified portions. They are moderately heterogeneous in terms of composition by the presence of basalt, basaltic andesite and andesite blocks. The blocks are generally sub-rounded to angular in shape and matrix of the units also derived from the bulldozed fragments of the lava blocks. In some areas, there are sporadic blocks with jigsaw patterns can also be found. This can be related with a limited movement of the volcanic material from their primary position. The characteristics of the given above can be tentatively ascribed to instant movement or the collapse of a volcanic edifice as a debris flow. In the literature similar units with jigsaw patterns and heterogenic epiclastic breccia are termed as debris flow deposits or debris flow deposits spawned from debris avalanches (Bernard et al., 2009 and references therein). The presence of scattered jigsaw cracks and fits together with mixed facies characteristics indicate that the volcanoclastic flow breccias can be interpreted as re-deposited debris avalanches.

Several places along the Almus region are tentavily ascribed to eruption centres since these areas host coarse grained thick volcanoclastic flow breccias deposits. Possible eruption centers situated at the southern and western portion of the Almus town center (Figure 2).

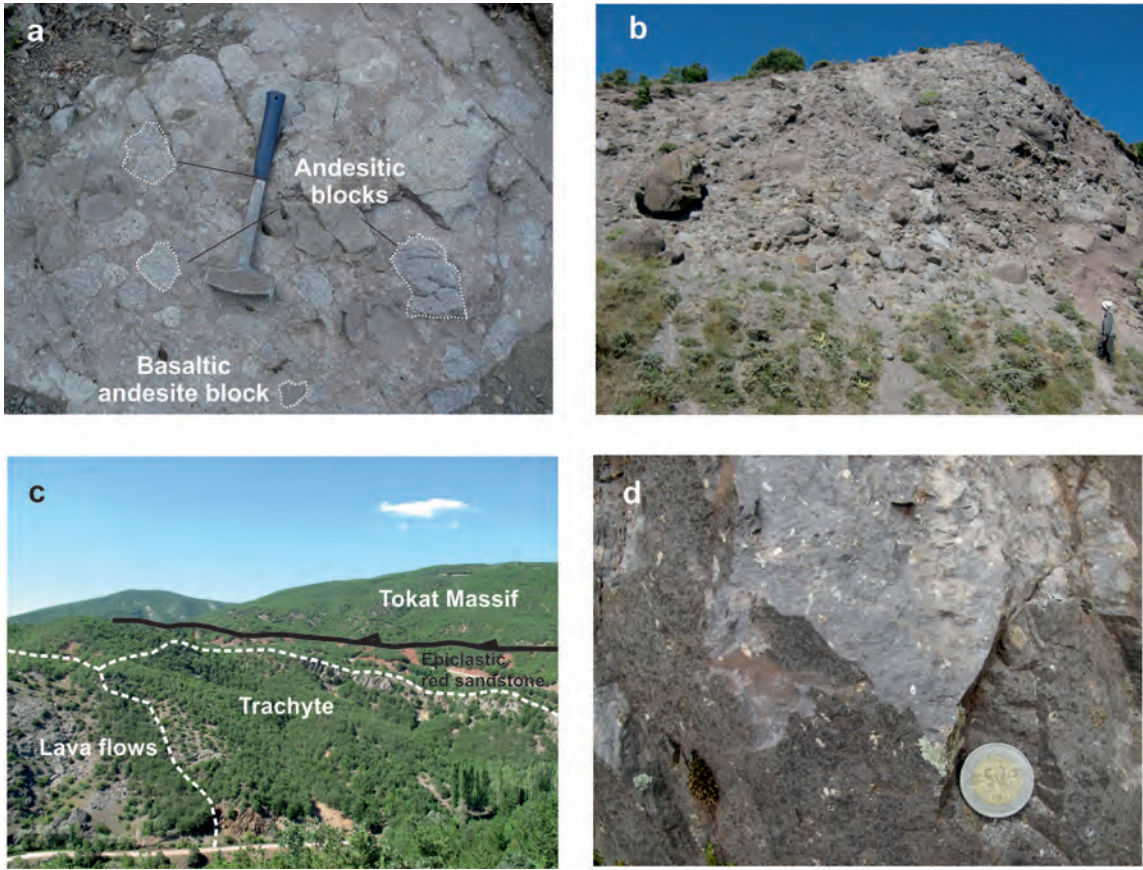
Epiclastic sedimentary units show distinct thickness (cm to 30-35 meter) and shape along the different parts of the stratigraphic sections. They are represented by sandstone and conglomerates and can be found together with concomitantly developed with lavas and brecciated lava flows. Due to extensive alteration, epiclastic units can

display different colors such as green, grey and yellow. The majority of minerals in the epiclastic rocks are pyroxene, plagioclase and volcanic fragments derived from the intercalating volcanic units. In addition to that there is specific epiclastic unit which is mapped as “Epiclastic red sandstone”. This unit generally crops out at the uppermost part of the stratigraphic sequences (Figure 5a). It consists of poorly consolidated medium to thick layers of red sandstone and conglomerate horizons.

Trachyte dikes and plugs are widely distributed eastern part of the study area (Göçmengil et al., 2018). They are generally NW-SE/NE-SW oriented at the northern part and W-E oriented at the southern part of the study area. Their widths can be up to 700-800 meter in diameter and they cut the whole volcano-sedimentary package (Figure 7c). They display both aphanitic and porphyritic textures and consist of varied sized phenocrysts of sanidine and minor plagioclase and quartz (Figure 7d).

Volcano-sedimentary development of the Almus Group and particularly Almus volcanics, have been investigated by four different measured stratigraphic sections (MSS) (Figure 8). MSS in Almus are labeled as A1-A1\*; A2-A2\*; A3-A3\*; A4-A4\*. Their thickness varies ~70 to ~250 meters (Figure 8). Except A1-A1\*; all other sections are cut by W-E trending strike slip faults and the base of the sections is disrupted. But in overall, MSS display the similar stratigraphic order. Major part of the four sections has been represented by the alternation of brecciated lava flows and lava flows. Sedimentary units and volcanoclastic flow breccias are the second order units of all sections. The sediment represented by epiclastic units and *foraminifera* bearing sandstone are only represented at the base of the MSS of A1-A1\*.





**Figure 7.** **a)** Angular blocks of andesite and basaltic andesite in the brecciated lava flows. **b)** Different sized blocks and mega-blocks of the chaotic volcanoclastic flow deposits. **c)** General view of trachyte dike/plug which is cut the epiclastic red sandstone and andesitic lavas. **d)** Small sanidine phenocrysts in the trachyte dike (from Göçmengil et al., 2018).

**Şekil 7.** **a)** Breşik lav akıntıları içerisinde yer alan köşeli andezit ve bazaltik andezit blokları. **b)** Kaotik volkanoklastik akma birimleri içerisinde yer alan değişik boydaki blok ve mega-bloklar. **c)** Epiklastik kırmızı kumtaşı ve andezitik lavları kesen trakit dayk/tkaçının genel görünümü. **d)** Trakit daykı içerisinde yer alan ufak sanidin fenokristalleri (Göçmengil ve diğ., 2018'den alınmıştır).

Brecciated and massive lava flows are both sharply and gradually alternated with each other and generally represented by basaltic andesitic (mainly pyroxene, rarely amphibole bearing basaltic andesite) and andesitic lava flows (more amphibole dominated lava flows) except for the A1-A1\* section which have not contain any amphibole bearing lava. Through the middle to upper part of the stratigraphic order, olivine-bearing basalts are crops out (Figure 8).

The other prominent feature for the Almus Group is the presence of volcanoclastic flow breccias at the uppermost parts of MSS. Flow breccias are geographically distributed at the NW-SE trending zones in the northern part of the Almus dam lake (Figure 2 and 8).

At the top of the sections, epiclastic red sandstone units are detected in the A1-A1\* section and marks the sub-aerial conditions are much considerable during last phase of volcanism. The

last product of the volcanism in the area is marked by trachyte which is detected at the section A2-A2\*. This unit cut the uppermost part of the section and constitutes the final products of the volcanism.

When we consider the whole MSS along the Almus region, the volcano-sedimentary sequence started with *foraminifera* bearing sandstone and epiclastic sandstone-conglomerate alternation. These units are intercalated with pyroxene-bearing basaltic andesite and brecciated lava flows but nearly all sections (except A1-A1\*) amphibole-bearing basaltic andesite which have varying thickness (3-20 meter) are crops out. To the top of stratigraphic sections pyroxene-bearing basaltic andesites and brecciated lava flows are dominated. Olivine basalt layers have thicknesses of 1-2 to 15-20 meter and situated at the middle to upper part of the all sections. Also the uppermost part of the all sections, volcanoclastic flow breccias are dominant which are generally distributed at the northern part of the Almus dam lake. The youngest Eocene units in the area are represented by trachyte dikes and epiclastic red sandstone units.

### **Yıldızeli Group.**

Middle Eocene volcano-sedimentary successions in Yıldızeli area investigated under the different sub-units in the previous studies. Sedimentary rocks are classified as Tokuş Formation (Yılmaz, 1984; İnan and İnan 1999) and the intermediate to basic volcanic rocks are presented as the Kaletepe volcanics and Pazarcık volcanics (Yılmaz et al., 1995; Alpaslan 2000). More silicic members of the volcanic unit are named as Çakmak trachyte and Pamukpınar tuff (Yılmaz et al., 1995; Alpaslan, 1997).

To investigate the middle Eocene sequence more thoroughly, we named the whole MEVSB package in the Yıldızeli areas under Yıldızeli Group. The sedimentary and volcanic parts of

the Yıldızeli Group named as Tokuş Formation, Yıldızeli volcanics respectively (Figure 5b).

The Yıldızeli Group is spread over W-E direction around the Yıldızeli town which is bounded by IAESZ units and Hıdırnalı Group from the north and CACC from the southern part (Figure 3). The northern boundary of the Yıldızeli Group is dissected by NE-SW directed strike slip faults and late stage thrust faults (Figure 3). Even though the volcano-sedimentary package of the Yıldızeli Group situated at the southern part IAESZ, they display similar lithological order like Almus Group (Figure 5b).

Tokuş formation constitutes the bottom of the middle Eocene volcano-sedimentary succession. It consists of the basal conglomerates, *foraminifera* bearing sandstones and limestone alternation. Basal conglomerates contain quartzite, marble, syenite pebbles and cobbles where it covers the basement units of CACC; besides same unit comprise chert, metabasite, basalt, gabbro and serpentinite where it covers the IAESZ and/or Hıdırnalı Group. Pebbles and cobbles are poorly sorted; sub-rounded and have sizes varies between 1-2 cm to 25-30 cm.

Intercalation of *foraminifera* bearing sandstones and limestones are medium to thinly bedded and display grey and yellow colours (Figure 3). Marble olistoliths and olistostromes which were derived from the CACC are commonly found in the Tokuş formation. Presence of these large blocks (up to 1 km in diameter) can be related with tectonic controlled active deposition during the beginning of the middle Eocene.

Yıldızeli volcanics consist of lava flows, brecciated lavas, volcanoclastic flow breccias, pyroclastic and epiclastic units with late stage stocks and dikes. Majority of the volcanic units in the area is represented by alternation of lava flows and brecciated lavas (Figure 9a). Pyroclastic rocks (Figure 9b) are distributed in W-E direction and generally situated at the lower to middle part

of the general stratigraphic order. On the other hand, epiclastic sedimentary units are randomly intercalated with other volcanic lithologies (Figure 9c). Thinly intercalations of these rocks together with the other volcanic and/or volcanogenic rocks are differentiated as “undifferentiated volcanic units” on the geology map. Volcanological evolution of the Yıldızeli area is investigated by four different measured stratigraphic sections which will be discussed in the end of this section.

Yıldızeli lava flows consisting of basalt, basaltic andesite, andesite and dacite. Their thickness varies between 1 to 5 m and in some areas. They display distinct columnar jointing and flow foliation (Figure 9d). In some areas due to interaction with the water rich sedimentary units some portion of the lavas display peperitic textures (Figure 10a). Lavas of the Yıldızeli volcanic unit are mainly formed from the basalt, basaltic andesite, andesite and dacites. Basalts are generally dark grey in colour and consist of olivine + pyroxene + plagioclase phenocrysts. Nearly all olivines are iddingsitized due to the pervasive alteration. Basaltic andesites green and grey in colour, they have pyroxene ± amphibole ± plagioclase phenocrysts and display microlitic and porphyritic textures. Pyroxene phenocrysts are relatively large (up to 0.5 cm) comparing to the other phenocrysts (generally <0.2 cm). Andesites are yellow and grey and display the same mineralogical compositions with the basaltic andesites, with the exception of its higher amphibole contents. Amphibole phenocrysts dominantly display acicular shapes (Figure 10b). Dacitic lavas display prominent magmatic flow foliation and are comprised of quartz + plagioclase + biotite phenocrysts with hypocrystalline matrix.

Brecciated lava flows display grey, green and violet color. Majority of the blocks are basalt, basaltic andesite and andesite in composition and generally enveloped by altered basaltic andesitic matrix. The size of the blocks varies between 10 cm to 1 meter.

Volcanoclastic flow breccias crop out in limited areas such as the eastern part of the Yıldızeli area. They are generally coarse grained, poorly sorted and contain heterogeneous lithologies of lava block and sedimentary lithic units in chaotic distribution. Blocks of andesite and basaltic andesite have subrounded to sharp contacts and their size varies between 15-20 cm to 3 meter in diameter. Besides sedimentary lithic units which is made up of sandstone, chert, and basaltic clasts and 3-5 cm to 15 cm in diameter. The general characteristics of these units are similar to debris flow units (e.g. Bernard et al., 2009).

Pyroclastic rocks are represented by ash tuff, lapilli tuff and ash-block tuffs (Figure 9b and Figure 10c). Ash tuff and lapilli tuff units are generally situated at the base of the pyroclastic deposits. They consist of mainly ash and lapilli sized juvenile particles, pumices, minerals and a few amount of lithic and accidental fragments (Figure 10c). Their thickness can be up to 5 meter and display well developed mm to cm scale stratification. The colors of the lithologies are yellow, white and grey due to extensive alteration. In some areas cross stratified portions can be detected.

Through the top of the pyroclastic piles, ash-block deposits are advancing (Figure 10c). These deposits composed of matrix of lapilli, ash and pumice together with sub rounded different sized blocks. The thickness of this part is changed from 1 to 4 meter that displays chaotic internal structure. Pumice fragments are reached 3-5 cm in diameter in some layers. Lithic fragments are derived from epiclastic units and lavas and 1-3 cm in average in size. The blocks in pyroclastic units are basaltic andesite in composition and their sizes vary between 15-20 cm in diameter and they can be up to 1.5 meter in some areas.

Depositional characteristics and thin lamination of ash tuff and lapilli tuff deposits represent similarities to pyroclastic fall units.



Besides, lapilli and block sized fragment rich, chaotic layers at the upper part of the pyroclastic piles can be derived from block and ash flow mechanism.

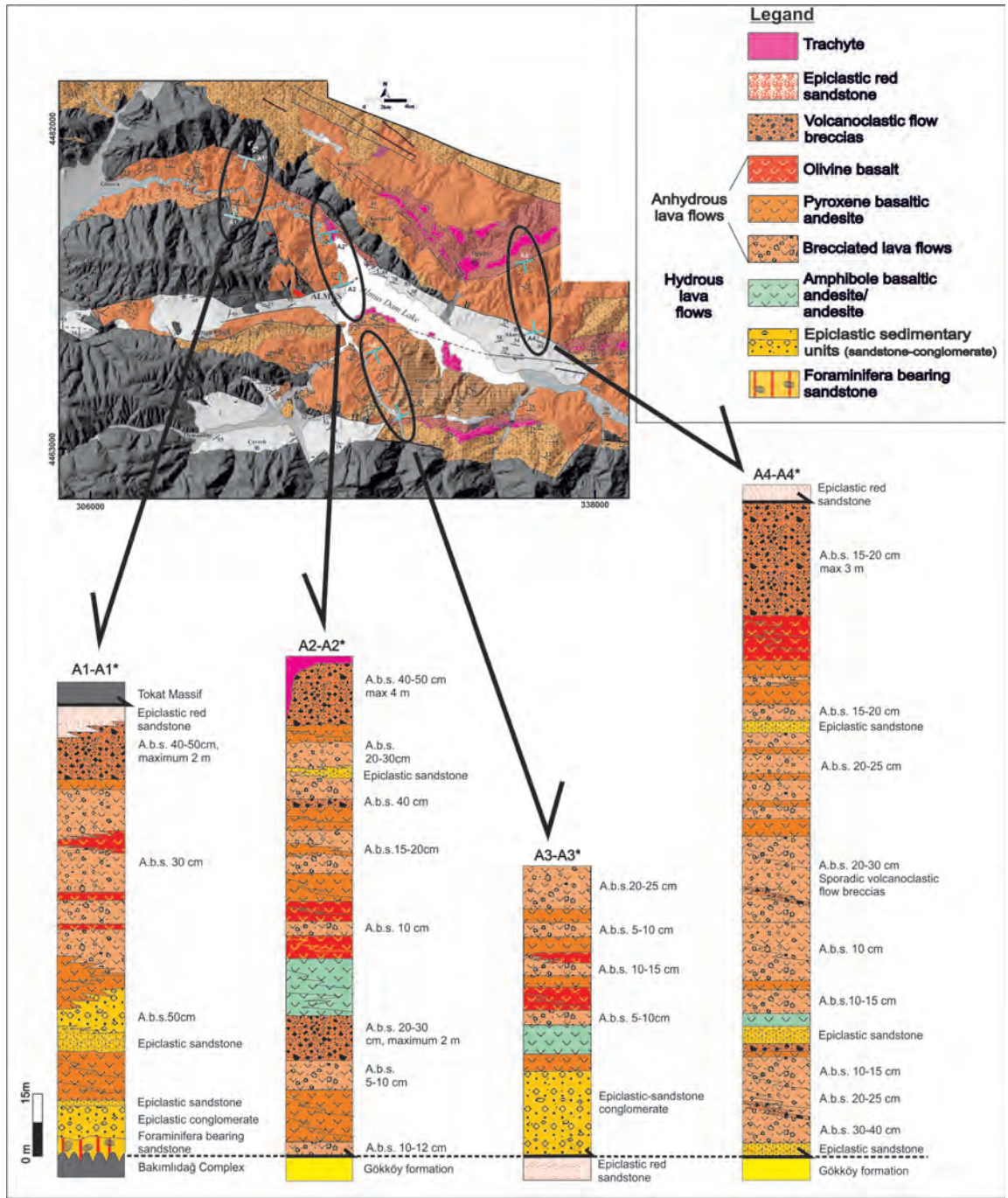
Epilastic units are generally scarce; however, they can be seen as thin intercalated layers within all volcanic units (Figure 8c). They display different thickness (cm to 5-10 meters), generally thin to medium layered and display yellow, grey and brown in colors. The major part of the epilastic units are represented by sandstone and conglomerate alternations (Figure 9c). They consist of mafic minerals and volcanic fragments of andesite and basaltic andesite.

The youngest volcanic unit in the Yıldızeli volcanics is represented by trachyte and trachyandesite stocks and lavas which are named as “Latitporfir” (Tatar, 1977); “Yukarıçakmak volcanics” (Yılmaz et al., 1995) and “Çakmak trachyte-porphyr”, (Alpaslan, 1997) in the previous studies. The trachyte and trachyandesitic lavas are only crops out at the eastern part of the study area and covers approximately 15km<sup>2</sup> (Figure 3). These lava flows constitute a dome-like shape and disrupts the original bedding of Tokuş formation. Trachytic and trachyandesitic lava flows are generally grey, purple and violet in color. The trachyandesite stocks in Yıldızeli area show distinct magmatic foliation through the east. Due to high viscosity, the distribution of the trachyandesitic lava flow is not widespread. Besides, there are also sporadic epilastic sedimentary sandstones (5 cm to 30-40 cm in thickness) within the trachytic flows.

Furthermore, different sized and oriented quartz dikes are detected at the northern part of the trachyte-trachyandesite stock (Figure 3). There are also extensive silicification and hematitization within the contact of the trachyte-trachyandesite and carbonate rich units of Tokuş Formation.

Trachyte and trachyandesite lavas display distinct porphyritic and trachytic texture and comprise sanidine + amphibole + biotite ± quartz ± pyroxene phenocrysts. Sanidine phenocrysts can be up to 8 cm and display compositional zoning (Figure 10d). Lobate shaped monzonitic enclaves with varying sizes (5 to 35 cm) are occasionally found within these lavas (Figure 10d).

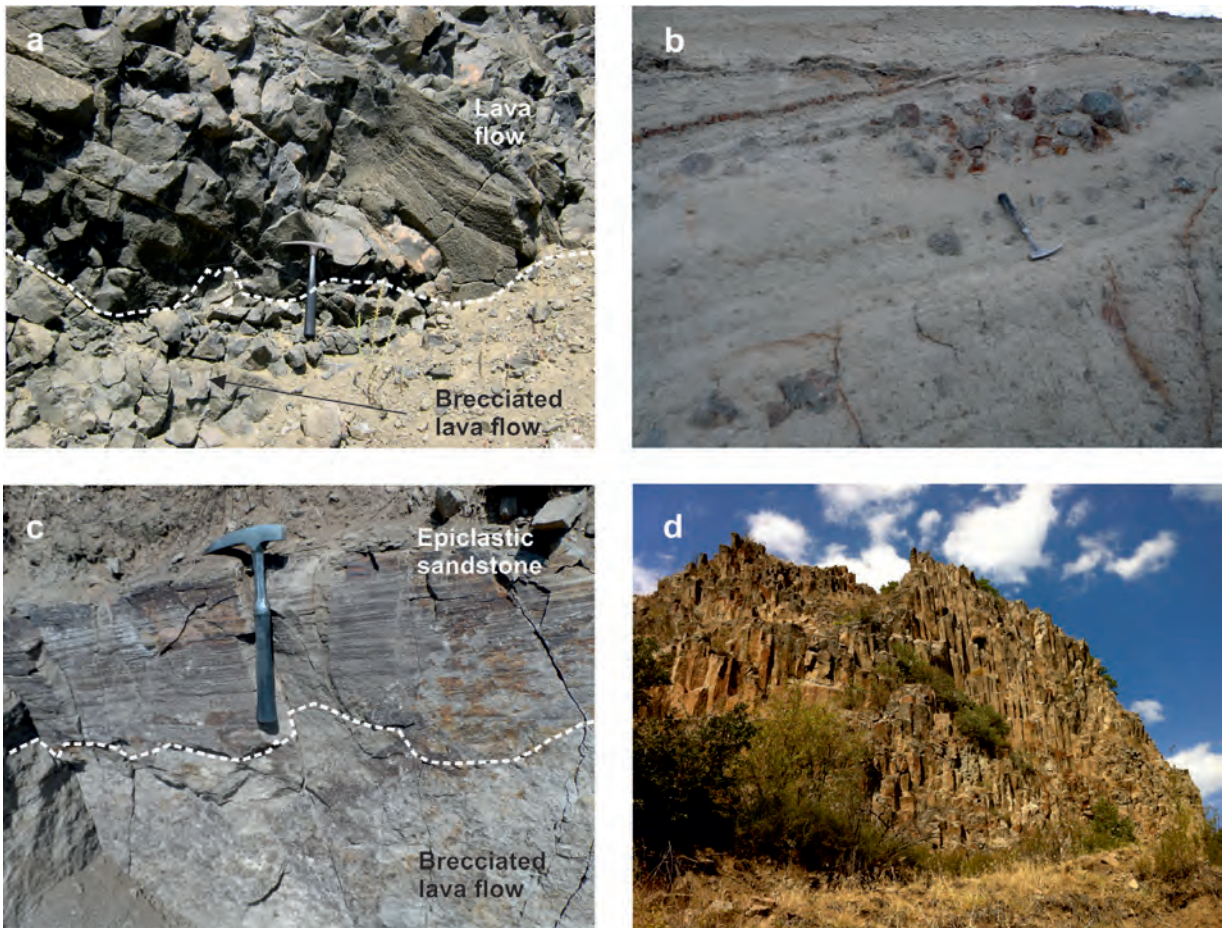
Four different sections have been measured to understand the volcanological evolution of the middle Eocene sequence in Yıldızeli area, likely to the Almus area. The thickness of the MSS of Yıldızeli varies between 80-150 meters. The sections are comprised brecciated lava flows, epilastic units, pyroclastic rocks, lava flows and volcanoclastic flow breccias (Figure 11). Major parts of the sections are made up alternation of brecciated lava flows and epilastic units. The lava flows and pyroclastic units are less voluminous and volcanoclastic flow breccias are scarce. There are also basal conglomerates which are marked by the presence of pebbles and cobbles from the basement units. Basal conglomerates are located at the base of the sections Y3-Y3\* and Y4-Y4\* and their thickness is less than 5 meter.



**Figure 8.** Measured stratigraphic sections along the Almus area (abbreviations: a.b.s: average block size). The evolution of the sections is discussed in the text.

**Şekil 8.** Almus bölgesinden ölçülmüş olan stratigrafik kesitler (kısıltmalar: o.b.b: ortalama blok boyutu). Kesitlerin evrimi metin içerisinde tartışılmıştır.



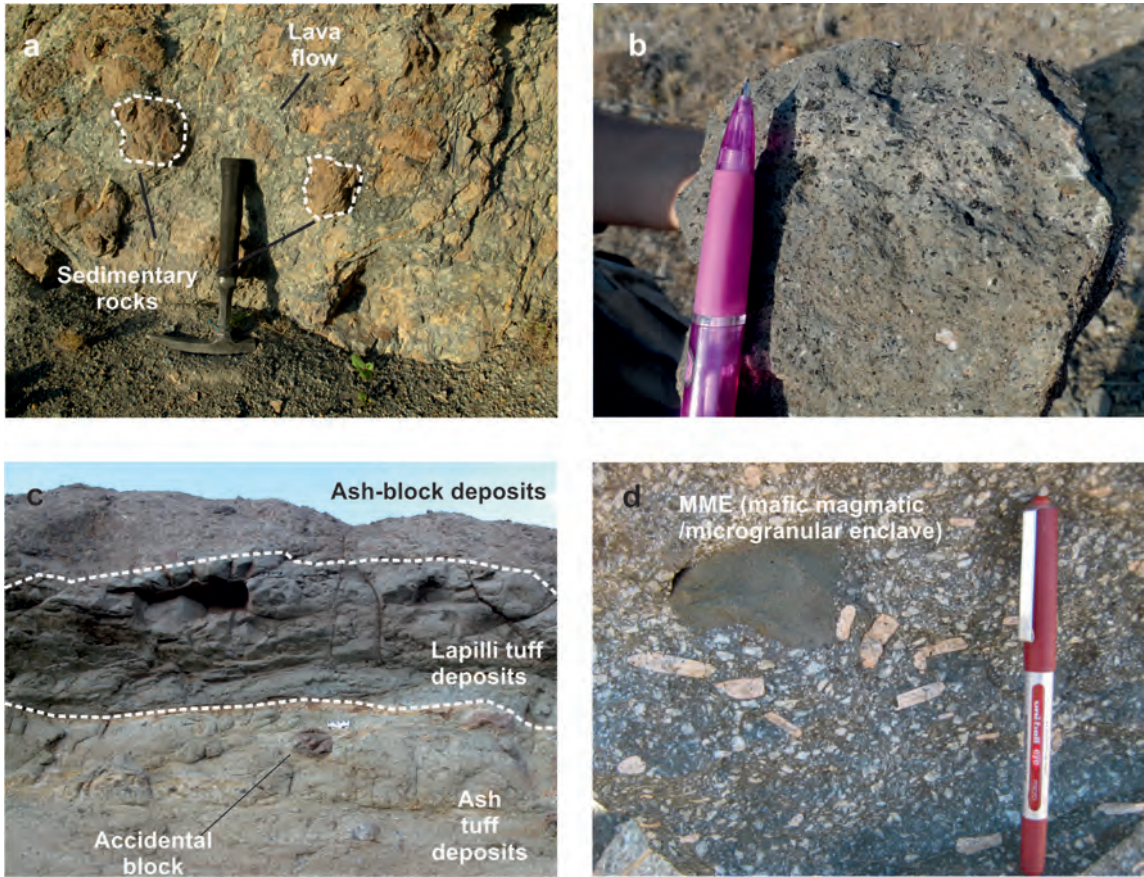


**Figure 9.** a) Basaltic andesitic lava flows and brecciated lava flows relations b) General view of alternation of ash tuff, lapilli tuff and block rich layers. c) Thinly laminated epiclastic sedimentary units (sandstone) and brecciated lava flow contact zone. d) Distinct columnar jointing in basaltic lava flows.

**Şekil 9.** a) Bazaltik andezitik lav ve breşik lav akıntısının arazi ilişkisi. b) Kül tüfü, lapilli tüf ve blokça zengin kesimlerin ardalanmasının genel görünümü. c) İnce katmanlı epiklastik sedimanter birimler (kumtaşı) ve breşik lav akıntısının kontak zonu. d) Bazaltik lav akıntılarında yer alan belirgin sütunsu çatlaklar

Lower parts of the sections from Yıldızeli region are dominated by the epiclastic sedimentary units together with amphibole basaltic andesite and andesite. At the middle to upper part of the Yıldızeli MSS, pyroclastic units; pyroxene basaltic andesite lavas and related brecciated flows are became more dominant lithologies. The pyroclastic units can be traced along the sections Y1-Y1\*; Y2-Y2\* and Y3-Y3\* and corresponding to explosive

stages of volcanism in Yıldızeli region Through the top of the MSS; brecciated lava flows, olivine basalt and pyroxene basaltic andesite are advance and they are constitute the main products at the upper part of the MSS in Yıldızeli area (Figure 11). Epiclastic sedimentary units are intercalated with all other lithologies most commonly in the Y4-Y4\* section.



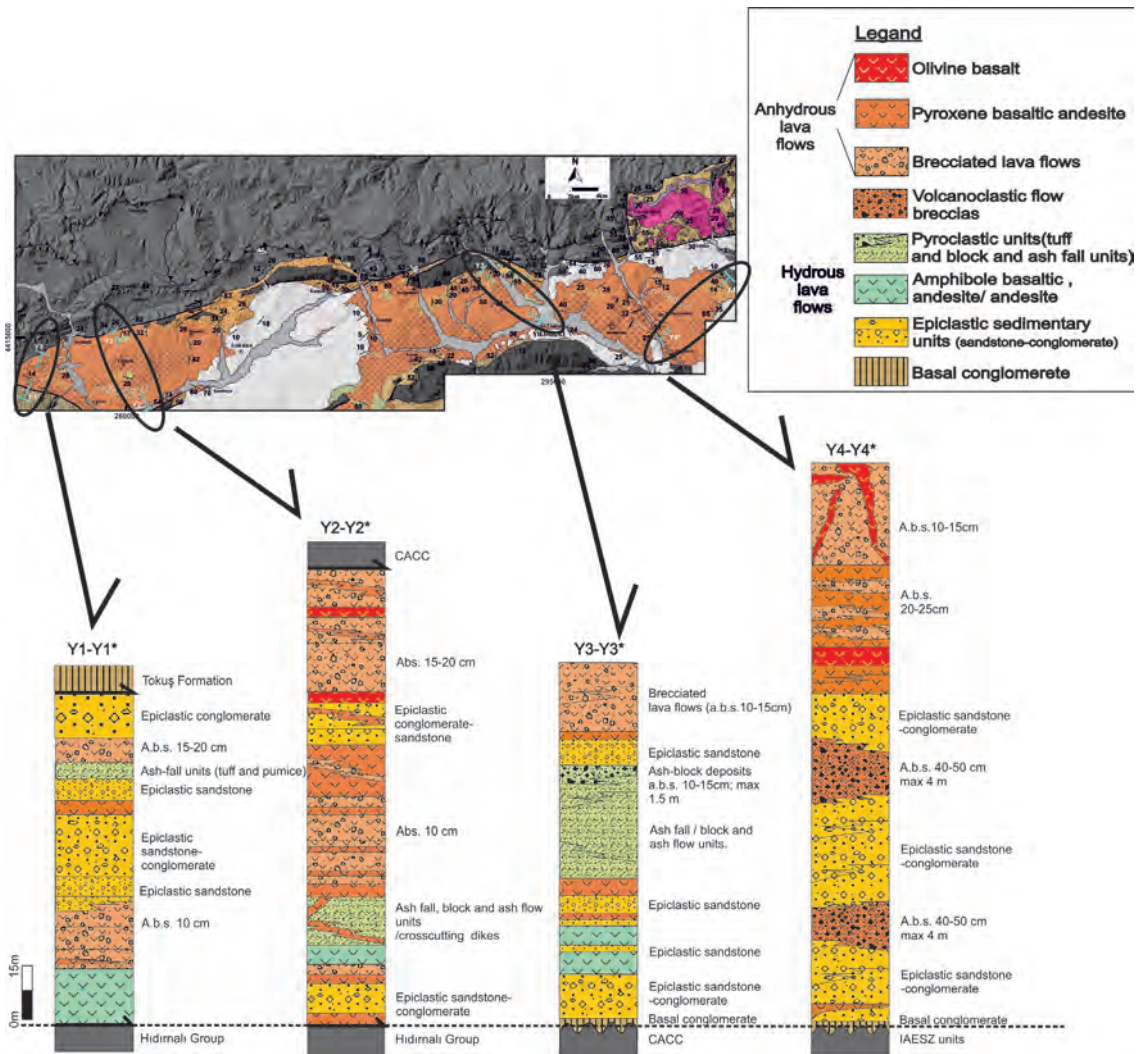
**Figure 10.** **a)** Peperitic textures between lava and sedimentary rock interactions. **b)** Acicular shaped amphibole phenocrysts in andesitic lava flows. **c)** General view of the pyroclastic deposits in Yıldızeli region. Ash block deposits become more dominant through the upper part of the pyroclastic pile. **d)** General view of the trachyte-trachyandesite lavas with mega sanidines and monzonitic enclaves (from Göçmengil et al., 2018).

**Şekil 10.** **a)** Lav ve sedimanter kaya etkileşimiyle gelişen peperitik dokular. **b)** Andezitik lav akıntılarında yer alan iğnemsî şekilli amfibol fenokristalleri. **c)** Yıldızeli bölgesinde yer alan piroklastik çökellerin genel görünümü. Kül blok çökelleri piroklastik istifin üst kısmına doğru daha baskın hale geliyor. **d)** Mega-sanidin ve monzonitik anklavlar içeren trakit-trakiandezit lavlarının genel görünümü (Göçmengil ve diğ., 2018'den).

Generation of the middle Eocene sequence along the Yıldızeli area is started with the basal conglomerates and shallow marine sedimentary units; during this stage volcanism also concomitantly started and mainly produced amphibole basaltic andesite, andesite and brecciated lava flows which are intercalated with the shallow marine units. Through the middle

part pyroclastic deposits and volcanoclastic flow breccias (only in Y4-Y4\*) are advance. Upper part of the volcanic successions mainly represented by pyroxene basaltic andesite, olivine basalt, and accompanying brecciated lava flows. Notwithstanding the youngest volcanic products in the area are trachyte-trachyandesitic lava flows.





**Figure 11.** Measured stratigraphic sections along the Yıldızeli area (abbreviations are same as Figure 8). The evolution of the sections is discussed in the text.

**Şekil 11.** Yıldızeli bölgesinden ölçülen stratigrafik kesitler (kısıtlamalar Şekil 8'deki ile aynıdır). Kesitlerin evrimi metin içinde tartışılmıştır.

### Yıldızdağ magmatic complex

Main bulk of the Yıldızdağ magmatic complex represented by a NE-SW orientated gabbroic intrusion. It covers approximately 2 km<sup>2</sup> surface area and cut the Hıdırnalı Group units. The large part of the contact between two units is sealed by slope waste and moraine deposits (Figure 4). The boundary of the two units and the contact metamorphism can be seen at the eastern portion of the intrusion. Apart from the main body; diorite

dikes with varying orientation are also cut the gabbroic main body and the Hıdırnalı Group units as a dyke swarm.

Three different lithologies are identified in gabbroic main body of Yıldızdağ magmatic complex. These are pyroxene rich and pyroxene poor gabbro (anorthositic) and marginal zone diorites. Main part of the intrusion is represented by pyroxene rich gabbro which represents micro-rhythmic lamination (Figure 12a). The second unit,



pyroxene poor gabbro, displays a limited outcrop and has more anorthositic character. Both gabbroic lithologies are crosscutting and layered with each other in random order (Figure 12b). Both units are marked by presence of pyroxene + olivine + plagioclase  $\pm$  amphibole  $\pm$  biotite minerals in varying order and display ophitic textures. Gabbroic rocks gradually pass into the diorites in the eastern portion of the intrusion (Figure 4). These marginal zone diorites display sub-ophitic texture, and made up of plagioclase + amphibole  $\pm$  pyroxene minerals (Figure 12c). Apart from these units, there are scarce troctolitic enclaves embedded in the gabbroic main body which are 5-40 cm in diameter and display polygonal textures.

Dioritic dikes cut the both gabbroic main body and the Hıdırnalı Group units (Figure 12d). The width of the dikes dispersed 5-10 cm to 20-25 meter. They display porphyritic, sub-ophitic and microgranular textures and made up of plagioclase + amphibole  $\pm$  pyroxene minerals. They display different orientation such as NE-SW; NW-SE and N-S but the main dominant trend is NE-SW.

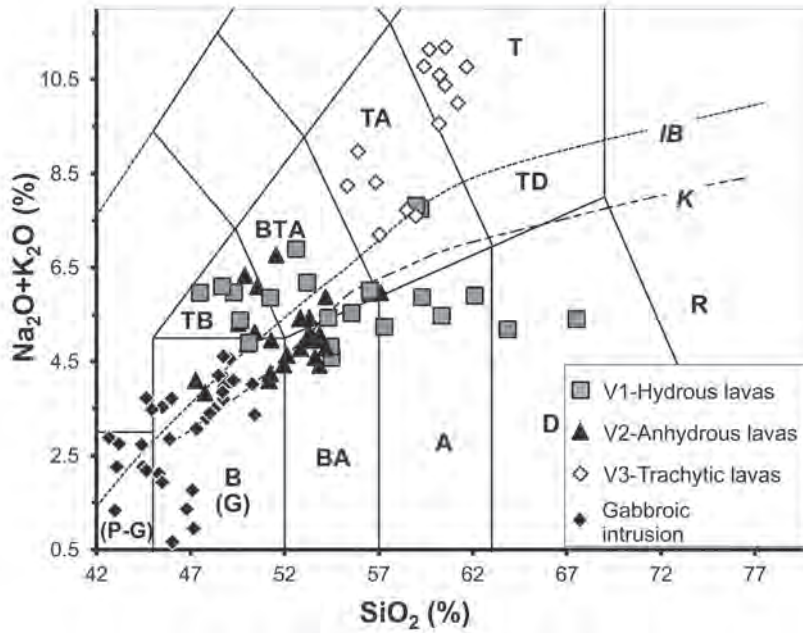
Yıldızdağ magmatic complex is a zonal magmatic body with a gabbroic center, a dioritic marginal zone and related NE-SW and NW-SE oriented dioritic dikes.

All volcanic lavas and plutonic are names compatible with the whole rock –geochemical features presented in recent studies (Figure 13, Göçmengil et al., 2017, 2018).



**Figure 12.** a) Micro-rythmic layering in pyroxene rich gabbro. b) Pyroxene rich and poor gabbroic unit alternation in main body of Yıldızdağ gabbro. c) General view of the marginal zone diorites. d) Dioritic dyke in the sandstone units of Hıdırnalı Group

**Şekil 12.** a) Piroksence zengin gabroda gözlenen mikro-ritmik katmanlanma. b) Yıldızdağ gabrosu ana kütlesi içerisinde yer alan piroksence zengin ve piroksence fakir gabro ardalanması. c) Kenar zonu diyoritlerinin genel görünümü. d) Hıdırnalı Grubu içerisinde yer alan diyoritik dayk.



**Figure 13.** Total alkali vs silica diagram (Le Maitre et al., 1986) for the three stage lavas from Almus and Yıldızeli regions and plutonic rocks of the Yıldızdağ complex. (data taken from Göçmengil et al., 2017, 2018 TB: trachybasalt; BTA: basaltic trachy-andesite; TA: trachy-andesite; T: trachyte; B: basalt; BA: basaltic andesite; A: andesite; D: dacite; R: Rhyolite, G: Gabbro, P: Peridot Gabbro; IB: Irvine and Baragar (1971), K: Kuno 1966).

**Şekil 13.** Almus ve Yıldızeli bölgelerindeki üç farklı seri lav ve Yıldızdağ kompleksinde yer alan plütonik kayaların toplam alkaliye karşı silika diyagramı (Le Maitre ve diğ., 1986; veriler Göçmengil ve diğ., 2017'den alınmıştır; TB: Trakibazalt, BTA: bazaltik traki-andezit; TA: traki-andezit; T: trakit; B: bazalt; BA: bazaltik andezit; A: andezit; D: dasit; R: riyolit, G: Gabro; P: Peridot Gabro; IB: Irvine ve Baragar (1971), K: Kuno, 1966).

## DISCUSSION

### Early Cenozoic tectono-magmatic events along the NE part of IAESZ.

Almus region also did not contain any prominent Paleocene unit similarly to whole range of IAESZ. Whereas in southernmost extreme of the study area (Yıldızeli area) there are poorly known and/or suspected Paleocene aged sedimentary units which are sandwiched inside or tectonically overlain by IAESZ units (Figure 1b and 14a). These unit crops out at the northern part of the Yıldızeli region and have been described in the literature by different names as mentioned above (Paleogene Flysch, Tatar 1977; Kılıçlı Olistostromal Unit, Yılmaz et al., 1995; Hıdırnalı Group, Yılmaz et al., 1997b, Keskin et al., 2008; Boğazköy Formation,

Akçay and Beyazpırınç, 2017). Paleocene units corresponding to a trapped-remnant basin which have been fed by accretionary complex units; paleo-forearc basin together with the metamorphic and magmatic units of the CACC during the collisional stages between Pontides and CACC (Keskin et al., 2008; Figure 14a). The abundance of the different mega olistoliths (pelagic limestones, serpentines, recrystallized limestones, marble, phyllite and rare spilitic basalt blocks) surrounded by the sedimentary package of the Hıdırnalı Group suggest that this unit developed during the compressional stage of the collision event. The age of the sedimentary matrix of the Hıdırnalı Group documented as Cretaceous to Early Eocene (Yılmaz et al., 1997b). However, the ages of the basaltic lava flows and differentiation

of the sedimentary package of the Hıdırnalı Group still poorly defined and needs further examination.

The first products of Early Cenozoic magmatism are marked by sporadic adakitic intrusive units along the northeastern part of the IAESZ (~ 57 Ma to 48 Ma) and possibly related with the syn-collisional stage along the Anatolide-Tauride and Pontides tectonic blocks (Topuz et al., 2005; Karşlı et al., 2011; Eyüboğlu et al., 2013). This phase is interpreted as products of the melting of thickened continental crust which is active at that time interval (Topuz et al., 2011).

At the beginning of the Lutetian, a region wide subsidence together with the change of tectonic contractional to extensional phase takes place along the IAESZ (Keskin et al., 2008 and references therein) which is also dominantly effects Yıldızeli and Almus areas (Figure 13b). The reason for the subsidence and transition from contractional to extensional phase are interpreted as slab-pull down force effect of the subducted oceanic lithosphere of northern Neo-Tethyan oceanic slab under the Pontides (Keskin et al., 2008) or tectonic collapse of the thickened continental crust (Topuz et al., 2011) for the Central and Eastern Pontides regions respectively.

Geological record of the region-wide subsidence, transgression and marine sedimentation along the both sides of the suture zone represented by the deposition of the sedimentary units in Almus Group and Tokuş Formation in the Yıldızeli area (Figure 14b).

This shallow marine sedimentation disrupted by the concomitant magmatism along the both sides and probably along the suture zone itself during the middle Lutetian with the development of volcanic products and intrusive units. First products of the volcanism started at the shallow marine environment as depicted by the presence of the peperitic textures and intercalated foraminifera bearing sandstones and volcanics. Volcanism started with hydrous and anhydrous mineral-rich

lava flows (amphibole-bearing basaltic andesite and andesite/pyroxene-bearing basaltic andesite) brecciated lava flows and coeval volcanoclastics and epiclastics. There are also sporadic pyroclastic units also accompanied the volcanism in Yıldızeli area contrary to Almus which documents the explosive stages also operational at that region. During the course of volcanism, pyroxene-bearing basaltic andesite and olivine basalt lavas are become dominant lithologies in both areas. After the development of the more anhydrous mineral rich volcanic units; volcanism shift towards the more acidic members by the presence of trachyte and trachyandesite dykes, plugs and stocks and these products marks the final manifestations of the volcanism for both regions. This late stage pulse can be accounted for the more silica rich, assimilation and fractional crystallization induced magmatism in the eastern part of the Pontides (Arslan et al., 2013; Yücel et al., 2014; Temizel et al., 2016, Göçmengil et al., 2018).

Additionally, gabbroic intrusions and coevally developed dioritic dykes probably developed in same magmatic phase with the first phase hydrous volcanic activity of the Almus and Yıldızeli region. This interpretation is evidenced by the presence of widespread hydrous minerals (amphibole, biotite) in the gabbroic intrusion and its marginal dioritic zones. Furthermore, sporadic hydrous Eocene gabbroic intrusive are also reported along the other sections of the Eastern Pontides (e.g. Temizel et al., 2014; Eyüboğlu et al., 2016) which can be accounted to the same magmatic phase. On the other hand, Boztuğ et al., (1998) propose that Yıldızdağ gabbroic units derived from %25 partial melting of upper mantle units. However, Yıldızdağ magmatic units are heterogenous in cm to mm scale with cumulate settling and common occurrence of the hydrous minerals contradicts with direct melting origin from the upper mantle. Thus, generation of the gabbroic intrusion probably generated by melting of water rich magma source areas which contain



amphibole, phlogopite in varying degrees which is suggested for middle Eocene volcanic units by Göçmengil et al., (2018).

### **Generation of the middle Eocene post-collisional magmatism along the Almus, Yıldızeli and Yıldızdağ areas.**

The measured stratigraphic sections demonstrate that, even though the volcanic units developed on different tectonic blocks, they display similar style of volcano-sedimentary evolution. The data presented above can be supportive for all magmatic units described above probably governed by the same tectono-magmatic event which is developed along the whole scale of lithospheric mantle below the IAESZ at the Eocene.

Wide spread occurrence of the middle Eocene magmatic units along the both sides of the suture zone and other parts of the Pontides; CACC and even Caucasus suggest that the possibility of slab break off related magmatism is less feasible to explain the generation of the middle Eocene magmatism along the IAESZ, since the Eocene magmatic units are not confined in a narrow range. Additionally, distinct geochemical features of the middle Eocene volcanic rocks such as alkalinity (Keskin et al., 2008) is not related with the deep sourced asthenospheric melts since these lavas display low Mg# contents; low Ni (ppm) with highly fractionated geochemical patterns (Göçmengil et al., 2017; 2018). Hence recent publication of Göçmengil et al (2018) suggest that the first and second stage volcanic episode of Almus and Yıldızeli regions might be related with melting of metasomatized peridotitic mantle in lithospheric depths.

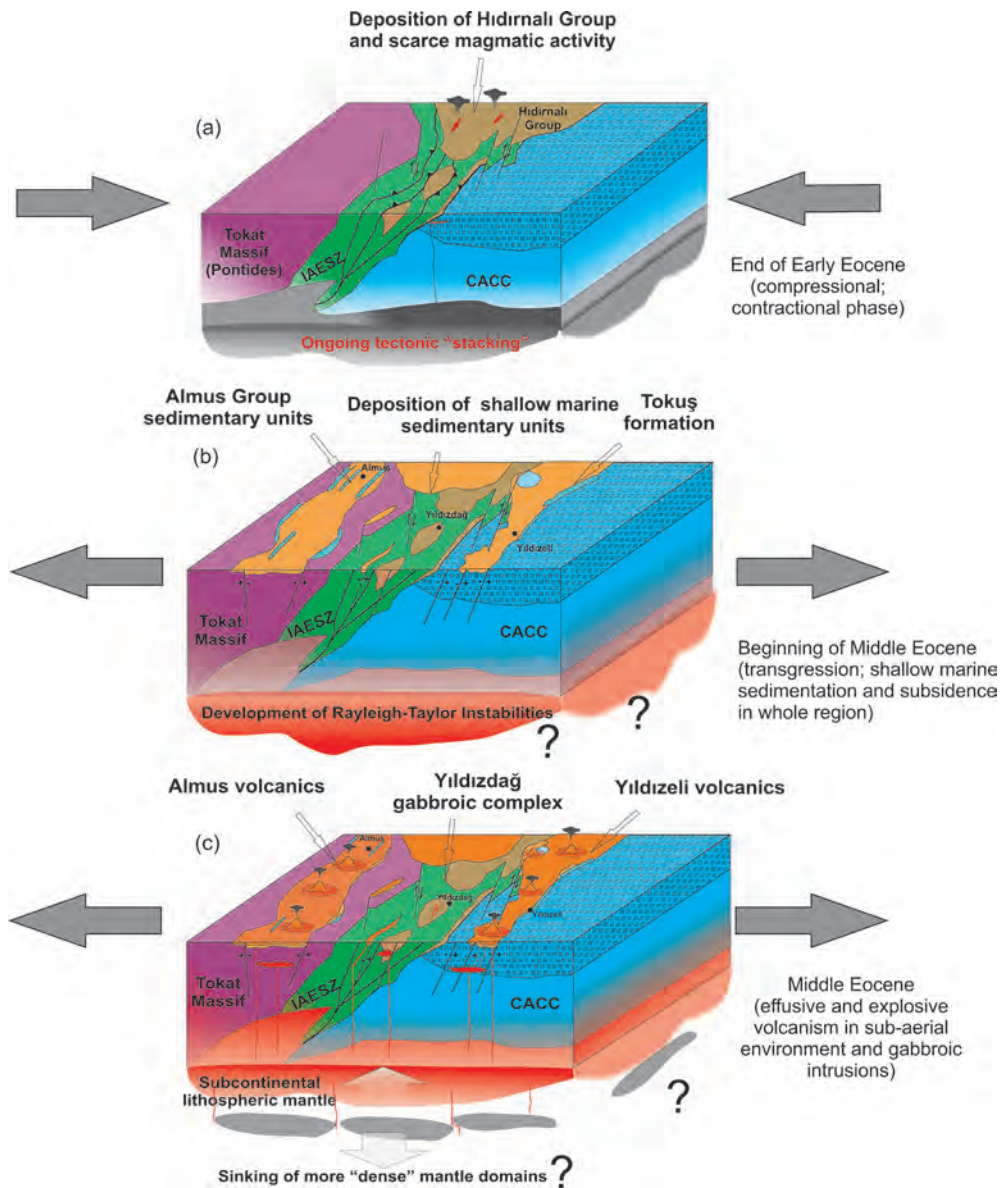
Regarding the geological data in the literature, given below, and the data presented above, the possible governing agent of Early Cenozoic tectono-magmatic events are more compatible with the development of collision

related Rayleigh-Taylor instability changes and subsequent delamination and/or lithospheric removal process related mechanisms.

Rayleigh-Taylor instabilities and delamination and/or lithospheric removal processes can generate the melting of the sub-continental lithospheric mantle (SCLM) and can help to generate the various magmatic products along the major orogenic zones around the world such as Trans-Mexican Belt (Mori et al., 2009); Sierra Nevada, (Elkins-Tanton and Grove, 2003); Andean Arc (Kay and Kay, 1993) and Mediterranean region (Lustrino, 2005).

Tectonic stacking of the Pontides and the CACC at the Paleocene generate continental thickening which gave rise the generation of Early Eocene aged adakitic intrusive rocks (Topuz et al., 2011; Karlı et al., 2011; Eyüboğlu et al., 2013). Ongoing contraction probably lead the development of the density differences in the SCLM which subsequently leading to the development of delamination and/or lithospheric removal related processes is also suggested for the other parts of the Eastern Pontides (Arslan et al., 2013; Temizel et al., 2016).

The tectonic loading and density changes of the sub-continental lithospheric mantle can help the subsiding of the whole region and can be responsible for the generation of the region wide transgression (Figure 14b). Furthermore, coevally developed magmatic pulse in the all three distinct region can be governed by sinking and denuding of the dense parts of the sub-continental lithospheric mantle (Figure 14c) which is exemplified in many Alpine-Himalayan belt post-collisional magmatic regions (Göğüş et al., 2016 and references therein). We tentatively suggest that this mechanism also be suitable for the post-collisional middle Eocene magmatism along the Almus-Yıldızdağ-Yıldızeli range.



**Figure 14.** Cartoons which showing the Early Cenozoic tectono-magmatic evolution of the southern part of the Pontides region, with special reference to Almus, Yıldızdağ and Yıldızeli areas (Inspired by schematic cartoons of Keskin et al., 2008). **a)** Early Eocene tectono-magmatic evolution of the aforementioned regions. This time interval marks a contractional phase in the southern side of Pontides region due to collisional stages. In this time interval trapped remnant basin Hıdırnalı Group is developed. Concomitantly with the sedimentation, sporadic magmatism is also developed. **b)** Regionwide extension and coeval transgression concomitantly developed with middle Eocene shallow water sedimentation. Tokuş formation and sedimentary part of the Almus Group are deposited unconformably at the basement units in the southern part of the Pontides. **c)** During the later stages of middle Eocene, magmatism developed along the whole range of IAESZ and volcanic and coevally intrusive units are coevally developed. In Almus area volcanism represented by mainly by effusive products. Besides, in Yıldızeli area both effusive and explosive volcanism is active. In Yıldızdağ region only intrusive (gabbro and diorite) units are developed. The reason of the region-wide concomitant magmatic pulse can be tentatively ascribed to a denuding and sinking sub-continental lithospheric mantle domains after the collisional phase along the IAESZ.



**Şekil 14.** Pontid bölgesinin güney kesiminin erken Senozoyik tektono-magmatik evrimini Almus, Yıldızeli ve Yıldızdağ bölgesi özelinde gösteren çizimler (Keskin ve diğ., 2008'deki matik çizimlerden esinlenilmiştir). a) Söz konusu bölgelerin Erken Eosen tektono-magmatik evrimi. Bu dönem çarpışma süreçlerine bağlı olarak Pontidlerin güneyinde sıkışmalı bir evreye karşılık gelmektedir. Bu zaman aralığında sıkışık kalık havza Hıdırnalı Grubu gelişmiştir. Sedimentasyonla eş zamanlı olarak nadir magmatizma da oluşmuştur. b) Bölgesel gerilme, eş zamanlı olarak gelişen transgresyon ve Orta Eosen sığ denizel sedimentasyonu. Tokuş Formasyonu ve Almus Grubu'na ait sedimanter birimler bu dönemde Pontidlerin güney kısmındaki temel birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. c) Orta Eosen döneminin ilerleyen zamanlarında, magmatizma IAESZ bölgesinin bütün kesimlerinde gözlenmekte olup bu dönemde eş zamanlı olarak volkanik ve intrüziif birimler gelişmiştir. Almus bölgesinde volkanizma genel olarak efüzifürünlerle temsil edilir. Buna karşın Yıldızeli bölgesinde hem efüzifhem de patlamalı volkanizma aktif olmuştur. Yıldızdağ bölgesinde ise sadece intrüziif birimler gelişmiştir. Bölgesel olarak eş zamanlı oluşan bu magmatik evrenin gelişimi muhtemelen çarpışma sonrasında IAESZ boyunca yer alan kıta altı litosferik manto kesimlerinin soyulması ve batması ile ilişkilendirilebilir.

## CONCLUSIONS

Geological mapping and volcano-stratigraphy along the NE part of the IAESZ demonstrate that the middle Eocene magmatism coevally developed along a vast area. Intrusive part of the magmatism is manifested by hydrous mineral-rich gabbroic intrusions and small-scale dioritic dike swarm in the Yıldızdağ area. Besides, volcanic units from the Almus and Yıldızeli areas are developed in volcano-sedimentary packages which are called Almus Group and Yıldızeli Group respectively. Measured stratigraphic sections along the Almus and Yıldızeli sections demonstrate that, volcanism started at shallow marine environment depicted by alternating fossiliferous sedimentary units with lava flows. Through the middle to upper parts of the sections, explosive and effusive volcanic products together with epiclastic and volcanoclastic units are advance. Measured stratigraphic sections from the both areas demonstrate that the lava flows share the similar stratigraphic order of (i) amphibole-bearing basaltic andesite, andesite dacite at the lower stages; (ii) pyroxene-bearing basaltic andesite, olivine basalt at the middle to upper parts and (iii) trachyte and trachyandesite dikes, plugs and stocks at the top of the sections even though they developed on different tectonic blocks. The re-appraisal of the available geological data from the literature for the magmatism along

the Early Cenozoic time is much compatible with a delamination and/or lithospheric removal related processes for the generation of the middle Eocene magmatism along the Almus-Yıldızdağ-Yıldızeli range, however this interpretation highly tentative and should be confirmed by further petrological studies.

## ACKNOWLEDGMENTS

This paper resulted from a part of the PhD. thesis of G. Göçmengil and part of the M.Sc thesis of the C.D. Topbay, which were supported by a research grant (ÇAYDAG project# 112Y120) by TÜBİTAK and the research funds of the Istanbul Technical University (İTÜ-BAP and İTÜ Rectorate). G.G would like to thank to Fatma Gülmez, İsmailcan Sever and Hasan Işkın for their valuable help during field work. G.G also acknowledges careful reviews of the two anonymous referees with painstaking editorial handling of Prof. Dr. Orhan Tatar.


## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

*Neo-Tetis okyanusunun kuzey kolunun kapanması İzmir-Ankara-Erzincan suture zonunun (IAESZ) oluşmasına sebep olmuştur. Suturelaşma süreci Pontid tektonik bloğu ile Anatolid Toridler*

ve bununla beraber Orta-Anadolu Kristalen Masifi'nin Paleosen döneminde çarpışmasıyla gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz 1981). Bu çarpışma dönemi Erken Eosen zamanına kadar sürmekte olup bütün tektonik bloklarda aşınmaya sebep olmuştur (Okay ve Tüysüz 1999). Çarpışma ile eş zamanlı olarak Geç Paleosen-Erken Eosen döneminde, IAESZ'nin orta ve doğu kesiminin güneyinde adakitik magmatizma gelişmiştir (Topuz ve diğ., 2005; Karslı ve diğ., 2011). Bu dönemden sonra gelen orta-Eosen döneminde ise kalk-alkali ve alkali magmatizma yaygınlaşmıştır (Keskin ve diğ., 2008). Almus, Yıldızeli ve Yıldızdağ bölgelerinde bu dönemde yaygın bir magmatizma gelişmiş olup, bu magmatizma ürünlerinin jeolojik ve stratigrafik gelişimi; istiflenmesi, yanal ve düşey değişimleri ayrıntılı olarak ortaya konmamıştır. Orta Eosen magmatizması Almus ve Yıldızeli bölgelerinde volkano-sedimantar istiflerle temsil edilmektedir. Buna karşın Yıldızdağ bölgesinde gabroik ve dioritik sokulumlar magmatizmanın genel ürünleridir. Almus ve Yıldızeli bölgesindeki volcano-sedimantar istifler alt kesimlerinde sığ denizel çökeller; orta ve üst kesimlerinde ise lav akıntıları ve volkanoklastik birimler ile temsil edilmektedir. Almus ve Yıldızeli bölgelerinden ölçülen sekiz adet volkano-sedimantar istifile sütür zonunun iki farklı tarafında yer alan, eş zamanda oluşmuş volkanik birimlerin evrimi anlaşılmasına çalışılmıştır. Her iki bölgede üç stratigrafiye bağlı olarak farklı volkanik evre tespit edilmiştir. İlk evre ürünleri amfibollü bazaltik andezit, andezit ve dasitlerden oluşmaktadır. İkinci evre bazaltlar ve piroksenli bazaltik andezitlerden meydana gelmektedir. Üçüncü evre ürünleri ise trakit ve trakiandezit dayk ve stoklarından oluşmaktadır. Çalışılan üç alandan elde edilen veriler stratigrafik olarak volkanizmanın, üzerinde geliştiği tektonik bloktan bağımsız olarak benzer zamanda ve şekilde meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra sokulum kayaçları içeren Yıldızdağ bölgesinin de volkanizmanın birinci evresi ile benzer zamanda oluşmuş

olabileceği düşünülmektedir. Literatürdeki yeni yapılan yayınlarda bölgedeki ilk evre ve ikinci evre volkanizmanın, metasomatize olmuş peridotitik bir kaynak alanın kısmi ergimesi ile oluşabileceği iddia edilmiştir (Göçmengil ve diğ., 2018). Elde edilen veriler bütün bölgelerde oluşan magmatizmanın benzer bir tektono-magmatik olay sonucunda gerçekleşmiş olabileceğine işaret eder. Bu süreç delaminasyon veya litosferik ayrılma ile gelişmiş olup, kıta altı litosferinin aşınması ile alt kıta kabuğunda ergime ve buna bağlı geniş bir bölgede eş zamanlı magmatizmanın gelişmesi ile açıklanabilir. Bu durum Akdeniz bölgesindeki çarpışma sonrası magmatizmasının da ana sebeplerden biri olarak görülmekte olup (Lustrino, 2005, Göğüş ve diğ., 2016), IAESZ'nin doğu kesiminde gerçekleşen erken Senozoyik magmatizmasını da açıklayabilir.

## ORCID

Gönenç Göçmengil  <https://orcid.org/0000-0002-1955-8026>

## REFERENCES

- Alpaslan, M., Guzeou, J. C., Bonhomme, M., Boztuğ, D. 1996. Yıldızeli Metasedimantar Grubu içerisindeki Fındıcak Metamorfizmasının metamorfizması ve yaşı. Türkiye Jeoloji Bülteni, 39, (1), 17-27.
- Alpaslan, M., 1997, Çakmak trakit-porfirinin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özellikleri, Yıldızeli, Sivas, Geosound, 30, 2, 765-778.
- Alpaslan, M., 2000. Pazarcık Volkanitinin (Yıldızeli-Sivas) Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 43-2, 49-60.
- Altunkaynak, Ş., 2007. Collision-driven slab breakoff magmatism in northwestern Anatolia, Turkey. The Journal of Geology, 115 (1), 63-82.
- Altunkaynak, Ş., Sunal, G., Aldanmaz, E., Genç, C. Ş., Dilek, Y., Furnes, H., Foland, K.A., Yang, J., Yıldız, M., 2012. Eocene granitic magmatism in NW Anatolia (Turkey) revisited: new implications from comparative zircon SHRIMP-U-Pb and <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar geochronology and isotope geochemistry on magma genesis and emplacement. Lithos, 155, 289-309.

- Akçay, A. E., Beyazpırınç, M. 2017., Sorgun (Yozgat) - Yıldızeli (Sivas) Önülke Havzasının Jeolojik Evrimi, Havzada Etkin Olan Volkanizmanın Petrografik, Jeokimyasal Özellikleri Ve Jeokronolojisi. Maden Tetkik Arama Dergisi, 155, 71-80.
- Arslan, M., and Aslan, Z., 2006. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27 (2) , 177-193.
- Arslan, M., Temizel, I., Abdioglu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D., Şen, C., 2013.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): implications for magma evolution in extension-induced origin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166 (1) , 113-142.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, I., Kaygusuz, A., 2014. K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. *Mineralogy and Petrology*, 108 (2) , 245-267.
- Aydınçakır, E., Şen, C., 2013. Petrogenesis of the post-collisional volcanic rocks from the Borçka (Artvin) area: implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos*, 172, 98-117.
- Aydınçakır, E., 2014. The petrogenesis of Early Eocene non-adakitic volcanism in NE Turkey: Constraints on the geodynamic implications. *Lithos*, 208, 361-377.
- Bernard, B., de Vries, B. V. W., Leyrit, H., 2009. Distinguishing volcanic debris avalanche deposits from their reworked products: the Perrier sequence (French Massif Central). *Bulletin of Volcanology*, 71(9), 1041-1056.
- Bozkurt, E., and Koçyiğit, A., 1996. The Kazova basin: an active negative flower structure on the Almus Fault Zone, a splay fault system of the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 265(3-4), 239-254.
- Boztuğ, D., Yağmur, M., Nazmi, O., Tatar, S., Yeşiltaş, A., 1998. Petrology of the post-collisional, within-plate Yıldızdağ gabbroic pluton, Yıldızeli-Sivas region, central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7 (1) , 37-52.
- Boztuğ, D., 2008. Petrogenesis of the Köseadağ Pluton, Suşehri-NE Sivas, East-Central Pontides, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17 (2) , 241-262.
- Cas, R., and Wright, J. V., 1987. Volcanic successions modern and ancient: A geological approach to processes, products and successions. London, Allen and Andwin 528 pp.
- Chung, S. L., Chu, M. F., Zhang, Y., Xie, Y., Lo, C. H., Lee, T. Y., Lan, C.Y., Li, X., Zhang, Q., Wang, Y., 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism. *Earth-Science Reviews*, 68 (3) , 173-196.
- Çörtük, R. M., Çelik, Ö. F., Özkan, M., Sherlock, S. C., Marzoli, A., Altıntaş, İ. E., Topuz, G., 2016. Origin and geodynamic environments of the metamorphic sole rocks from the İzmir-Ankara-Erzincan suture zone (Tokat, northern Turkey). *International Geology Review*, 58(15), 1839-1855.
- Dokuz, A., Uysal, I., Siebel, W., Turan, M., Duncan, R., Akçay, M., 2013. Post-collisional adakitic volcanism in the eastern part of the Sakarya Zone, Turkey: evidence for slab and crustal melting. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166 (5) , 1443-1468.
- Dönmez, M., Akçay, A. E., Genç, Ş.C., Şükrü, A., 2005. Biga Yarımadasında Orta-Üst Eosen Volkanizması ve Denizel İgnimbritler. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 131, 49-61.
- Elkins Tanton, L. T., Grove, T. L. 2003. Evidence for deep melting of hydrous metasomatized mantle: Pliocene high potassium magmas from the Sierra Nevada. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B7).
- Ercan, T., Türkecan, A., Guillou, H., Satır, M., Sevin, D., Şaroğlu, F., 1998. Marmamara denizi çevresindeki Tersiyer volkanizmasının özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi* 120, 199-221.
- Ersoy, E. Y., Çemen, İ., Helvacı, C., Billor, Z., 2014. Tectono-stratigraphy of the Neogene basins



- in Western Turkey: Implications for tectonic evolution of the Aegean Extended Region. *Tectonophysics*, 635, 33-58.
- Ersoy, E. Y., Palmer, M. R., Genç, Ş. C., Prelević, D., Akal, C., Uysal, İ., (2017). Chemo-probe into the mantle origin of the NW Anatolia Eocene to Miocene volcanic rocks: Implications for the role of, crustal accretion, subduction, slab roll-back and slab break-off processes in genesis of post-collisional magmatism. *Lithos*, 288, 55-71.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F. O., Santosh, M., Yi, K., Kwon, S., Akaryalı, E. 2013. Petrogenesis and U–Pb zircon chronology of adakitic porphyries within the Kop ultramafic massif (Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey). *Gondwana Research*, 24(2), 742-766.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F. O., Santosh, M., Zhu, D. C., Yi, K., Chatterjee, N., Joong-Jeong, Y., Akaryalı, E., Liu, Z., 2016. Cenozoic forearc gabbros from the northern zone of the Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey: implications for slab window magmatism and convergent margin tectonics. *Gondwana Research*, 33, 160-189.
- Fan, W. M., Guo, F., Wang, Y. J., Lin, G., Zhang, M., 2001. Post-orogenic bimodal volcanism along the Sulu orogenic belt in eastern China. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26 (9) , 733-746.
- Genç, Ş. C., and Yılmaz Y. 1997., An example of post-collisional magmatism in Northwestern Anatolia: the Kızderbent Volcanics (Armutlu peninsula, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6(1), 33-42.
- Göçmengil, G., Karacık, Z., Genç, S.C. 2017. Lithospheric convective removal related post-collisional middle Eocene magmatism along the İzmir-Ankara-Erzincan suture zone (NE Turkey). In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 19, p. 18682).
- Göçmengil, G., Karacık, Z., Genç, Ş.C., Billor, Z., 2018. <sup>40</sup>Ar–<sup>39</sup>Ar geochronology and petrogenesis of post-collisional trachytic volcanism along the İzmir-Ankara-Erzincan suture zone (NE, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 27 (1), 1-31.
- Gökten, E., 1993. Yıldızeli (Sivas) Güneyinde Akdağ Metamorfikleri ve Örtü Kayalarının Stratigrafisi ve Tektoniği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36(1), 83-94.
- Göğüş, O. H., Pysklywec, R. N., Faccenna, C., 2016. Postcollisional lithospheric evolution of the Southeast Carpathians: Comparison of geodynamical models and observations. *Tectonics*, 35(5), 1205-1224.
- Gülmez, F., Genç, S. C., Keskin, M., Tüysüz O., 2013. A post-collision slab-breakoff model for the origin of the Middle Eocene magmatic rocks of the Armutlu–Almacık belt, NW Turkey and its regional implications. *Geological Society of London Special Publications*, 372, 107-139.
- Harris, N. B., Kelley, S., Okay, A. I., 1994. Post-collision magmatism and tectonics in northwest Anatolia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 117 (3) , 241-252.
- İnan, N., and İnan, S., 1999. Tokuş Formasyonunun yaşı ve çökelme ortamına ilişkin yeni bulgular (Sivas, Türkiye). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 42, 119-130.
- Irvine T. N., Baragar W.R, A 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8:523–548.
- Jahangiri, A., 2007. Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: Geochemical and geodynamic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30 (3), 433-447.
- Karacık, Z., 2006. Stratigraphy and volcanology of the Türkbükü volcanics: Products of a stratovolcano in the Bodrum Peninsula, SW Anatolia. *Geological Journal*, 41, 145-162.
- Karacık, Z., Yılmaz, Y., Pearce, J. A., Ece. Ö. I., 2008. Petrochemistry of the south Marmara granitoids, northwest Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 1181-1200.
- Karacık, Z., Genç, Ş. C., Gülmez, F., 2013. Petrochemical features of Miocene volcanism around the Çubukludağ graben and Karaburun peninsula, western Turkey: implications for crustal melting related silicic volcanism. *Journal of Asian Earth Sciences*, 73, 199-217.
- Karsli, O., Chen, B., Aydın, F., Şen, C., 2007. Geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sariçiçek Plutons, Eastern Turkey: implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting. *Lithos*, 98 (1) , 67-96.

- Karlı, O., Ketenci, M., Uysal, I., Dokuz, A., Aydın, F., Chen, B., Kandemir, R., Wijbrans, J., 2011. Adakite-like granitoid porphyries in the Eastern Pontides, NE Turkey: potential parental melts and geodynamic implications. *Lithos*, 127 (1) , 354-372.
- Kasapoğlu, B., Ersoy, Y. E., Uysal, İ., Palmer, M. R., Zack, T., Koralay, E. O., Karlsson, A., 2016. The petrology of Paleogene volcanism in the Central Sakarya, Nallıhan Region: Implications for the initiation and evolution of post-collisional, slab break-off-related magmatic activity. *Lithos*, 246, 81-98.
- Kay, R. W., Kay, S. M., 1993. Delamination and delamination magmatism. *Tectonophysics*, 219(1-3), 177-189.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Şen, C., 2011. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of post-collisional calc-alkaline volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20(1), 137-159.
- Kaygusuz, A., and Öztürk, M., 2015. Geochronology, geochemistry, and petrogenesis of the Eocene Bayburt intrusions, Eastern Pontides, NE Turkey: Evidence for lithospheric mantle and lower crustal sources in the high-K calc-alkaline magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences*, 108, 97-116.
- Keskin, M., Pearce, J. A., Mitchell, J. G., 1998. Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, northeastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 355-404.
- Keskin, M., Genç, Ş. C., Tüysüz, O., 2008. Petrology and geochemistry of post-collisional Middle Eocene volcanic units in North-Central Turkey: evidence for magma generation by slab breakoff following the closure of the Northern Neotethys Ocean. *Lithos*, 104 (1) , 267-305.
- Koçbulut, F. ve Tatar, O., 2001. Orta Anadolu Bindirme Kuşağının Akdağmadeni-Yavru arasındaki stratigrafik özellikleri. *Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, Cilt 18, Sayı 2, s.103-112.
- Koçbulut, F., Yılmaz-Şahin, S., Tatar, O., 2001. Akdağmadeni (Yozgat)- Yıldızeli (Sivas) Arasındaki Kaletpe Volkanitinin Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, *İstanbul Yer Bilimleri Dergisi*, 14 (1-2), 77-91.
- Kuno, H., 1966. Lateral variation of basalt magma types across continental margins and island arcs. *Bulletin of Volcanology* 29, 195-222
- Kürkçüoğlu, B., Furman, T., Hanan, B., 2008. Geochemistry of post-collisional mafic lavas from the North Anatolian Fault zone, Northwestern Turkey. *Lithos*, 101 (3), 416-434.
- Le Bas, M. L., Maitre, R. L., Streckeisen, A., Zanettin, B., & IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3), 745-750.
- Lustrino, M. 2005. How the delamination and detachment of lower crust can influence basaltic magmatism. *Earth-Science Reviews*, 72(1), 21-38.
- Marchev, P., Raicheva, R., Downes, H., Vaselli, O., Chiaradia, M., Moritz, R., 2004. Compositional diversity of Eocene-Oligocene basaltic magmatism in the Eastern Rhodopes, SE Bulgaria: implications for genesis and tectonic setting. *Tectonophysics*, 393 (1), 301-328.
- Mesci B.L., Gürsoy H., 2002. Çobansaray- Karakaya (Yıldızeli KB Sivas, Arasındaki Orta Anadolu Bindirme Kuşağının (Kuzey Neotetis Kenedi) Tektonostratigrafik ve yapısal özellikleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Seri-A-Yerbilimleri, C19, (2), 135-150.
- Mori, L., Gómez-Tuena, A., Schaaf, P., Goldstein, S. L., Pérez-Arvizu, O., Solís-Pichardo, G. 2009. Lithospheric Removal as a Trigger for Flood Basalt Magmatism in the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of Petrology*, 50(11), 2157-2186.
- MTA, 2002. Geological Map of Turkey in 1/500.000 scale. Publication of Mineral Research and Exploration Directorate of Turkey (MTA), Ankara.
- Okay, A.C., 1955. Sivas ile Tokat arasındaki bölgenin jeolojik etüdü. *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası*, B20, 95-108.
- Okay, A. I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156 (1) , 475-515.
- Okay, A., Satir, M., 2006. Geochronology of Eocene plutonism and metamorphism in northwest: evidence for a possible magmatic arc. *Geodinamica Acta*, 19 (5), 251-266.

- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V. A., Chugaev, A. V., Sharkov, E. V., 2016. Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrusk stratovolcano, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Lithos*, 256, 88-108.
- Özkan, M., Çelik, Ö.F., Özyavaş, A., 2018. Lithological discrimination of accretionary complex (Sivas, northern Turkey) using novel hybrid color composites and field data. *Journal of African Earth Sciences*, 138, 75-85.
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A. Ü., Güleç, N., 2006. Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, 226, 189-211.
- Özcan, A., Aksay, A., 1996. Tokat-Turhal-Almus-Çamlıbel Dolayının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9972.
- Peccerillo, A., Taylor, S. R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1), 63-81.
- Platzman, E. S., Platt, J. P., Tapirdamaz, G., Sanver, M., Rundle, C. C., 1994. Why are there no clockwise rotations along the North Anatolian Fault Zone? *Journal of Geophysical Research All Series*, 99, (B11), 21705-21715.
- Sahakyan, L., Bosch, D., Sosson, M., Avagyan, A., Galoyan, G., Rolland, Y., Bruguier, O., Stepanyan, Z., Galland, B., Vardanyan, S., 2016. Geochemistry of the Eocene magmatic rocks from the Lesser Caucasus area (Armenia): evidence of a subduction geodynamic environment. *Geological Society, London, Special Publications*, 428.
- Şengör, A. M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181193203-190199241.
- Sipahi, F., Sadıklar, M. B., Şen, C., 2014. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of Murgul (Artvin) volcanic rocks in the Eastern Black Sea Region (Northeast Turkey). *Chemie der Erde-Geochemistry*, 74 (3) , 331-342.
- Sümengen, M., 2013a. 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No.188, Tokat- H37 paftası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdler Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Sümengen, M., 2013b. 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No.188, Tokat- H38 paftası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdler Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Tatar, Y., 1977, Ofiyolitli Çamlıbel (Yıldızeli) bölgesinin stratigrafisi ve petrografisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 88, 56-72.
- Temizel, I., Arslan, M., Ruffet, G., Peucat, J. J., 2012. Petrochemistry, geochronology and Sr-Nd isotopic systematics of the Tertiary collisional and post-collisional volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontide, NE Turkey: implications for extension-related origin and mantle source characteristics. *Lithos*, 128, 126-147.
- Temizel, I., Arslan, M., Abdioğlu, E., Yücel, C., 2014. Mineral chemistry and thermobarometry of Eocene monzogabbroic stocks from the Bafra (Samsun) area in Turkey: implications for disequilibrium crystallization and emplacement conditions. *International Geology Review*, 56 (10) , 1226-1245.
- Temizel, I., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E., Ruffet, G., 2016. Geochronology and geochemistry of Eocene-aged volcanic rocks around the Bafra (Samsun, N Turkey) area: Constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts. *Lithos*, 258, 92-114.
- Terlemeç, İ., Yılmaz, A., 1980. Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye arasında kalan bölgenin stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*. 23 (2), 179-191.
- Topuz, G., Okay, A.I., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Zack, T., Satır, M., Şen, C., 2011. Post-collisional adakite-like magmatism in the Ağvanis Massif and implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos*, 125(1), pp.131-150.
- Turner, S., Sandiford, M., Foden, J., 1992. Some geodynamic and compositional constraints on "postorogenic" magmatism. *Geology*, 20 (10), 931-934.
- Ustaömer, P. A., Ustaömer, T., Collins, A. S., Reichpeitsch, J., 2009. Lutetian arc-type magmatism along the southern Eurasian margin: new U-Pb LA-ICPMS and whole-rock geochemical data from Marmara Island, NW Turkey. *Mineralogy and Petrology*, 96 (3-4), 177-196.



- Yılmaz, A., 1984. Tokat (Dumanlı dağı) ile Sivas (Çeltek dağı) dolaylarının temel jeoloji özellikleri ve ofiyolitli karışığın konumu. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 99/100 1-18.
- Yılmaz, A., Uysal, Ş., Bedi Y., Yusufoglu, H., Havzoğlu, T. Ağan, A., Göç, D., Aydın, N. 1995. Akdağ masifi ve dolayının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi 117, 125-138.
- Yılmaz, A., and Ercan, T., 1984. Tokat ile Sivas Arasında Yer Alan Yıldızdağı Gabrosu'nun Petrokimyasal Özellikleri. Jeoloji Mühendisliği, 20, 11-16.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yigitbas, E., Genç S.C., Şengör, A. M. C. 1997a. Geology and tectonic evolution of the Pontides. In: A.G. Robinson (Ed), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir, 68
- Yılmaz, Y., Serdar, H. S., Genç, C., Yigitbaş, E., Gürer, Ö. F., Elmas, A., Yıldırım, M., Gürpınar, O. 1997b. The geology and evolution of the Tokat Massif, south-central Pontides, Turkey. International Geology Review, 39(4), 365-382.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? Geological Society, London, Special Publications, 173, 353-384.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, I., Abdioğlu, E., 2014. Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides, northeast Turkey: implications for pre-eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. Mineralogy and Petrology, 108 (3), 439-467.





**Application of Enhanced Local Wave Number Technique to the Total Field Magnetic Anomalies for Computing Model Parameters of Magnetized Geological Structures**  
*Manyetize Olmuş Jeolojik Yapıların Model Parametrelerinin Belirlenebilmesi için Gelişmiş Lokal Dalga Sayısı Tekniğinin Toplam Alan Manyetik Anomalilere Uygulanması*

**Yunus Levent Ekinci\***<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup> *Bitlis Eren University, Faculty of Sciences and Arts, Department of Archaeology, TR-13000, Bitlis-Turkey*

<sup>2</sup> *Bitlis Eren University, Career Research and Application Center, TR-13000, Bitlis-Turkey*

Geliş/Received : 14.11.2017 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 22.02.2018 • Kabul/Accepted : 22.03.2018 • Baskı/Printed : 09.04.2018

*Araştırma Makalesi/Research Article*

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

**Abstract:** In this study, enhanced local wave number (ELWN) technique is presented to compute some model parameters of isolated and magnetized geological structures such as horizontal position (exact origin), depth and source geometry using the total field magnetic anomalies (TMAs). The technique uses analytical signal amplitude (ASA) and first- and second-degree horizontal and vertical derivatives of observed TMAs, and then simply computes the model parameters without requiring a priori knowledge about the nature of the causative magnetized body. Additionally, inclination and declination angles of both magnetization and ambient field have no effects on the results. In the ELWN technique source geometry, viz., structural index (contact/fault, dyke, horizontal cylinder and sphere) is determined using the depth and exact origin computed previously. Hypothetic simulations performed using TMAs due to some simple shaped geological models have showed the ability of the technique. Moreover, an actual magnetic data taken over the Kesikköprü iron deposit (Central Turkey), one of the largest iron reserve in Turkey, has been also analysed. A depth of 21.39 m has been computed for the magnetized geological source which includes the mafic rocks rich in magnetic properties, and the iron ore body. The structural indices obtained have indicated a dike-like or an intermediate form between a dike and a horizontal cylinder body for the magnetized source. These findings are compatible with those of a recently published study. Hence, the use of ELWN technique is proposed for rapid and reliable model parameter estimations from TMAs as an alternative or supportive experiment to the inverse modelling studies.

**Keywords:** Directional derivatives, Enhanced local wave number, Magnetized geological structures, Model parameters, Total field magnetic anomalies.

**Öz:** Bu çalışmada, toplam alan manyetik anomaliler (TMA) kullanarak izole ve manyetize olmuş jeolojik yapıların ölçüm profili düzlemindeki yatay uzaklığı, derinliği ve yapı geometrisi gibi model parametrelerinin hesaplanabilmesi için gelişmiş lokal dalga sayısı (GLDS) tekniği sunulmuştur. Teknik, ölçülen TMA'lerin analitik sinyal genliğini (ASG) ve birinci- ve ikinci-dereceden yatay ve düşey türevlerini kullanmakta ve ardından manyetik anomaliye neden olan kaynağın doğası hakkında herhangi bir ön bir bilgiye ihtiyaç duymaksızın model parametrelerini kolay bir şekilde hesaplamaktadır. Ayrıca, miktatsızlanma ve ortam manyetik alan doğrultularının (eğim ve sapma açıları) sonuçlar üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. GLDS tekniğinde yapı geometrisi, yani yapısal indeksi (kontak/fay, dayk, yatay silindirik ve küre) bir önceki hesaplamalardan elde edilen yapı derinliği ve yapının profil düzlemindeki yatay uzaklığı yardımıyla hesaplanmaktadır. Bazı basit şekilli jeolojik modellerden üretilen TMA'lerle gerçekleştirilen teorik uygulamalar tekniğin kullanılabilirliğini göstermiştir. Ayrıca, gerçek veri uygulaması olarak Türkiye'nin en büyük demir rezervlerinden biri olan Kesikköprü-Bala demir yatağında (Orta Türkiye) ölçülmüş TMA analiz edilmiştir.

\*Correspondence/Yazışma: ylekinici@beu.edu.tr



*Manyetik özellikçe zengin mafik kayalar ve demir cevherini içeren manyetize olmuş kaynak yapı derinliği 21.39 m olarak hesaplanmıştır. Yapısal indeks değerleri ise dayk-benzeri veya dayk ve yatay silindir arası manyetize olmuş bir yapıyı işaret etmiştir. Bu bulgular yeni yayınlanmış bir çalışmanın sonuçlarıyla da uyumludur. Bu nedenle, TMA'lerden hızlı ve güvenilir model parametreleri kestirimi yapabilmek için GLDS tekniğinin kullanımı ters çözüm çalışmalarına bir alternatif veya destekleyici çalışma olarak önerilmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Gelişmiş lokal dalga sayısı, Manyetize olmuş jeolojik yapılar, Model parametreleri, Toplam alan manyetik anomaliler, Yönsel türevler.

## INTRODUCTION

Magnetic method aims at investigating and exploring Earth's interior using the anomalies in the Earth's magnetic field originated from magnetic minerals (e.g. magnetite, pyrrhotite, maghemite and ilmenite) contained in the surface and subsurface rocks (Kearey et al., 2002). Although some of the rock-forming minerals are effectively non-magnetic, some types of rocks and man-made ferrous materials contain sufficient magnetic minerals to produce detectable and also observable high amplitude magnetic anomalies (Kearey et al., 2002). Thus, magnetic surveys are easily performed in many studies and range from small-scale explorations such as archaeological ruins (e.g. Drahor et al., 2008; Ekinci et al., 2014) to medium-scale surveys such as mineral/ore deposit investigations (e.g. Mandal et al., 2013 and 2015; Biswas, 2017) to large-scale explorations dealing with geological boundaries between the rocks having magnetic contrast (e.g. Ekinci and Yiğitbaş, 2012).

It is well-known that magnetic surveying is one of the earliest geophysical methods. The first magnetic survey was applied in Sweden (1640) to detect magnetic iron ores using a magnetic compass (Pilkington, 2007). Magnetic instruments were developed in the 1880s to measure the Earth's magnetic field intensity and thereafter mineral/ore deposit explorations using magnetic method became widespread (Hanna, 1990). Since the variations in the observed magnetic field reveal the distribution of magnetic minerals in the Earth's

crust, magnetic surveys are performed to detect and draw the spatial distributions of these magnetic sources (Pilkington, 2007). A large number of data processing techniques clearly simplifies the analysis of the magnetic anomalies. Among these techniques, derivative-based algorithms are widely used for both visual interpretation of anomaly maps (e.g. Oruç and Keskinsezer, 2008; Cooper and Cowan, 2006; Oruç and Selim, 2011; Balkaya et al., 2012; Büyüksaraç et al., 2014) and model parameter predictions (e.g. Nabighian, 1972; Thompson, 1982; Reid et al., 1990; Srivastava and Agarwal, 2010; Ekinci 2016; Ekinci et al., 2017). Derivative-based techniques commonly use various combinations of first- or second-degree vertical or horizontal derivatives (Ekinci et al., 2013). One of the derivative-based techniques used for the prediction of spatial parameters (i.e. depth and location) of the 2D magnetized sources (i.e. a fault/contact, a dyke, a horizontal cylinder and a sphere) is the enhanced local wave number (ELWN) which does not need any prior knowledge about the nature of the causative structure (Salem et al., 2005). Additionally, the technique uses traditional local wave number field and its phase-rotated version, namely, the vertical local wave number field which also enables to calculate the shape of the causative body (Salem et al., 2005). Here, efficiency of ELWN technique on parameter estimations from total field magnetic anomalies (TMAs) has been outlined using both synthetic data sets and a real data taken from an iron deposit, Central Turkey.

## METHODOLOGY

### ELWN Technique

Local wave number is briefly described as the rate of the change of the local phase with respect to the horizontal direction ( $x$ ) and is defined as (Thurston and Smith, 1997; Salem et al., 2005)

$$kx = \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{1}{|A|^2} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1)$$

where,  $\theta$  denotes the local phase,  $\partial T / \partial x$  and  $\partial T / \partial z$  represent the first-degree horizontal and vertical derivatives of the magnetic field  $T$ , respectively,  $|A|$  is the analytic signal amplitude (ASA) (Nabighian, 1972).

The local wave number  $kx$  over some simple shaped sources is expressed as (Smith et al., 1998)

$$kx = \frac{(n+1)(zo - z)}{(x - xo)^2 + (z - zo)^2} \quad (2)$$

where,  $zo$  and  $xo$  denote horizontal location and depth, respectively,  $n$  represents source geometry (structural index) (Thompson, 1982). Structural indices have the values of 0, 1, 2 and 3 for a contact (sheet poles), a thin dike (line poles), a horizontal cylinder (line dipoles), and a sphere (point dipole) respectively (Thompson, 1982; Salem et al., 2005; Hinze et al., 2013). Phase-rotated version of the local wave number obtained by the derivation of the local phase in downward direction is expressed as follows (Salem et al., 2005)

$$kz = \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{(n+1)(x - xo)}{(x - xo)^2 + (z - zo)^2} \quad (3)$$

Phase-rotated version of the local wave number can be also obtained as (Salem et al., 2005)

$$kz = \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{-1}{|A|^2} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \frac{\partial T}{\partial z} - \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (4)$$

Division of Eq. 2 by Eq. 3 yields a simple linear equation as

$$kx x + kz z = kx xo + kz zo \quad (5)$$

The linear equation in Eq. 5 involves Eqs. 1 and 4 and it can be solved by a conventional methods of matrix inversion (Salem et al., 2005). Once the location and the depth are determined by means of Eq. 5, Eqs. 2 and 3 are used to find the structural indices (Salem et al., 2005) which should be in the range of 2D magnetic sources (Thompson, 1982; Reid et al., 1990). More detailed description about the solution strategy of ELWN technique can be found in (Salem et al., 2005).

Here, the effectiveness of ELWN method was tested in the estimation of model parameters using some idealized hypothetical models. Applications were performed using TMA responses of a dike and a horizontal cylinder models via MATLAB based algorithms.

### Forward Equations

The general forward equation for TMA of a dike-like body is expressed as follows (Nabighian, 1972)

$$T(x) = A \frac{zo \cos \alpha + x \sin \alpha}{(x - xo)^2 + zo^2} \quad (6)$$

where,

$$A = 2kF(1 - \cos^2 i \sin^2 D) \sin d \quad (7)$$

and,

$$\alpha = 2 \left( \arctan(\tan i / \cos D) - d - 90 \right) \quad (8)$$

where,  $F$  is the Earth's magnetic field,  $k$  denotes the susceptibility contrast,  $i$  represent the inclination of Earth's magnetic field,  $zo$  is the depth to the top of the causative source,  $d$  denotes the dipping angle,  $D$  is the angle between magnetic north and positive  $x$  axis,  $xo$  represents the horizontal location of the causative body,  $x$  is observation coordinates and  $A$  is the amplitude coefficient.

For the TMA of a horizontal cylinder, forward equation can be expressed as (Prakasa Rao et al., 1986)

$$T(x) = A \left[ \frac{z^2 - (x - x_0)^2 \cos \theta + 2z(x - x_0) \sin \theta}{((x - x_0)^2 + z^2)^2} \right] \quad (9)$$

where,  $A$  denotes the amplitude coefficient,  $z$  defines the depth to the centre of the cylinder,  $\theta$  represents the effective magnetization angle or the index parameter and,  $x_0$  and  $x$  are given previously.

## SIMULATIONS

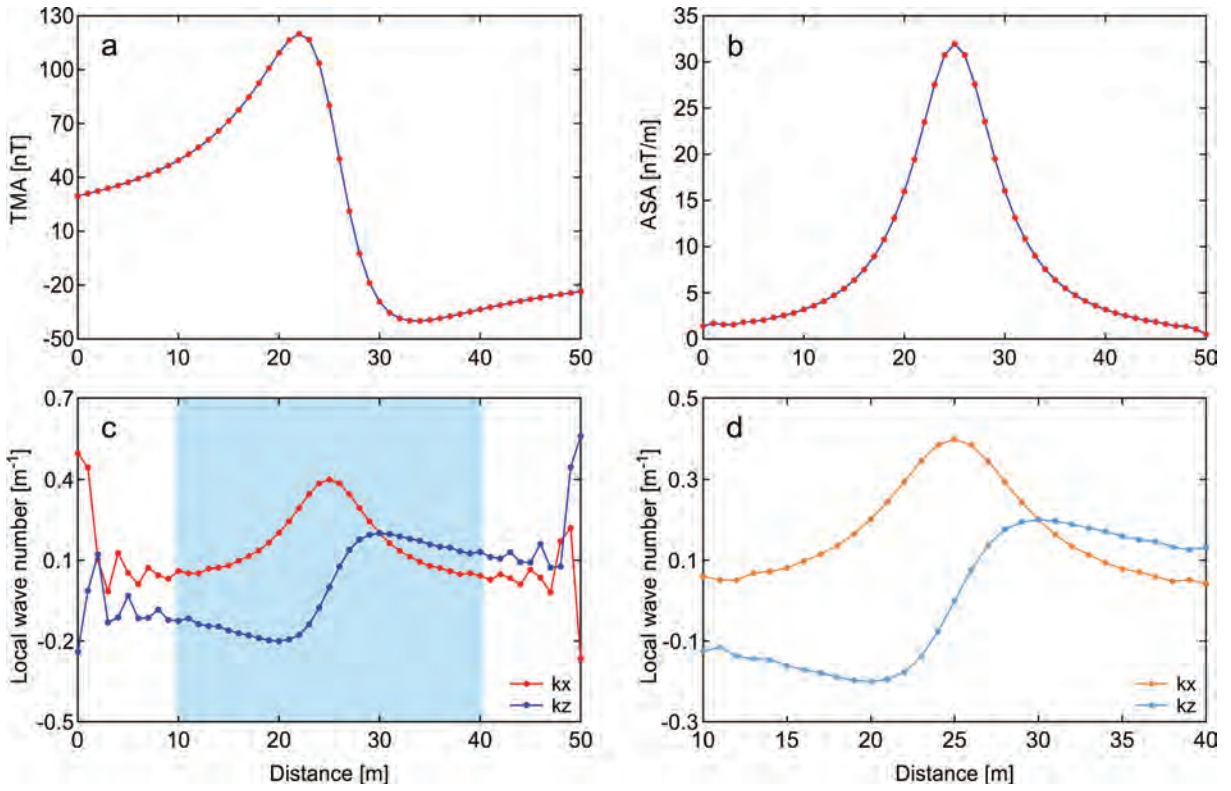
### Synthetic Examples

TMA due to a dike model was produced using Eq. 6. A 50-m long profile with a 1 m sampling interval was used. Model parameters of the dike body and the corresponding TMA are shown in Table 1 and Figure 1a, respectively. ASA values of the synthetic magnetic anomaly, demonstrated in Figure 1b, were obtained performing some frequency domain filtering operations through fast Fourier transform as defined previously by Agarwal and Srivastava (2008). It is clearly seen from Eqs. 1 and 4 that computations of local wave numbers require second-degree horizontal and vertical derivatives. Even in the absence of noise, these second-degree derivatives may cause an enhancement of undesired effects due to the nature of the computations. Thus the oscillations at the beginning and end of the profile (Figure 1c), which may cause some false solutions, were ignored in the calculations. As clearly proposed by Salem et al., (2005), a window including data points near to and centred on the high amplitude anomaly peak, highlighted by a band in Figure 1c, was used. Thus, using 31 data points (Figure 1d) source locations (horizontal position and depth) were estimated using Eq. 5 and then structural indices for each source location solution were determined by means of Eqs. 2 and 3. Here, when the structural indices computed from  $k_x$  and  $k_z$  values were far from each other, the solutions

of that data point were ignored. Application of ELWN technique produced satisfactory solutions. Results showed that the horizontal location of the causative body is 24.97 m far from the origin and obtained depth for the source is 5.1 m, which are very close to actual ones (Table 1). Structural indices computed via Eqs. 2 and 3 are 1.06 and 0.96, respectively (Table 1). These values are very close to 1, and clearly indicate a dike-like body as it should be.

For the second example, synthetic TMA (Figure 2a) caused by a horizontal cylinder model was produced via Eq. 9 using the model parameters listed in Table 2. Figures 2b and 2c show the ASA values and the local wave number fields, respectively. Undesired effects caused by the nature of computations are clearly seen in Figure 2c. Those data points observed at the beginning and end of the profile were not taken into consideration during the computations. Again, using a single window (blue band in Figure 2c) of 31 data points (Figure 2d), source location solutions were determined. Although using a data window of 31 points that is placed at the centre of the profile, some slight oscillations at the beginning and the end of the profile are seen. However, since these data points do not show sharp oscillations,  $k_x$  and  $k_z$  values of these data points were used during the computations. It must be noted that if the data window was wider, some false and undesired anomalies would occur, which would directly affect the solutions unfavourably. Results of the ELWN technique indicated a horizontal distance of 25.01 m from the origin and a depth of 5.1 m for the source model. Additionally, 2.01 and 1.89 values were obtained for the structural indices, indicating a horizontal cylinder-like body. These synthetic simulations clearly showed the feasibility of ELWN technique for model parameter estimations from TMAs.





**Figure 1.** a) TMA of dike model, b) ASA values computed from TMA, c) Local wave numbers and the data window highlighted by blue band, d) Local wave numbers used for source position and geometry calculations.

**Şekil 1.** a) Dayk modelinin TMA'si, b) TMA'dan hesaplanan ASG değerleri, c) Lokal dalga sayıları ve mavi bant ile gösterilmiş veri penceresi, d) Kaynak pozisyonu ve geometrisi hesaplamalarında kullanılan lokal dalga sayıları.

**Table 1.** True and calculated parameters of theoretical dike model.

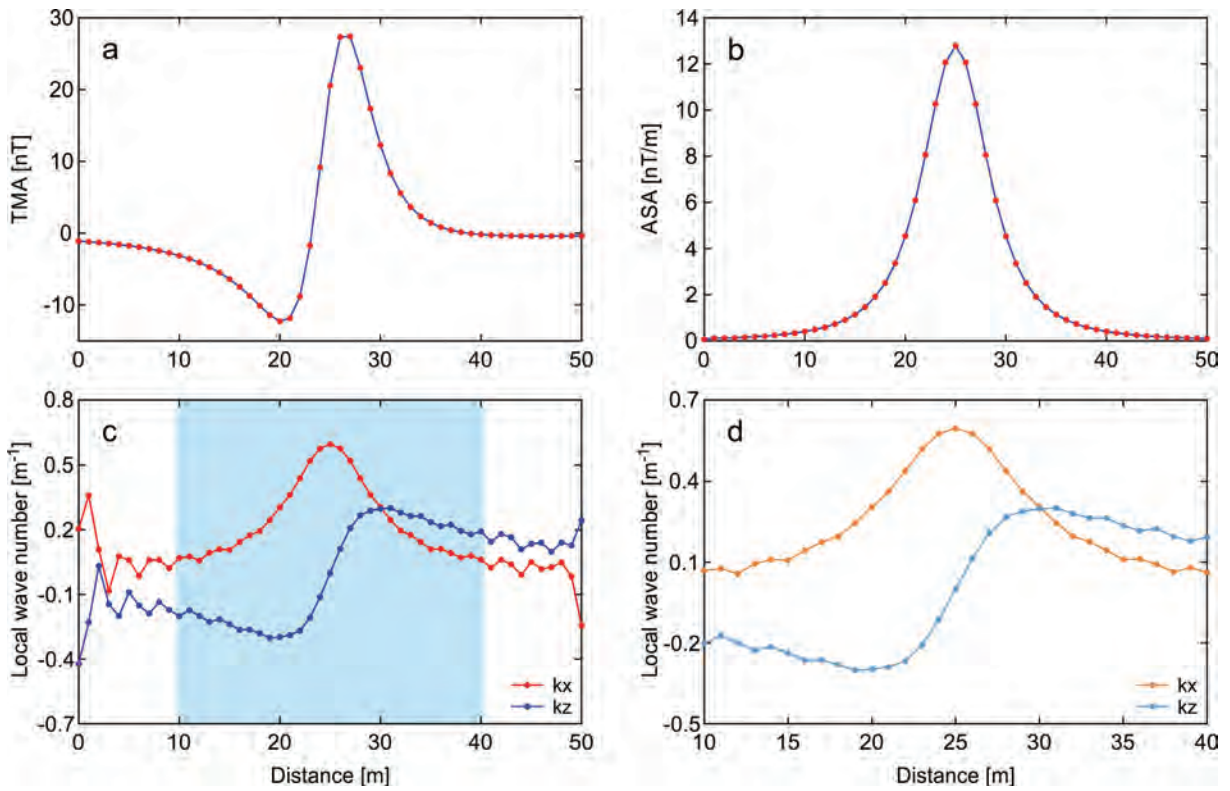
**Çizelge 1.** Kuramsal dayk modeline ait gerçek ve hesaplanan parametreler.

Parameters	True	Calculated
$A$ [nT]	800	
$z_0$ [m]	5	5.1
$x_0$ [m]	25	24.97
$i$ [°]	60	
$D$ [°]	0	
$d$ [°]	90	
$k_x$	1	$1.057 \pm 0.043$
$k_z$	1	$0.957 \pm 0.056$

**Table 2.** True and calculated parameters of theoretical horizontal cylinder model.

**Çizelge 2.** Kuramsal yatay silindir modeline ait gerçek ve hesaplanan parametreler.

Parameters	True	Calculated
$A$ [nT]	800	
$z_0$ [m]	5	5.1
$x_0$ [m]	25	25.01
$\theta$ [°]	50	
$k_x$	2	$2.013 \pm 0.061$
$k_z$	2	$1.886 \pm 0.069$



**Figure 2.** a) TMA of horizontal cylinder model, b) ASA values computed from TMA, c) Local wave numbers and the data window highlighted by blue band, d) Local wave numbers used for source position and geometry calculations.

**Şekil 2.** a) Yatay silindir modelinin TMA'si, b) TMA'dan hesaplanan ASG değerleri, c) Lokal dalga sayıları ve mavi bant ile gösterilmiş veri penceresi, d) Kaynak pozisyonu ve geometrisi hesaplamalarında kullanılan lokal dalga sayıları.

### Real Data Example

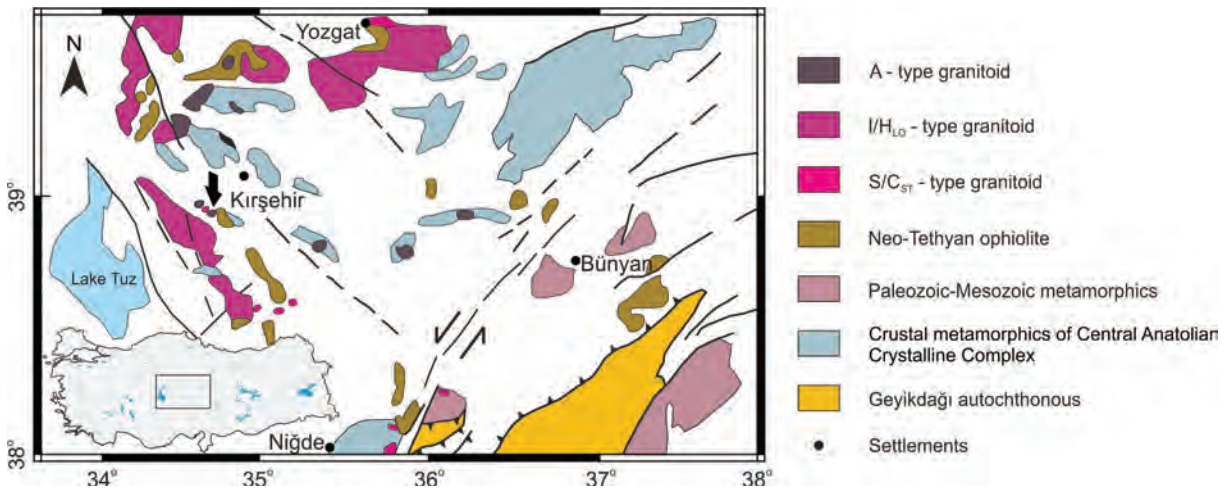
This example presents a TMA obtained from an iron deposit (Bala, Turkey). Kesikköprü iron deposit (Figure 3), located in Central Anatolian Crystalline Complex, is one of the largest iron reserve in Turkey with grades of 32-54 % Fe and total reserve of 13.6 million tonnes (Terzi and Yılmaz, 2015). Doğan et al., (1998) suggests that Kesikköprü iron deposit is a Divriği type deposit, that is, iron is not derived from granitic rocks but formed by the enrichment resulting from dissolution of source rocks. Mineralization in the deposit occurred at the contact between granitoids consisting of granite, granodiorite, monzonite and their porphyry, and crystalline limestone (locally dolomitic) and/or mafic-ultramafic rocks

composed of gabbro and pyroxenite (Terzi and Yılmaz, 2015). The basement of the area is composed of rock groups of Kırşehir massive. The basement is covered by the upper Cretaceous ophiolitic complex together with sedimentary and volcanic-volcaniclastic rocks and by a sedimentary cover of Tertiary age (Doğan et al., 1998). The skarn and vein deposits are the significant part of the metallogeny of the Central Anatolian Crystalline Complex (Kuşçu and Erler 1998). Possible origin model of the iron deposit using the information obtained from a drilling is shown in Figure 4 (Doğan et al., 1998).

The residual total field magnetic data set was obtained by General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey (MTA) within

the scope of a national project. Here, a part of this data set having a length of 120 m was used for model parameter estimation. The profile TMA was digitized using 3 m data intervals (Figure 5a). ASA and local wave number fields are shown in Figure 5b and 5c, respectively. Using a data window (Figure 5c) containing 27 data points (Figure 5d) a horizontal location of 61.81 m from the beginning of profile and a depth of 21.39 m were computed for the magnetized source. Structural indices of 1.44 and 1.32 obtained from local wave number fields suggest a dike-like model for the causative body. It must be noted that the depth to the top of the ore body is 105 m based on the drilling information (Figure 4). Therefore, it is seen that the depth obtained from ELWN technique is quite shallower than the one obtained from drilling. However, the existence of mafic rocks (Figure 4) up to 100 m depths having notable magnetic properties locally, was reported previously (Doğan et al., 1998). From this point of view, it is clear that these mafic rocks most likely effect the magnetic anomaly. The

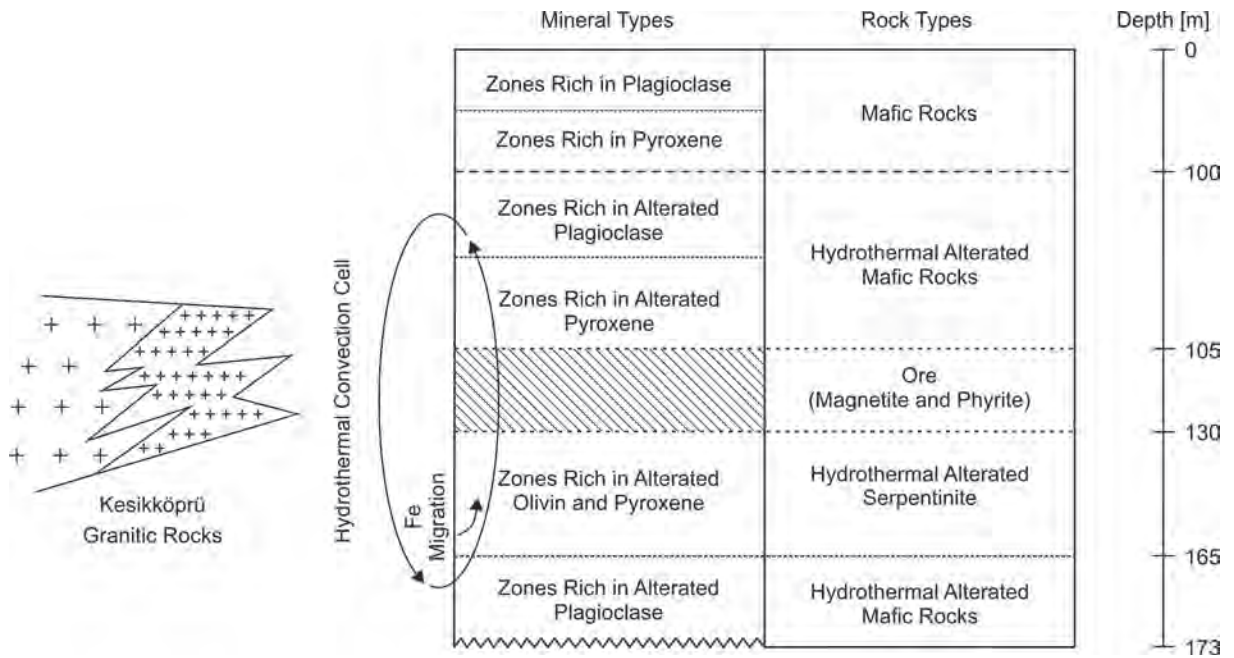
depth obtained in this study indicates the depth of the composite magnetized sources including the mafic rocks rich in magnetic properties and the iron ore body. Additionally, the residual magnetic anomaly probably results from the superposition of the mafic rocks rich in magnetic properties to the ore body. Oruç (2013) analysed this residual magnetic anomaly through continuous wavelet transform and he stated a spheric (point dipole) structure for the magnetized source having a depth of 42 m. Additionally, performing ASA inversion via differential evolution algorithm a dike-like magnetized body located at a depth of 24.4 m was reported by Ekinçi et al. (2017). It is seen that the depth obtained from this study match well with the latter one. Based on the structural index values obtained through the ELWN technique, the magnetized geological structure can be approximated to a dike-like or an intermediate form between a dike and a horizontal cylinder body.



**Figure 3.** Geographical settings of the plutonic and metamorphic rocks in the Central Anatolia, Turkey (modified after Bingöl, 1989, Boztuğ, 1998, Tatar and Boztuğ, 1998). Black arrow at the west of Kırşehir settlement shows Kesikköprü pluton.

**Şekil 3.** Türkiye orta Anodulu’da plütonik ve metamorfik kayaçların coğrafik konumları (Bingöl, 1989, Boztuğ, 1998, Tatar ve Boztuğ, 1998’den düzenlenmiştir). Kırşehir’in batısında bulunan siyah ok Kesikköprü plütonunu göstermektedir.





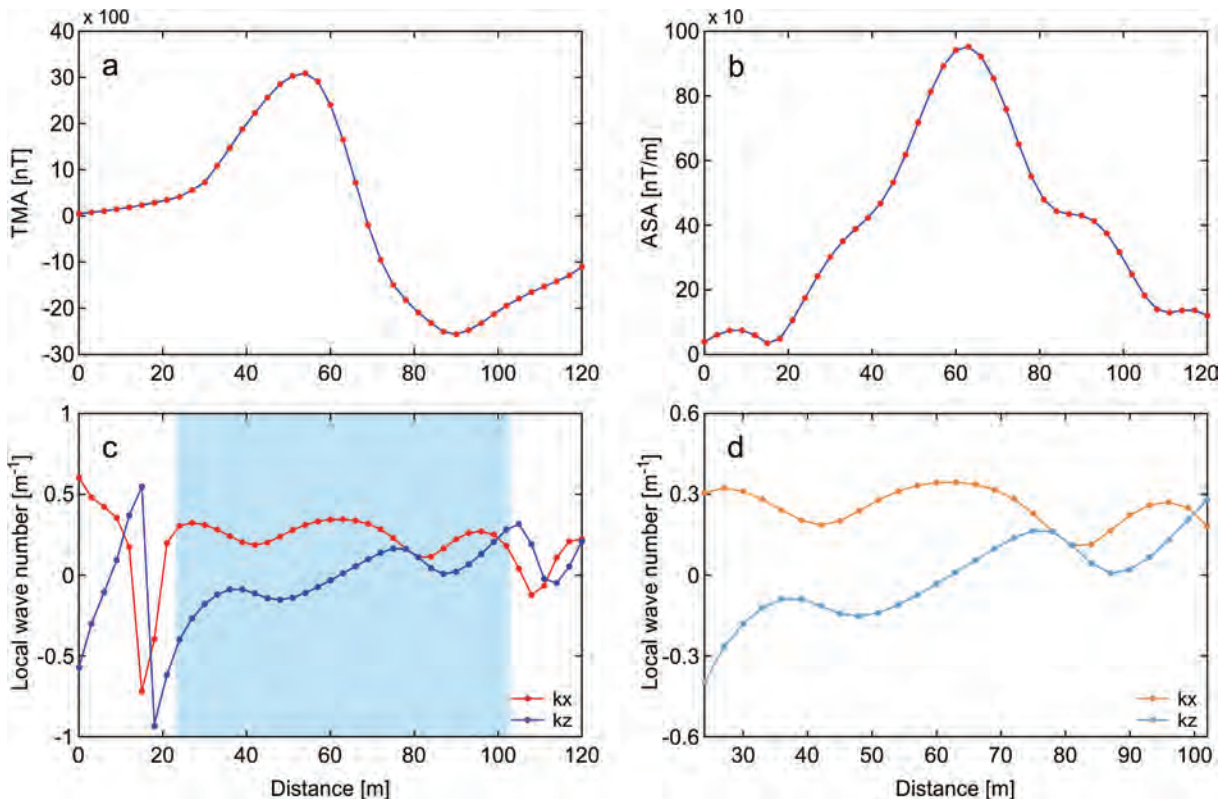
**Figure 4.** Possible origin model of Kesikköprü iron deposit based on the information obtained from a drilling (modified after Doğan et al., 1998). Not to scaled.

**Şekil 4.** Bir sondajdan elde edilen bilgiye göre hazırlanan Kesikköprü demir yatağının olası kökensel modeli (Doğan vd., 1998'den düzenlenmiştir). Ölçeksizdir.

## CONCLUSIONS

In this study one of the derivative-based techniques, named ELWN, which is used for estimating some model parameters of isolated geological structures such as exact origin, depth and source geometry using TMAs is presented. The technique uses first- and second-degree horizontal and vertical derivatives and also the ASAs of measured TMAs. One of the most important advantages of the technique is that the magnetization and ambient field directions have no effects on the solutions. Additionally, the technique does not need a prior

information for the source geometry. An important issue that should be taken into consideration when applying the ELWN technique is the selection of the data window length for the computations. If all local wave number fields ( $k_x$  and  $k_z$ ) are selected for the depth and structural index computations, unreasonable solutions may be obtained. Thus in the local wave number fields the data points having false anomalies characterized by sharp oscillations occurred due to the nature of second-degree horizontal and vertical derivatives should be removed from the computations, which may require some trial-and-error applications.



**Figure 5.** a) TMA observed over Kesikköprü iron deposit, b) ASA values computed from TMA, c) Local wave numbers and the data window highlighted by blue band, d) Local wave numbers used for source position and geometry calculations.

**Şekil 5.** a) Kesikköprü demir yatağı üzerinde ölçülen TMA, b) TMA'dan hesaplanan ASG değerleri, c) Lokal dalga sayıları ve mavi bant ile gösterilmiş veri penceresi, d) Kaynak pozisyonu ve geometrisi hesaplamalarında kullanılan lokal dalga sayıları.

Synthetic applications performed using some model bodies such as a dyke and a horizontal cylinder clearly showed the feasibility of the ELWN technique. All model parameters in each example were accurately resolved. Moreover, a real residual TMA measured on an iron deposit (Bala, Central Turkey) was also analysed. In the interpretations information obtained from a drilling was also used. This study showed that the residual TMA is caused by the ore body and also the shallower mafic rocks rich in magnetic properties. ELWN technique yielded 21.39 m depth to the top of the magnetized sources producing the superimposed residual TMAs. Additionally, structural indices obtained from

$k_x$  and  $k_z$  values indicated that the magnetized geological structure can be approximated to a dike-like or an intermediate form between a dike and a horizontal cylinder body. Both theoretical and actual anomaly examples showed that the use of ELWN technique should be a well strategy for parameters estimation problems of magnetic profile anomalies.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks Dr. Bülent Oruç for kindly providing the magnetic anomaly used in the real data example. He also thanks Can Ertekin for providing some studies about the study area. Two

anonymous reviewers are also thanked for their useful suggestions that have improved the quality of the paper.

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Yatay ve düşey türev tabanlı veri işlem teknikleri potansiyel alan (manyetik ve gravite) verilerinin yorumlanmasında oldukça sık kullanılmaktadır. Hem anomali haritalarında ilk bakışta göze çarpmayan değişimleri ve çizgisellikleri ortaya koyabilmek yani görüntü zenginleştirme amacıyla, hem de kaynak yapıların bazı model parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Profil verilerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan tekniklerden biri olan gelişmiş lokal dalga sayısı (GLDS) tekniği ile toplam alan manyetik anomaliler (TMA) kullanarak yeraltında izole olmuş jeolojik kaynakların profil düzlemindeki yatay uzaklığı, derinliği ve yapı geometrisi (yapısal indeks) gibi model parametreleri hesaplanabilmektedir. Teknik, ölçülen TMA'lerin birinci- ve ikinci-dereceden yatay ve düşey türevlerini ve de analitik sinyal genliklerini (ASG) kullanmakta ve ardından kaynak doğası hakkında hiç ön bir bilgiye ihtiyaç duymaksızın model parametrelerini kolay bir şekilde hesaplamaktadır. Yöntemin en büyük avantajlarından birisi de, elde edilen sonuçların hem kaynak manyetizasyonunun hem de genel alanın eğim ve sapma açılarından bağımsız olmasıdır. GLDS tekniğinde kaynak yapı geometrisi, yani yapısal indeks (kontak/fay, dayk, yatay silindir veya küre) bir önceki hesaplamalardan elde edilen yapı derinliği ve yapının profil düzlemindeki yatay konum bilgilerinden hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada MATLAB ortamında geliştirilen bazı algoritmalar yardımıyla GLDS tekniği ele alınmıştır. Uygulamalarda hem kuramsal olarak üretilmiş hem de gerçek arazi verileri kullanılmış ve bazı sonuçlar ortaya konmuştur. GLDS tekniğinin kullanımı aşamasında en dikkat

edilecek unsurlardan biri veri pencere boyunun seçimidir. Tekniğin matematiksel temeli birinci- ve ikinci-dereceden yatay ve düşey türevlerin hesaplanması esasına dayanmaktadır. Bu nedenle, yatay ve düşey yönde lokal dalga sayılarının hesaplanması aşamasında profil başlarında ve sonlarında özellikle ikinci-dereceden türevlerin matematiksel doğasından kaynaklanan bazı salınımlar oluşabilmektedir. Uygulamalarda bütün veri setinin hesaba katılması durumunda baş ve sonlarda oluşan bu istenmeyen yapay salınımlar hatalı olabilecek model parametrelerinin elde edilmesine neden olabilir. Bu nedenle, lokal dalga sayıları anomalilerinde eğrinin tepe noktası ve civarındaki veri noktalarını hesaba katacak uygun bir pencere boyu seçilmeli ve işlemler pencere içinde kalan veri noktalarıyla gerçekleştirilmelidir.

Dayk ve yatay silindir modellerinin ürettiği TMA'ler kullanılarak gerçekleştirilen kuramsal çalışmalarda GLDS tekniğinin yatay uzaklık, derinlik ve yapısal indeks gibi model parametrelerinin belirlenmesinde oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin en büyük demir yataklarından biri olan Kesikköprü (Bala, Türkiye) sahasından alınan TMA'de analiz edilmiştir ve jeolojik olarak anlamlı bazı bulgular elde edilmiştir. Yorumlama aşamasında çalışma sahası civarında bulunan bir sondaj verilerinden de yararlanılmıştır. Manyetik anomalinin sadece alandaki demir cevherini temsil etmediği aynı zamanda daha sık kesimlerde gözlenen manyetik özellikçe zengin mafik kayaçları da temsil ettiği belirlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen derinlik bilgisinin demir cevherine ait olmadığı, bu cevherle manyetik özellik bakımından zengin mafik kayaçların birleşiminden oluşan manyetize olmuş jeolojik birimlerin derinliği olduğu sonucuna varılmıştır. Manyetik anomali üreten bu birimlerin üst derinliği 21.36 m olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, hesaplanan yapısal indeks değerlerine göre kaynak yapının büyük olasılıkla dayk benzeri veya dayk ve yatay silindir arası bir geometriye sahip



*olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan derinlik ve yapı geometrisi yayınlanmış iki çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve sonradan yayınlanan çalışmayla uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma TMA'lerden hızlı ve güvenilir model parametreleri kestirimi yapabilmek için GLDS tekniğinin geleneksel ters çözüm tekniklerine iyi bir alternatif veya destekleyici bir araç olduğunu göstermiştir.*

## ORCID

Yunus Levent Ekinci  <https://orcid.org/0000-0003-4966-1208>

## REFERENCES

- Agarwal, B.N.P. and Srivastava, S., 2008. FORTRAN codes to implement enhanced local wave number technique to determine the depth and location and shape of the causative source using magnetic anomalies. *Computers and Geosciences*, 34, 1843–1849.
- Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Erhan, Z. and Ekinci, Y.L., 2012. Exploration for a cave by magnetic and electrical resistivity surveys: Ayvacık sinkhole example, Bozdağ İzmir (Western Turkey). *Geophysics*, 77 (3), B135-B146.
- Bingöl, E., 1989. Geological map of Turkey, scale: 1/2.000.000 (MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey) Publications).
- Biswas, A., 2017. Inversion of source parameters from magnetic anomalies for mineral/ore deposits exploration using global optimization technique and analysis of uncertainty. *Natural Resources Research*, 27, 77–107.
- Boztuğ, D., 1998. Post-collisional central Anatolian alkaline plutonism, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7, 145–165.
- Büyüksaraç, A., Yalçın, C.Ç., Ekinci, Y.L., Demirci, A. and Yücel, M.A., 2014. Geophysical investigations at Agadere Cemetery, Gallipoli Peninsular, NW Turkey. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 46 (1), 111–123.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers and Geosciences*, 32, 1585–1591.
- Doğan, B., Ünlü, T. and Sayılı, İ.S., 1998. An approach to the origin of Kesikköprü (Bala-Ankara) iron deposit. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 120, 1–35.
- Drahor, M.G., Kurtulmuş, Ö., Tuna, N., Berge, M.A., Hartmann, M. and Speidel, M.A., 2008. Magnetic imaging and electrical resistivity tomography studies in a Roman military installation found in Satala archaeological site, northeastern Anatolia, Turkey. *Journal of Archaeological Sciences*, 35, 259–271.
- Ekinci, Y.L. and Yiğitbaş, E., 2012. A geophysical approach to the igneous rocks in the Biga Peninsula (NW Turkey) based on airborne magnetic anomalies: geological implications. *Geodinamica Acta*, 25 (3–4), 267–285.
- Ekinci, Y.L., Ertekin, C. and Yiğitbaş, E., 2013. On the effectiveness of directional derivative based filters on gravity anomalies for source edge approximation: synthetic simulations and a case study from the Aegean Graben System (Western Anatolia, Turkey). *Journal of Geophysics and Engineering*, 10 (3), 035005.
- Ekinci, Y.L., Balkaya, Ç., Şeren, A., Kaya, M.A. and Lightfoot, C.S., 2014. Geomagnetic and geoelectrical prospecting for buried archaeological remains on the Upper City of Amorium, a Byzantine city in midwestern Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering*, 11 (1), 015012.
- Ekinci, Y.L., 2016. MATLAB-based algorithm to estimate depths of isolated thin dike-like sources using higher-order horizontal derivatives of magnetic anomalies. *SpringerPlus*, 5, 1384.
- Ekinci, Y.L., Özyalın, Ş., Sındırgı, P., Balkaya, G. and Göktürkler, G., 2017. Amplitude inversion of 2D analytic signal of magnetic anomalies through Differential Evolution Algorithm. *Journal of Geophysics and Engineering*, 14, 1492–1508.
- Hanna, W.F., 1990. Some historical notes on early magnetic surveying in the U.S. Geological Survey. In Hanna, W.F., (ed.), *Geologic Applications of Modern Aeromagnetic Surveys*. United States Geological Survey Bulletin, 1924, 63–73.
- Hinze, W.J., Von Frese, R.R.B. and Saad, A.H., 2013. *Gravity and magnetic exploration: principles, practices, and applications*. New York, Cambridge University Press.
- Kearey, P., Brooks, M. and Hill, I., 2002. *An introduction to geophysical exploration*. Oxford, Blackwell.

- Kuşcu, İ. and Erler, A., 1998. Mineralization events in a collision-related setting: the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *International Geology Review*, 40, 532–565.
- Mandal, A., Biswas, A., Mittal, S., Mohanty, W. K., Sharma, S. P., Sengupta, D., Sen J. and Bhatt, A.K., 2013. Geophysical anomalies associated with uranium mineralization from Beldih mine, South Purulia Shear Zone, India. *Journal of the Geological Society of India*, 82 (6), 601–606.
- Mandal, A., Mohanty, W.K., Sharma, S.P., Biswas, A., Sen, J. and Bhatt, A.K., 2015. Geophysical signatures of uranium mineralization and its subsurface validation at Beldih, Purulia District, West Bengal, India: A case study. *Geophysical Prospecting*, 63, 713–724.
- Nabighian, M.N., 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507–517.
- Oruç, B., 2013. Determination of horizontal locations and depths of magnetic sources using continuous wavelet transform. *Yerbilimleri*, 34, 177–190.
- Oruç, B. and Keskinsezer, A., 2008. Detection of causative bodies by normalized full gradient of aeromagnetic anomalies from east Marmara region, NW Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, 65, 39–49.
- Oruç, B. and Selim, H., 2011. Interpretation of magnetic data in the Sinop area of Mid Black Sea, Turkey, using tilt derivative, Euler deconvolution, and discrete wavelet transform. *Journal of Applied Geophysics*, 74, 194–204.
- Pilkington, M., 2007. Aeromagnetic surveying, in *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*, In Gubbins, D., and Herrero-Bervera E., (ed.), Springer, Dordrecht, pp. 1–3.
- Prakasa Rao, T.K.S., Subrahmanyam, M. and Srikrishna Murthy, A., 1986. Nomograms for direct interpretation of magnetic anomalies due to long horizontal cylinders. *Geophysics*, 51, 2156–2159.
- Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J. and Somerton, I.W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55, 80–91.
- Salem, A., Ravat, D., Smith, S. and Ushijima, K., 2005. Interpretation of magnetic data using an enhanced local wave number (ELW) method. *Geophysics*, 70, L7–L12.
- Smith, R.S., Thurston, J.B., Dai, T. and MacLeod, I.N., 1998. iSPI—The improved source parameter imaging method. *Geophysical Prospecting*, 46, 141–151.
- Srivastava, S. and Agarwal, B.N.P., 2010. Inversion of the amplitude of the two-dimensional analytic signal of the magnetic anomaly by the particle swarm optimization technique. *Geophysical Journal International*, 182, 652–662.
- Tatar, S. and Boztuğ, D., 1998. Fractional crystallization and magma mingling/mixing processes in the monzonitic association in the SW part of the composite Yozgat batholith (Şefaatli–Yerköy, SW Yozgat). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7, 215–230.
- Terzi, M.H. and Yılmaz, E., 2015. Geology and alteration mineralogy of Kesikköprü (Bala-Ankara) iron-oxide deposit. *The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*, 7-11 September, Prague (Czech Republic), pp. 243.
- Thompson, D.T., 1982. EULDPH: a new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47, 31–37.
- Thurston, J.B., and Smith, R.S., 1997. Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using the SPI method. *Geophysics*, 62, 807–813.



**Biga Yarımadasında Jeodeğerler ve Jeoturizm Potansiyeli**  
*Geoalue and Jeoturizm Potential of Biga Peninsula*

**Ayten Çalık<sup>1,2</sup> , Sevinç Kapan<sup>2</sup> , R. Cüneyt Erenoğlu<sup>3</sup> , Oya Erenoğlu<sup>4</sup> ,**  
**Cumali Yaşar<sup>5</sup>, Emin Uğur Ulugergerli<sup>6</sup> **

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Yer bilimleri ve Doğa Tarihi Müzesi, 17020 Çanakkale

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bölümü, 17020 Çanakkale

<sup>3</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Harita Müh. Bölümü, 17020 Çanakkale

<sup>4</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Coğrafya Öğretmenliği Bölümü, 17020 Çanakkale

<sup>5</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Tömer, 17020 Çanakkale

<sup>6</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeofizik Müh. Bölümü, 17020 Çanakkale

Geliş/Received : 14.11.2017 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 02.04.2018 • Kabul/Accepted : 05.04.2018 • Baskı/Printed : 27.04.2018

*Araştırma Makalesi/Research Article*

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

**Öz:** Çanakkale ili sınırları içinde yer alan, jeolojik olarak önemli ve toplumun ilgisini çekebilecek, birbirinden yapısal olarak farklı üç ayrı jeolojik oluşumun jeopark veya jeodeğer olarak değerlendirilebilmesi için yapılması gerekenler özetlenmiştir. Örnek alanlar olarak Tuzla jeotermal alanı sıcak su çıkışları, Kestanbol-Yahya Çavuş köyü antik granit sütunları ve Yenice Köyü opal sahası ele alınmıştır.

Gerek bilimsel gerekse turistik değeri olan alanların korunmasının bir yolu tanıtma ve ziyarete açmaktır. Yerbilimleri müzeleri de bu alanların ortaya çıkarılması ve tanıtılmasında katkı verecek önemli kurumlardır. Bu çalışmada önerilen, uygulaması kolay bir izlenice her üç sahada da güncel durumu tanımlama ve geleceğe yönelik yapılacakları belirlemek için kullanılmıştır. İlk sonuçlara göre Tuzla Jeotermal alanı basit birkaç düzenleme ile kullanılabilir iken Kestanbol, Yahya Çavuş Köyü sahalarının güncel halleri ile jeoturizm amacı ile kullanılmayacağı ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Jeodeğer, Jeolojik miras, Jeopark, Jeonokta, Yerbilimleri Müzesi

**Abstract:** It is summarized what needs to be done and to be able to utilise three structurally different geological formations within the Çanakkale province as geo-parks or geoalue that can attract geologically important and interesting societies. As examples, hot water springs of Tuzla geothermal area, ancient granite columns of Kestanbol-Yahya Çavuş village and opal pit of Yenice village are taken as examples. It is also emphasized that besides the areas highlighted, all other possible areas have their own specific conditions and that ignoring these conditions may cause permanent damages to the area. Earth science museum are also important institutions that will contribute to the discovery and introduction of these fields. As a way of preserving areas that are both scientific and tourist attraction, we have also listed our views on the importance of opening up and exploring to public and the negativity of this activity. According to the first results, while the Tuzla Geothermal field could be used with a few simple arrangements but Kestanbol and Yahya Çavuş villages could not be used for the purpose of geotourism with its current state of the fields.

**Keywords:** Geoalue, Geological heritage, Geopark, Geopoint, Earth Science Museum



## GİRİŞ

Yerbilimleri genelde endüstriyel hammadde sağlamak ve yer araştırmaları yapma ile sınırlı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımın dışında kalan uygulamalar mesleki tanıtımlarda genel olarak göz ardı edilir ve ilgili meslekler dar bir çerçeveye içine oturtulurlar. 1991 de yayınlanan Digne Bildirgesi (Barettino vd., 1999a-b; Kazancı vd., 2015) yerbilimleri için korumacılık görevinin, akademik sınırlar dışında da konuşulmasının ve tartışılmasının yolunu açmıştır. Bu bağlamda “Jeolojik Koruma” yerkürenin organik ve inorganik ayrımı yapmadan korunması gerektiğini, jeolojik oluşumların dünyanın geçmişinin yanı sıra insanoğlunun tarihsel süreci hakkında da bilgi içerdiği (Kazancı vd., 2017) ve korunmasının gerekliliği genel anlamda kabul görmeye başlamıştır. Koruma teriminin kapsamı ve uygulama biçimi hakkında yapılan yayınlar bu konunun öneminin anlaşıldığının bir işaretidir. Kazancı vd. (2017), Türkiye’deki koruma çalışmalarına duyarlılığın 70’li yıllardan itibaren başladığını göstermektedir (Ketin, 1970; Arpat, 1976; Arpat ve Güner, 1976; Öngür, 1976). Ancak, bu yayınların etkisinin akademik sınırlar içinde kaldığı kabul edilmelidir.

Bu çalışmada, Biga yarımadasında yer alan, jeolojik olarak önemli ve toplumun ilgisini çekebilecek jeolojik oluşumların jeopark (geopark) veya jeosit olmasa da “jeodeğer” olarak nasıl tanıtılabileceği, bölge turizmüne katkı olarak ziyarete açılabilmesi ve korunması için neler yapılabileceği konusunda görüşlerimize yer verilecektir. İzleyen bölümlerde, jeodeğer terimi, “Jeokoruma” (Geoconservation) etkinliği ile birlikte anılmak üzere kullanılmıştır. Bu çalışmada Jeodeğer, jeolojik olarak önemli, bilimsel gözlem yerinin Türkiye Jeolojik Miras Envanteri’ne<sup>1</sup> dâhil olup olmadığına bakılmaksızın korunması gereken yeri tanımladığı anlaşılmalıdır. Yer kelimesi yerbilimleri özelinde

daraltılarak doğrudan veya dolaylı olarak jeolojik açıdan özgünlüğü olan alanlara işaret etmektedir. Çanakkale etrafında önerilen Jeodeğerlerin tanımlama/tanıtım/koruma aşamalarına ÇOMÜ Mühendislik Fakültesi bünyesinde yer alan Yerbilimleri ve Doğa Tarihi Müzesi -YBDTM (Çalık, 2016a-b) katkı koymaktadır. Bu amaçla, yerel halk tarafından müzeye ulaştırılan bilgiler değerlendirilmekte, gerekli durumlarda önerilen projeler ile (örn. Çalık, vd. 2017b) alan ile ilgili bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların sürecinde gözlemlenen hasara uğrama hızı Digne Bildirgesinde önerilen koruma unsurlarına ek olarak yerel anlamda da koruyucu adımların atılması zorunluluğunu ortaya koymuştur. Bu adımlar yerel yönetimlere yük getirmeyecek, aksine tanıtım etkinliklerine katkı koyarak, bu girişimi teşvik edecek biçimde önerilmiştir. Bu konudaki güncel yayınlar genel olarak bilimsel sınırlar dahilinde hazırlanmış durum raporu ve yerel olanaklara bakılmaksızın yapılması gerekenler üzerine yoğunlaşırken bu çalışma daha çok yerel olanaklar ile neler yapılabileceği üzerine odaklanacaktır. Bu yayına konu olan çalışmanın sunuşu, Çanakkale ve çevresindeki turizm etkinlikleri katkı olarak jeodeğerlerin jeoturizm (Geotourism ayrıca Jeolojik Turizm) amacı için nasıl kullanılabilmesine üzerine kurgulanmıştır. Önce Çanakkale ili özelinde turizm hareketliliğinin güncel durumu verilecektir. İzleyen bölümde jeodeğer tanımına bağlı olarak bir çalışma yapılabilmesi için basit bir izleneye sunulacaktır. Bu izleneye, il sınırları içerisinde var olan özgün alanlardan üçü örnek alınarak yerel anlamda eksiklikler ve yapılması gerekenler üzerinde görüşlerimizi içerecektir. Tartışma bölümünde, jeolojik mirası koruma çalışmalarında, kullanıma açma konusu üzerine satır başları ele alınacaktır.

## ÇANAKKALE VE ÇEVRESİNİN TURİZM HAREKETLİLİĞİ

Çanakkale ili turistlerin yoğun olarak geldiği ancak hem İstanbul ve İzmir gibi büyükşehirlerle

<sup>1</sup> <http://www.jemirko.org.tr/turkiye-jeolojik-miras-envanteri/> (erişim tarihi 01/03/2018)

yakınlığı hem de yerli ve yabancı turistlerin yerel zenginliklerin ve turistik değerlerin farkında olmaması nedeniyle bir durak değil geçiş noktası olarak görüldüğü bir konumdadır (GMKA, 2012). Bunun sonucunda Türkiye genelinde turistlerin (yerli ve yabancı karışık) ortalama konaklama süresi 3.2 gece/turist iken, Çanakkale’de bu süre ortalama 1.4 gece/turist olarak gerçekleşmiştir (GMKA 2012). Bu durum 2017 yılına kadar fazla değişmeden gelmiştir ve il genelinde turizmden elde edilecek getiriler üzerindeki olumsuz yansımaları sürdürmektedir.

Bu sorunun temelinde, turizm hareketliliğinin ağırlıklı olarak Gelibolu Milli Parkı (Kurnaz vd., 2013), yetersiz de olsa termal tesisler (Bucak ve Özkaya, 2013) ve deniz üçgeni ile sınırlanmış olması yatmaktadır. Çözüm olarak turistik ürünlerin çeşitliliğinin artırılması gerektiği çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiştir (Aydoğan, 2002; Kelkit, 2003; Özel, 2004; Yıldırım vd., 2008).

Bu öneriden hareketle Biga Yarımadası’nda jeo-turizm potansiyelinin ortaya konması hedeflenmiştir. Jeo-turizm, önemli jeolojik mirasların ve jeolojik açıdan ilginç unsurların aktif bir öğrenme deneyimi ile alan geliştirme bilgisine dayanan sürdürülebilir bir turizm biçimidir. Jeoturizm, karst alanlarını, kaya kentlerini, paleontolojik olarak ilgi çekici alanları veya eski maden alanlarını içeren ve Jeopark olarak adlandırılacak alanlarda yapılan profesyonel bir kurgu ile bilimsel olmayan yorum ve/veya animasyon ile çeşitlendirilmiş coğrafik kılavuz (geo-guide) ile yapılan gezi olarak tanımlanabilir (Kazancı, 2010).

Jeopark’taki geleneksel turistik etkinlikler arasında, dağ yürüyüşleri, derelerde amatör altın aramacılığı (gold-washing), gezilen alanın kültür tarihini keşfetmek (açık hava müzeleri, taslak atölye çalışmaları, yerel ürünlerin tadına bakma ve satın alma vb.) sayılabilir.

Biga yarımadası içerdiği Kazdağları Masifi ve diğer jeolojik unsurları ile jeoloji literatürüne çok sık konu olmasına rağmen (örn. Bingöl, 1969) bu unsurların turistik değeri için yeterince ilgi görmemiş ve bu konu pek ele alınmamıştır. Yerbilimleri ve Doğa Tarihi müzesinin kurulmasını ve halk arasında bilinirliğinin artmasına koşut olarak yerel halktan alınan geri bildirimler ve araştırmalarla (Çalık vd., 2017a) belirlenen jeoturizm için ilgi çekebilecek alanlara örnekler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

1. Tuzla jeotermal alanı sıcak su çıkışları,
2. Kestanbolu, Yahyaçavuş köyü antik granit sütunları,
3. Yenice Köyü-opal sahası,
4. Ayvacık opal sahası,
5. Çan – Kazmalı köyü Fosilleri,
6. Karabiga, NATO üssü– Ametist oluşumları,
7. Biga - Yeni Mahalle, silisleşmiş ağaç ormanı,
8. Biga - Dikmen köyü, krizopras oluşumları,
9. Granit sahaları,
10. Gelibolu tuz gölleri.

Bu alanların bir kısmı hali hazırda bazı yayınlara konu olmuştur (Satır, 2004; Gürler vd., 2008; Ünlü ve Alpar, 2017) ve Türkiye Jeolojik Miras Envanteri’ne eklenmiştir (İnaner ve Savaşın, 1999) ancak Biga yarımadasındaki önemli jeodeğerler anılan jeolojik unsurlarla sınırlı değildir. Bölge, daha kapsamlı çalışmalara ev sahipliği edebilecek doluluktadır.

## **ÇOMÜ YERBİLİMLERİ VE DOĞA TARİHİ MÜZESİ (YBDTM)**

Kısaca YBDTM olarak tanımlanan müze, ÇOMÜ Mühendislik Fakültesi bünyesinde, Eylül 2009 tarihinden itibaren sistematik olarak örnek toplamaya başlamış ve T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel

Müdürlüğü tarafından 01.09.2014 tarih 60960384 – 151.01.01 167889 sayılı yazı ile T.C. Kültür Bakanlığı denetiminde özel müze statüsünde müzeler listesinde “Yerbilimleri ve Doğa Tarihi Müzesi” olarak yerini almış bir üniversite müzesidir (Kıyak vd., 2012; Çalık vd., 2014a, 2014b, 2017b; Çalık, 2016a-b). Yerbilimlerinin yanı sıra 2017 yılında Biyoloji bilimine ait örnekleri de ziyaretçilerine sunmaya başlamıştır. Kuruluş amaçlarından birisi de bölgenin önemli jeolojik unsurları üzerinde çalışmalar yapmak ve tanıtmaktır. Kuruluş aşamasında fiziksel müzenin yanında e-müze olarak sanal ortamda da hizmet vermeye başlamış ve bu özelliği ile alanında Türkiye’deki ilk e-müze (<http://ybm.comu.edu.tr>) olmayı başarmıştır (Kıyak vd., 2012; Çalık, vd., 2014a-b).

YBDTM bölgedeki ilgiyi üzerinde çekmesi ile birlikte, bölgedeki çeşitli jeolojik oluşumlar için bilgi akışının başlamasına neden olmuştur. Bu konuda projeler önerilerek bu alanların bilim dünyasına kazandırılması için çalışmalara başlanmıştır (Çalık vd., 2017a). Müzeye ulaşan bilgiler genelde bilimsel çevrelerde bilinen alanları işaret etmektedir. Ancak, çoğunlukla karşılaşılan önerilen alanların yerel halk dışında kimse tarafından bilinmediği iddiası, bilimsel olarak çalışılmış olmanın yerel halka katkısının yok denecek kadar az olduğunu göstermektedir. YBDTM bu anlamda anılan ve benzer konularda salt bilimsel çalışmalar yapmanın yanında Çalık vd., 2018; Uzunoglu vd., 2018) bilimsel sonuçların katkısı ile yerel halka yönelik girişimlerin de önünü açmayı amaçlamaktadır. Her ne kadar olası yıkıcı sonuçları olsa da ilginç jeolojik unsurların tanıtılması ve turistik çekim noktası olarak kullanılmasını anılan amaca hizmet edebilecek bir yoldur.

## ÇALIŞMA YÖNTEMİ: İZLENCE

Bir jeodeğerin turizme kazandırılması için önerilen taslak projeler ana başlıklar olarak ele alındığında sahanın tanıtımı, erişimi, güncellenmesi ve çevresindeki yaşam alanları ile etkileşimi önemlidir. Doğaseverlere rehberlik edecek ve jeolojik güzellikleri yerinde gösterebilecek bir doküman ve gezi veri tabanı çıkarılması gözetilir.

Örnek çalışma olarak Bayramiç bölgesinde bulunan yarı değerli taş sınıfındaki opal oluşumları ile Tuzla çevresindeki sıcak su çıkışları başta olmak üzere Yarımada’da bulunan ama pek bilinmeyen jeolojik değerlere yönelik kısıtlamaları da içeren bir taslak izlençe Çizelge 1’de verilmiştir.

Önerilen izlençe yapılabilecek çalışmanın ana hatlarını içerdiğinden jeodeğerin özelliğine bağlı olarak geliştirilmelidir. Unutulmaması gereken ayrıntı ise bu izlencenin Digne Bildirgesi veya ProGEO yayınlarında yer aldığı gibi olaya daha küresel ve bilimsel yaklaşan metinlerin yerine geçme eğilimini olmadığına bilinmesidir. Basitçe vurgulanırsa, bu öneri küreselden yerele geçişi sağlama görevi yüklenmektedir.

Bu tür girişimler temel olarak tanıtım – etkileşim – gelişme üçgeninde ele alınabilir. Tanıtımın güncel teknolojiler ile yapılması kuramsal olarak zorunluluk olsa da aslında hedef kitleye erişimde büyük bir kolaylıkta sağlamaktadır. Akıllı telefonların yaygınlaşması kullanım kolaylıkları bu tür çalışmaları kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmaların başarısı için yerel halk ve yönetimler ile etkileşimin olumlu yönde sağlanması için yeterli bilgi akışı olmalıdır. Küçük yerleşim yerlerine oluşturulacak yoğun ziyaretçi trafiği yerel sosyal dokuda olduğu kadar çevrede var olan endemik türler içinde sorun yaratabilir (Yüksek vd., 2008). Gelişme, sürecin bir parçası olarak gerek tanına bilirliliğin artması gerekse çevredeki yeni alanların bulunup belgelenmesi olarak bu çalışmalara katkı koyacaktır.

### Çizelge 1. Taslak izlençe

Table 1. Proposed road map

A) Tanıtım işlemi günümüz teknolojisine uyumlu olmalıdır.	a. Web üzerinden adanmış web sayfaları, özellikle wikipedia gibi uluslararası alanda başvuru ve çok dilli yayın yapan başvuru kaynakları uygundur. Yerel yönetimler kendi tanıtım etkinliklerine kısmen de olsa dahil etmiştir. b. Akıllı telefon ve tabletlerdeki bölgeye özel hazırlanmış uygulamalar kullanılmalıdır. c. Yerel yönetimler kendi tanıtım etkinliklerine dâhil etmelidir.
B) Bölgede var olan yerbilimleri ile ilgili müzeler bu tanıtıma teknik bilgi ile destek sağlamalıdır.	a. Müzede sunulacak jeodeğere ait örnekler ve konum bilgisi çekim merkezleri yaratacaktır b. Müze yetkilileri dönemsel olarak alan ziyareti ile varsa koruma için gerekli önlemleri ilgili birimlere aktarmalıdır. Saha ziyaretleri amacıyla yerel yönetimlerde fon ayrılması önemlidir.
C) Araç ile en yakın yerleşim birime ulaşım yollarının tanımlanması gereklidir.	a. Küçük yerleşim yerlerinde araç park yerlerinin sorun olabileceği hatırlanmalıdır. b. Küçük yerleşim yerlerinde veya çevresinde beslenme ve dinlenme amacına uygun olanaklar olması önemlidir c. Organik tarım yapılan alanlarda 25 km uzağa kadar araç girişinin olmayacağı göz önüne alınmalıdır
D) Doğaseverler için yürüyüş güzergâhları hazırlanmalıdır.	a. En yakın yerleşim yerinden veya uygun bir alandan yürüyerek jeodeğere erişim yolları belirlenmelidir. Sıcak su çıkışlarının olduğu yerlerde uyarı levhaları bulunmaktadır. b. Bu konuda yetkin rehberlerden destek alınması önemlidir. c. Gerekli yerlere tehlike uyarıları konulmalı ve zaman içinde güzergâh denetlenmelidir.
E) Jeodeğerinin havadan fotoğrafları ile desteklenecek akıllı telefon ve tablet uygulaması ile önerilen oluşum doğasevere sunulmalıdır.	a. Jeodeğerinin özelliğine bağlı olarak uygulamada görülmesi gereken değerler belirtilmelidir b. Uygulamalar güncel fotoğraf yüklemeye olanak vermelidir. Denetim işlemini kolaylaştırıcaktır, c. Çevrede bulunan olası yeni jeodeğerlerin keşfi için kullanıcıların yeni konumlar eklemesi sağlanmalıdır

### TUZLA JEOTERMAL SAHASI

Biga Yarımadası'nın güneybatısında, Ayvacık ilçesinin batısında yer alan Tuzla Köyü, Karesi Beyliği döneminde (~700 yıl önce), Kızılca Tuzla adı ile kurulmuştur (Şekil 1). Bölgenin idari, ilim ve sağlık merkezi olarak tanınmıştır. Günümüzde daha çok Jeotermal enerji ile anılır olmuştur. Tuzla jeotermal sahası, Tuzla köyünün güney doğusunda yer alan Tuzla tepesinin eteklerindeki alanı kapsar ve etkin bir jeotermal bölgedir. Tuzla tepesinin eteklerinden çıkan sıcak suyun çıkış noktalarındaki sıcaklığı 35-110 derece arasında değişmekte ve denetimsiz olarak çevreye yayılmaktadır (Baba

vd., 2008). Büyük olasılıkla Kızılca Tuzla ismi de kimyasal içeriği zengin sıcak suların neden olduğu renklendirme nedeniyle verilmiştir (Şekil 1a siyah oklar ve Şekil 2a).

Bölgedeki jeolojik birimler magmatik ve sedimanter kayaların varlığı ile temsil edilirler (Şekil 1b). Çalışma alanında volkanik kayalar geniş yer kaplarlar. Bölgede riyolitik tüf ve aglomeralarla etkin olmaya başlayan volkanizma daha sonra trakitik-trakiandezitik lavlar ve son olarak riyolitik tüf ve ignimbitler ile devam etmiştir (Erenoğlu vd., 2015). Volkanizma birkaç evreli olarak tüm Miyosen zamanı boyunca etkin



olmuştur. Miyosen volkanizmasında ayrıntılı çalışmalar yapan Öngür (1973), volkanik etkinliğin Ayvacık-Babakale ve Behram (Assos) volkanları olmak üzere üç volkanik merkezde toplandığını belirtmiştir. Volkanizmanın en son ürünü ignimbritler üzerinde Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı çökeller yer alır. Kuvaterner yaşlı alüvyon malzemeler ise Tuzla ovasında tüm birimleri uyumsuzlukla örter.

Tuzla tepesinin etrafından çıkan sıcak sular çoğunlukla Tuzla çayına akmaktadır. Tuzla tepesinin güneyinde iki önemli su çıkışı daha bulunmaktadır (Şekil 1a de “b ve c” ile gösterilen siyah oklar). Az tanınan bu kaynaklardan çıkan sular nedeniyle oluşan küçük bir dere (Şekil 1a yeşil oklar) Tuzla çayına bağlanmaktadır. Bu derenin 35-38 dereceye ulaşan sıcak suyunda yaşayan ve boyaları 2-3 santimetre arasında değişen Cyprinodontidae familyasından, Aphanis Genusuna ait ve Fasciatus türüne yakın özellikte bir balık türü yaşamaktadır (Şekil 2b)<sup>2</sup>.

Endemik olma ihtimali bulunan bu balık, bölgede jeotermal enerji üretimi yapan kurumların sosyal sorumluluk projesi çerçevesinde koruma altına alınarak, dere tel örgüyle çevrelenmiştir. 2016 yılında yaşanan Ayvacık deprem fırtınası<sup>3</sup> ile tekrar gündeme gelen bu alan jeodeğer olarak değerlendirilebilecek ziyaret alanlarına ev sahipliği yapmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde serbestçe ziyaret edilebilen sıcak su pınarları ele alınmıştır. Güncel durumda çevre temizliği en büyük sorundur. Jeodeğer olarak tanımlama yapılırken izlence ile karşılaştırıldığında mobile uygulamanın eksikliğinin yanı sıra yerel özelliklere bağlı ayrıntılar öne çıkmaktadır (Çizelge 2).

## Çizelge 2. Tuzla jeotermal jeodeğeri için izlence

Table 2. Road map for Tuzla hot springs

A) Tanıtım işlemi günümüz teknolojisine uyumlu olmalıdır.	a. Web üzerinden adanmış web sayfaları yetersizdir. b. Yerel yönetimler kendi tanıtım etkinliklerine kısmen de olsa dahil etmiştir.
B) Bölge de var olan yerbilimleri ile ilgili müzeler bu tanıtıma teknik bilgi ile destek sağlamalıdır.	a. YBM –Biyoloji birimi altında örnek henüz bir balık örneği bulunmamaktadır.
C) Araç ile en yakın yerleşim birime ulaşım yollarının tanımlanması gereklidir.	a. Tuzla'ya ulaşım Ezine Gürpınar yolundan sağlanmaktadır. b. Dere boyunca yol kenarları araç park yerleri olarak kullanılmaktadır. c. Tuzla içerisinde yeterli lokanta ve alışveriş noktası bulunmaktadır.
D) Doğaseverler için yürüyüş güzergâhları hazırlanmalıdır.	a. Tuzla içinden itibaren araç yolu ve yürüyüş yolu vardır. b. Sıcak su çıkışlarının olduğu yerlerde uyarı levhaları bulunmaktadır.

## KESTANBOLU (YAHYAÇAVUŞ) ANTİK GRANİT SÜTUNLARI

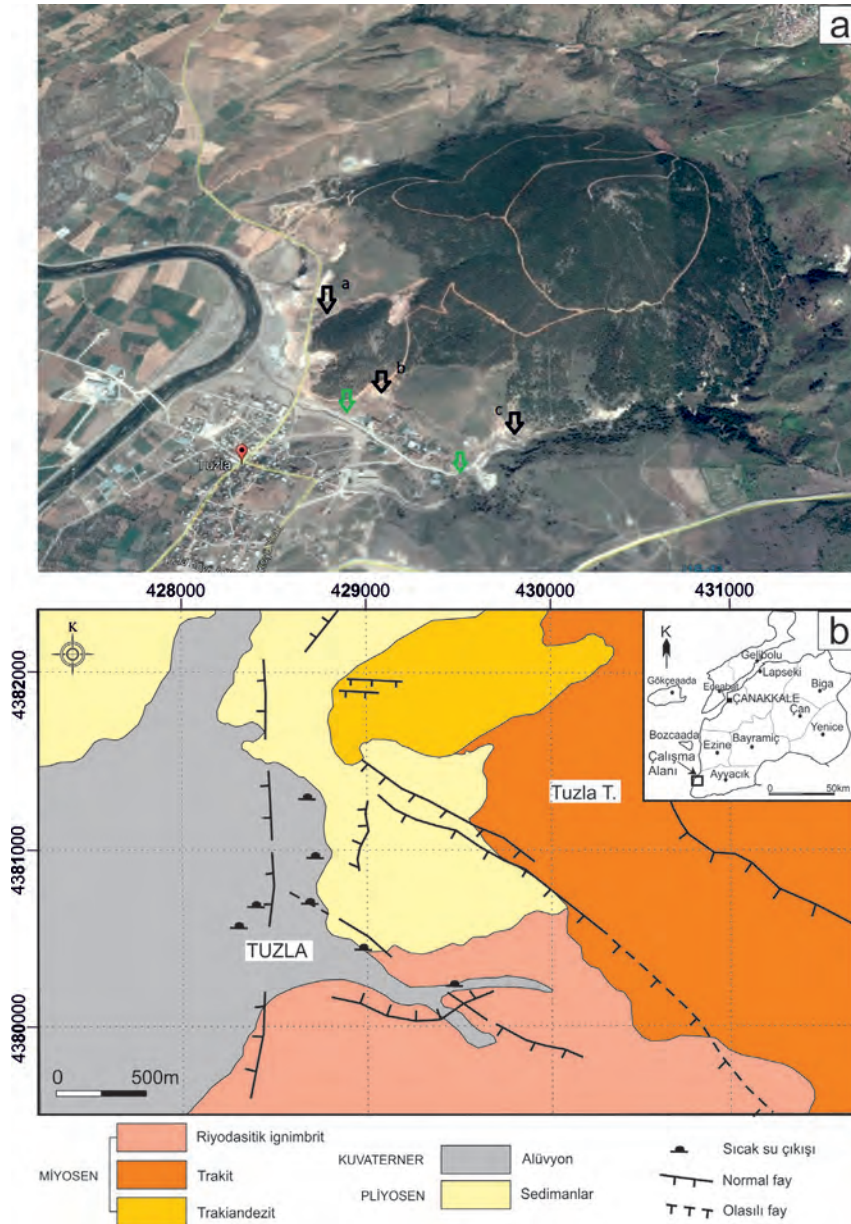
Kestanbol Plütonuna ait granitlerden yapılmış Kestanbol antik granit sütunları ve granit ocakları, Çanakkale ili, Ezine ilçesi sınırları içinde eski adı Koçali köyü olan Yahyaçavuş köyü yakınlarındadır (Şekil 3). Halkın “pembe taş” olarak adlandırdığı porfiri dokulu Kestanbol graniti, Kestanbol – Bergaz - Yaylacık köyleri arasında yüzeylemektedir. Pembe renginin yanı sıra iri kristalli dokulu granitler, antik çağlarda çapları 160 cm, uzunlukları 10 - 12 metre ve yaklaşık ağırlığı 60 ton olan sütunların üretiminde

2 Prof. Dr. Şükran Yalçın Özdilek, Doç Dr. Deniz Anıl Odabaşı ve Yrd. Doç. Dr. Serpil Odabaşı kişisel Görüşme 2017.

3 Tolga Bekler kişisel Görüşme 2017

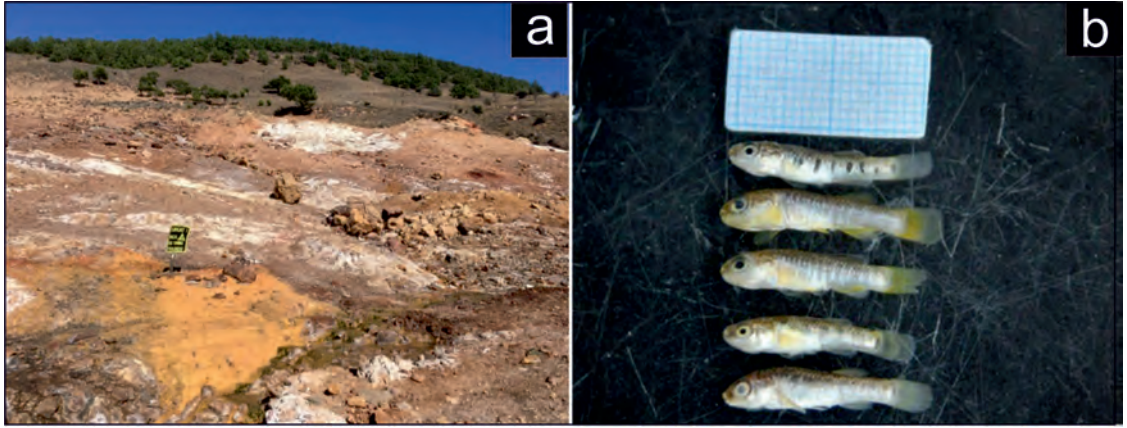
kullanılmıştır. Yahya Çavuşköyü'nün 1.5 km batısında yer alan Yeşiltaşlar civarındaki ocak içinde halen yedi adet sütun bulunmaktadır (Gürler vd., 2008) (Şekil 4a) ve antik ocağın aynasında korunan işçilik izleri görülebilmektedir (Şekil 4 a- b). Üretilen bu mermerler eski çağlarda

tüm Akdeniz çevresinde yapı malzemesi olarak kullanılmıştır (Satır 2004). Antik çağlardan itibaren ilgi gören ve yapı taşı olarak kullanılan Kestanbol granitleri, günümüzde de halen özel şirketler tarafından işletilen taş ocaklarından çıkarılmakta ve yapı taşı olarak işlenmektedir.



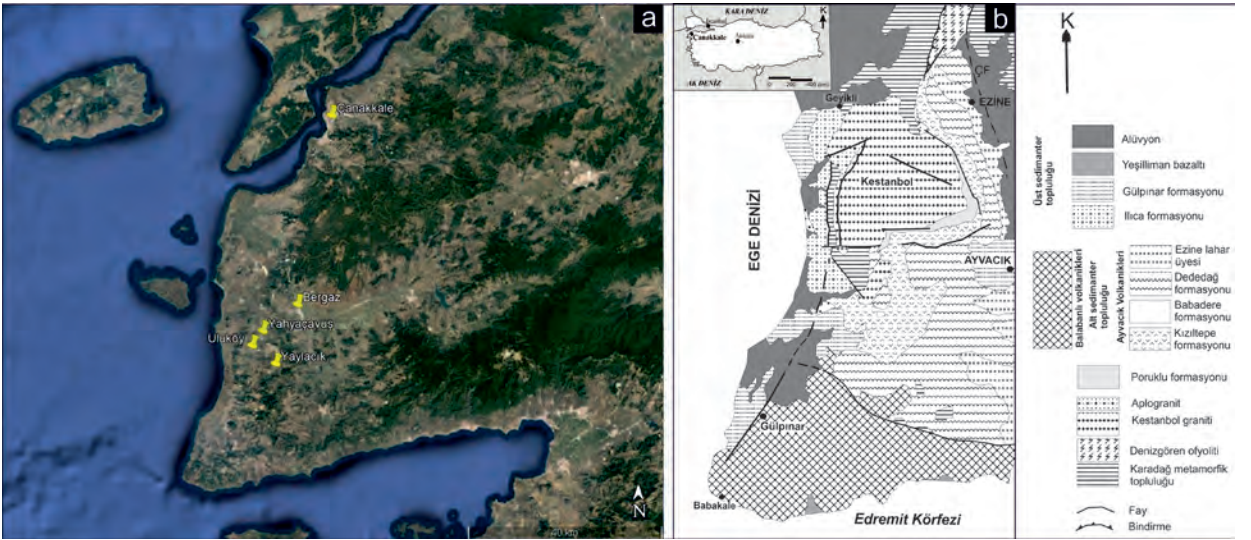
Şekil 1. a) Tuzla köyü çevresi Google görüntüsü ve b) bölgenin jeoloji haritası (Karamanderesi 1986'dan düzenlenmiştir).

Figure 1. Google Earth satellite image around Tuzla village b) Geological map of the district (modified from Karamanderesi, 1986).



Şekil 2. a) Tuzla köyü yerleşim alanı yakınlarında sıcak su çıkışları (Şekil 1a’ da “a” ile gösterilen siyah ok), b) Tuzla çayında yaşayan endemik balık türü<sup>4</sup>

Figure 2. a) Hot springs nearby Tuzla village (Figure 1a blackarrow), b) endemic fish living in Tuzla creek



Şekil 3 a) Yahya Çavuş köyü ve çevresinin Google görüntüsü ve b) bölgenin jeoloji haritası (Karacık ve Yılmaz 1998’den düzenlenmiştir.)

Figure 3 a) Google Earth satellite image around Yahya Çavuş village and b) Geological map of the district (modified from Karacık and Yılmaz, 1998)

Kestanbol Plütönu, 13 km uzunluğunda, 11 km genişliğinde yaklaşık 140 km<sup>2</sup>’lik bir alanı

kaplamaktadır. Plütönu elips şekilli olup KD-GB yönelimlidir (Karacık ve Yılmaz, 1998).

4 <http://www.aksam.com.tr/yasam/canakkalede-ilginç-balık-turu-bulundu/haber-284300>





**Şekil 4.** a)Yahya Çavuş (Koçali köyü) yakınındaki antik granit ocağı, b) Uluköy yakınındaki antik granit ocağı

**Figure 4.** a) Antique granite column and quarry by Yahya Çavuş (Koçali köyü), b) Antique granite column and quarry by Uluköy village.

Kestanbol Plütünü birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Siyako vd., 1989; Okay vd., 1990; Karacık, 1995; Karacık and Yılmaz, 1998; Göker ve Tuğrul, 2006, Tunusluoğlu vd., 2012). Bölgenin en yaşlı birimlerini Paleozoik yaşlı metamorfik birimler oluşturur. Oligosen sonunda Biga Yarımadası'nı etkileyen yoğun ve yaygın kalkalkalen magmatizmasına bağlı olarak, Üst Oligosen-Orta Miyosen 'de (Birkle ve Satır, 1995; Fytikas vd.,1976) ise kuvars monzonit ve granit özellikteki Kestanbol Plütünü bölgeye yerleşmiştir (Karacık ve Yılmaz, 1998).Kestanbol Plütünü bölgedeki metamorfik kayaları keserek kontak metamorfizmaya uğratmıştır. Bölgedeki yaşlı birimler, Erken Miyosen yaşlı volkanik-subvolkanik (Karacık ve Yılmaz, 1998) kayalar ve Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı örtü kayaları tarafından örtülmüştür (Karacık ve Yılmaz 1998) (Şekil 4).

Kestanbol plütünü oluşturan kuvars monzonit ve granit; krem-açık pembe renkli, holokristalen orta-iri taneli, kuvars-alkali feldspat, plajyoklas ve biyotit-hornblend kristallerinden oluşmuştur. Kuvarsmonzonit el örneğinde yer yer 1-3 cm boyutlarına ulaşan iri alkali feldspat bolluğu nedeniyle pembe-koyu pembe renkli, daha

iri kristalli ve porfirik dokuludur. Plütön içinde yaygın olarak izlenen eklem sistemleri Plütön katılaştıktan sonra gelişmiş yapılar olup, ana eklem sistemleri plütönün tümü için değerlendirildiğinde K60-70D ve K40-50B olduğu görülmüştür (Karacık, 1995). Bunların dışında tektonizmaya bağlı olarak gelişmiş eklemlerde bulunur. Plütönün kenar zonlarında eklem sayısında artış gözlenir. Antik zamanlarda, boyları 10 m'yi aşan sütunlar eklem takımları kullanılarak işlenmişlerdir (Göker ve Tuğrul, 2006).

Çevresinde herhangi bir koruma örgüsü olmayan Kestanbol antik granit sütunlarının bulunduğu bu alan tahrip olma tehlikesi ile karşı karşıyadır. Yerel halkın çeşitli nedenler ile taş gereksinimi için bu yataklardan sağlaması nedeniyle tarihsel bilgilerin yok olması kaçınılmazdır. Doğaseverler tarafından ziyaret edilen bu alan Türkiye Jeolojik Miras Envanterinde yer almaktadır (İnaner ve Savaşçın, 1999). Bu alanın ayrıca jeodeğer olarak kültürel turizm amacıyla kullanımı görece daha kolaydır (Çizelge 3).



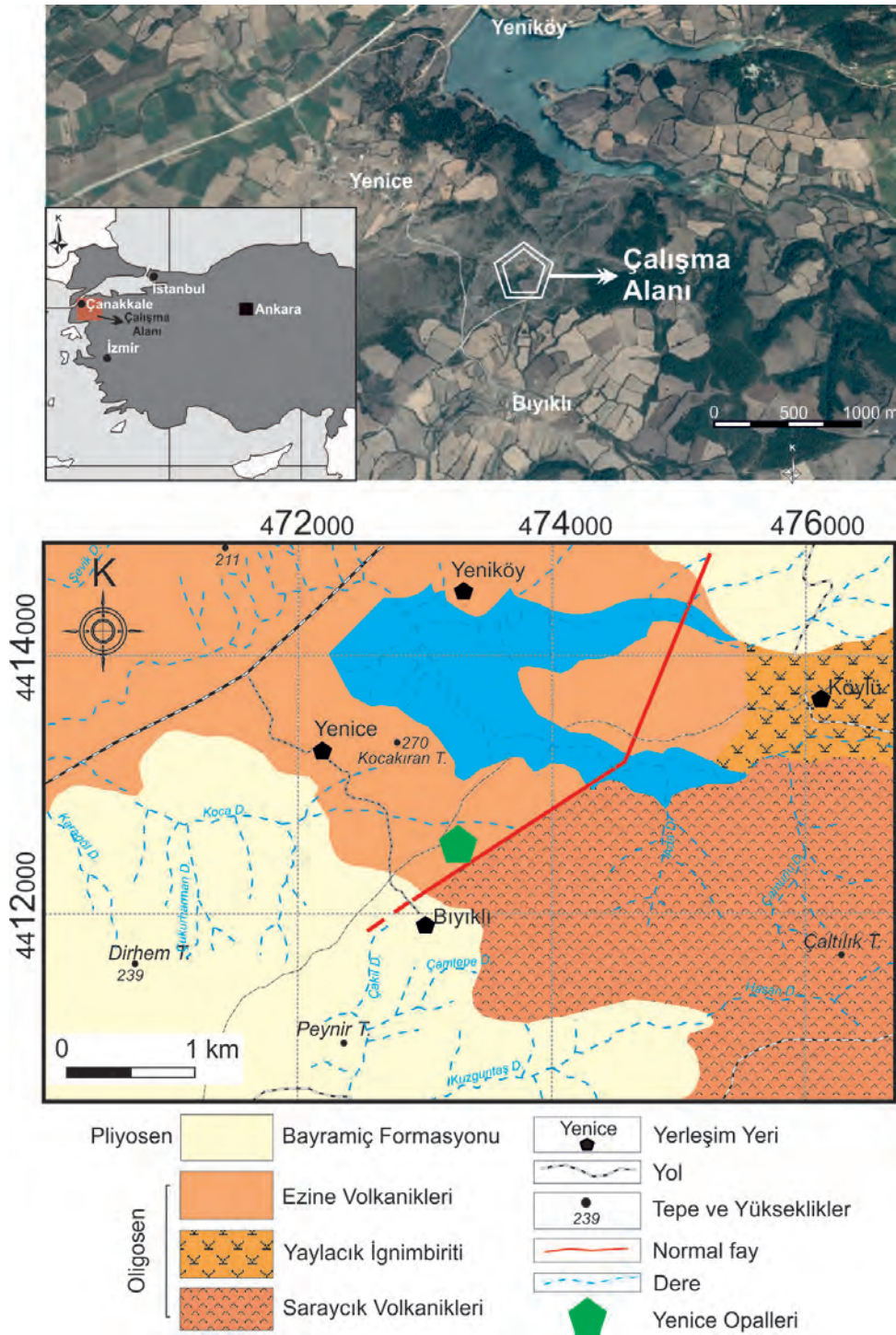
**Çizelge 3.** Kestanbol granitleri jeodeğeri için izlenec**Table 3.** Road map for Kestanbol granites

A) Tanıtım işleminin günümüz teknolojisine uyumlu olmasıdır	a. Akademik çalışmalar dışında Geocache benzeri web sayfalarında yer almaktadır.
B) Bölge de var olan yerbilimleri ile ilgili müzeler bu tanıtıma teknik bilgi ile destek sağlamalıdır.	a. YBM –granit örneklerini sunmaktadır
C) Araç ile en yakın yerleşim birimine ulaşım yollarının tanımlanması gereklidir.	a. Alan ulaşım Ezine –Gülpınar yolundan sağlanmaktadır. b. Belirli bir park alanı yoktur c. Çevrede yeterli lokanta ve bakkal bulunmamaktadır.
D) Doğaseverler için yürüyüş güzergâhları hazırlanmalıdır.	a. Belirgin bir yürüyüş yolu vardır. b. Uyarı levhaları bulunmamaktadır.
E) Jeodeğerin havadan fotoğrafları ile desteklenecek akıllı telefon ve tablet uygulaması ile önerilen oluşum doğasevere sunulmalıdır.	a. Görülmesi gereken değerler belirli değildir b. Google harita görüntüleri düşük çözünürlüklüdür c. Eğitici ve yönlendirici bilgi bulunmamaktadır.

**YENİCE KÖYÜ-OPAL SAHASI**

Yenice opalleri, Kuzeybatı Anadolu'da Biga Yarımadası'nın orta kesiminde, Çan-Bayramiç karayolu üzerinde Yenice Köyü güneydoğusunda yer alır (Şekil 5a). Bölgeye ulaşım Çan-Bayramiç karayolunu kullanarak sağlanmaktadır. Opallerin yer aldığı bölge jeolojik olarak magmatik ve sedimanter kayalardan oluşan farklı kaya birimlerini içermektedir. Bölgede Oligosen dönemi volkanik topluluğu Saraycık volkaniti, Yaylacık ignimbiriti ve Ezine volkaniti olmak üzere üç farklı harita birimi olarak ayırt edilmiştir. Oligosen-Miyosen aralığındaki yaygın magmatizma sonrasında bölgede Bayramiç Formasyonuna ait sedimentler çökelmiştir

(Şekil 5b). Bölgedeki opaller Ezine volkanitleri içinde görülmektedir. Krem, sarı, turuncu, bordo gibi değişik renk tonlarına sahiptirler (Şekil 6). Bu renklenme bünyelerinde bulunan demir elementinin etkilerini göstermektedir (Çalık vd., 2017a). Bol kırıklı ve çatlaklı, kırılmalı özellik gösterirler. Opallerin oluşumu muhtemelen hemen yakınında bulunan fay zonu ile alakalı olmalıdır. Bölgedeki bu fay zonu hidrotermal silis akışkanlar için geçiş yolu oluşturarak opal damarlarının oluşumunu sağlamış olmalı (Çalık vd., 2017a). Bu alanın Jeodeğer olarak tanımlanması için başta ulaşım sorunları olmak üzere birçok eksiklik öne çıkmaktadır (Çizelge 4).



Şekil 5. a) Yenice opalleri jeodeğerinin Google görüntüsü ve b) çevresinin jeolojisi (Çalık vd. 2017a)

Figure 5. a) Google Earth satellite image of Yenice opals geovalue and b) geological map of its around (Çalık et.al., 2017a)





Şekil 6. Yenice opallerinin görünümü

Figure 6. Field photograph of Yenice opal

Çizelge 4. Yenice Köyü jeodeğeri için izlençe

Table 4. Road map for Yenice village geopoint

A. Tanıtım işlemi günümüz teknolojisine uyumlu olmalıdır	a. Herhangi bir bilgi yoktur
B. Bölge de var olan yerbilimleri ile ilgili müzeler bu tanıtıma teknik bilgi ile destek sağlamalıdır.	b. YBM –Opal örneklerini sunmaktadır
C. Araç ile en yakın yerleşim birime ulaşım yollarının tanımlanması gereklidir.	c. Alan ulaşım Çanakkale –Bayramiç –Yenice köyü yolundan sağlanmaktadır. d. Belirli bir park alanı yoktur e. Çevrede yeterli lokanta ve bakkal bulunmamaktadır f. Bölgede kısmi olarak organik tarım denemeleri yapılmaktadır.
D. Doğaseverler için yürüyüş güzergâhları hazırlanmalıdır.	g. Belirgin bir yürüyüş yolu vardır. h. Uyarı levhaları bulunmamaktadır.
E. jeodeğerin havadan fotoğrafları ile desteklenecek akıllı telefon ve tablet uygulaması ile önerilen oluşum doğasevere sunulmalıdır.	a. Görülmesi gereken değerler belirli değildir b. Google harita görüntüleri düşük çözünürlüklüdür c. Eğitici ve yönlendirici bilgi bulunmamaktadır.

## TARTIŞMA

Kazancı vd. (2017), Birleşmiş Milletler Teşkilatı'nın yayınladığı 2030 Uluslararası Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin önemli bölümünün doğayı koruma ile ilintili olduğunu belirtmektedir. Korumanın eğitim ile başlayacağı bir gerçektir. Yerbilimlerinde eğitim oluşumların tanıtımına dayadığı hatırlanmalıdır. Bu bağlamda eğitim amaçlı tanıtım bölgesel turizm ile birleştirilerek jeolojik miraslarımızın korunması için bir adım atılabilir. Bu adım Jeopark ve jeodeğer uygulamalarını öne çıkılmaktadır.

Buna karşı olarak tanıtımın hatalı yapılmasının sonucu, ziyarete açılan alanların kısmi veya kalıcı tahribata uğrayacağı gerçeği her zaman var olacaktır (Steele, 1995).

Bu tür etkinliklerin yerel turizme katkısı olumlu olabileceği gibi dönemsel olarak olumsuzlukların yaşanması olasıdır. Bu amaçla bu tür çalışmalarda yerel halkın bilgilendirilmesi ve etkinlik konusunda ikna edilmesi önemli bir koşuldur. Bu tür turistik etkinliklerin, git-gör-öz çekim yap-geri dön ile sınırlı bir döngü olmadığı, yerel ekonomiye katkısının olacağı, işsizlik nedeniyle terk edilmeye başlanan köylere ek gelir sağlayacağı yadsınamaz bir gerçektir (Kahveci vd., 2003)

Çevresel olarak organik tarım yapılan alanlar ile endemik türlerin yer aldığı alanların turizme açılması özellikle dikkatle alınması gereken bir karardır. Araçla ulaşım kısıtlansa bile dikkatsiz ziyaretçilerin atıkları çevresel felaketin ilk adımları olacaktır (Demir, 2013).

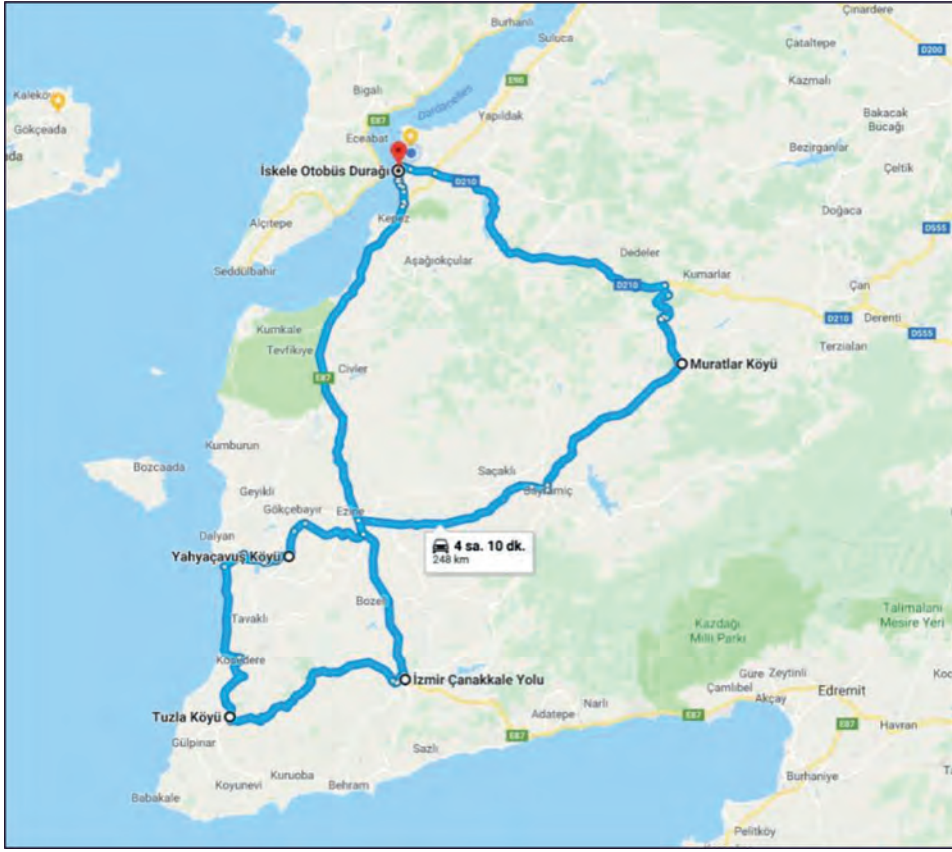
Teknolojini kullanımı tanıtım işlemini aşırı olağan üstü derecede kolaylaştırmaktadır. Sosyal medyanın bize armağanı olan öz çekim ve konum bildirme alışkanlığı, turizmin geliştirilmesinin yanında denetleme amaçlı kullanılabilir (Nyaunpane vd., 2016). Bu amaçla mobil uygulamalar aracılığı yüklenen ziyaretçi fotoğrafları dönemsel olarak incelenerek ve izlenerek olası tahribatlar belirlenebilir. İçeriği farklıda olsa "izleme" amaçlı bir uygulama Troia civarında yaşayan kuşlar için yapılmış<sup>5</sup> ve kullanıcılardan olumlu geri bildirimler ve destek alınmıştır.<sup>6</sup>

Şekil 7'de ele alınan bu üç saha için ulaşım güzergâhı gösterilmektedir. Anılan alanlara erişim, yol üstü duraklarının oluşması ve var olanların gelişmesi ile diğer yerleşim yerlerine de katkı sağlayacaktır. Bu tür haritalara benzer konumdaki müzelerde de yer verilerek ziyaretçiler yönlendirilmelidir. Duraklamalar ile birlikte ortalama olarak 6 saat sürmesi beklenen yaklaşık 247 km uzunluğundaki bu güzergahın, 1.4 gece/turist olan konaklama süresini 1.8 gece/turist süresine uzatması ve yerel ekonomiye olumlu katkısı beklenmektedir.

5 <http://www.troiabirds.com/> (erişim tarihi Mart 2018)

6 Cumali Yaşar (yazarımız) ve ekibi tarafından geliştirilmiştir.





Şekil 7. Tuzla jeotermal sahası, Kestanbolu (Yahya Çavuş) antik granit sütunları ve Yenice opal sahası için ulaşım güzergâhı.

Figure 7. Trip route for Tuzla geothermal land, Kestanbolu (Yahya Çavuş) antique granite columns and Yenice opal field.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, Çanakkale ili sınırları içinde yer alan jeolojik olarak önemli ve toplumu ilgisini çekebilecek jeolojik oluşumların jeopark veya jeodeğer olarak nasıl tanıtılabileceği, bölge turizmine katkı olarak ziyarete açılacağı ve korunması için neler yapılabileceği konusunda görüşlerimize yer verilmiştir.

Turistik değeri olan alanların korunma yollarından bir yolu olarak tanıtma etkinliğinin önemi vurgulanmıştır. Koruma eyleminin toplumdan bağımsız olarak ele alınması sonuçların istenilen düzeye çıkamamasının nedenidir. Bu aşamada koruma çalışmaları toplum ile

bütünleştirilirse daha etkin sonuçlar beklenebilir. Anılan bütünleştirme işlemi, korunan olgunun denetimli olarak kullanıma veya ziyarete açılması ve bu sayede oluşuma olan ilgiyi sıcak tutarak yerel yönetimlerde itki yaratılması ve koruma çalışmalarına destek verilmesi olarak özetlenebilir.

Birbirinden yapısal olarak farklı üç ayrı aday nokta; Tuzla jeotermal alanı sıcak su çıkışları, Kestanbol – Yahya Çavuş köyü antik granit sütunları ve Yenice Köyü-opal sahası örnek olarak ele alınmış ve bir izlenimle yapılması gerekenler özetlenmiştir. Unutulmaması gereken ayrıntı, her alanın kendi özgü koşulları olduğu ve bu koşulların göz ardı edilmesinin jeodeğerde kalıcı hasarlar bırakabileceğidir.

## KATKI BELİRTME

Tuzla Resimlerini gönderen T. Bekler (ÇOMÜ) ve A. Demirci'ye (ÇOMÜ), Endemik balık türü hakkında ilk bilgileri sağlayan O. Deniz'e (ÇOMÜ) teşekkür ederiz. Ayrıca, yapıcı eleştirileri ile makaleye değer katan başta Prof. Dr. Nurettin Kazancı olmak üzere değerli hakemlere ve yapıcı değerlendirmeleri, gösterdikleri sabır nedeniyle Editör Prof. Dr. Orhan Tatar'a çok teşekkür ederiz.

## EXTENDED SUMMARY

*Biga peninsula has rich geological features that attracts attention of not only scientific community but also nature-lovers. Many of these features known to locals but have not been utilised as tourist attractions so far. We provide a road map of outlines that the utilisation of three structurally different geological formations within the Çanakkale province as geoparks or geopoints may help to preserve these areas. As examples, hot water springs of Tuzla geothermal area, ancient granite columns of Kestanbolu- Yahya Çavuşvillage and opal pit of Yenice village are taken into consideration.*

*Tuzla hot springs is a candidate due to its colourful geological formations as well as endemic fish lives in Tuzla creek. Kestanbol granites were the sources of the pillar used in many famous temples around the Mediterranean. Yenice Opal pit is a open air demo field for semi-precious gems.*

*Drafted road map contains outlines only and must be implemented to the other areas with cautions.*

*In the other words, besides the areas highlighted above, all other possible areas have their own specific conditions and that ignoring these conditions may cause permanent damages to the area.*

*The museum of the earth science and history of nature has become a counter point for local people*

*who have concerns about their surroundings. By the help of such people various geo-points have been registered tour research agenda.*

*All these areas delicate and must be protected form human raid occurs due to some commercial activities. As a way of preserving such areas that are both scientific and tourist attraction, we are in favour of opening to and exploring by the public. We also aware of possible negative outcomes of this activity.*

## ORCID

Ayten Çalık  <https://orcid.org/0000-0002-7295-1011>

Sevinç Kapan  <https://orcid.org/0000-0002-7848-993X>

R. Cüneyt Erenoğlu  <https://orcid.org/0000-0002-8212-8379>

Oya Erenoğlu  <https://orcid.org/0000-0003-1235-3009>

Cumali Yaşar  <https://orcid.org/0000-0002-0065-3752/print>

Emin Uğur Uluggerli  <http://orcid.org/0000-0001-5639-1109>

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Arpat, E., 1976. İnsan Ayağı İz Fosilleri; Yitirilen Bir Doğal Anıt. Yeryuvarı ve İnsan, 1/4, 65-66.
- Arpat, E., Güner, Y., 1976. Ağrı Buz Mağarası; Ender Bir Doğal Anıt. Yeryuvarı ve İnsan, 1/1, 95-96.
- Aydoğan, N.B., 2002. Çanakkale Turizminin Profili ve Çeşitlendirilmesi. Ankara: Turizm Bakanlığı, Geleceğimiz Turizm/II. Turizm Şurası Bildirileri, I. Cilt, 12-14.
- Baba, A., Yüce, G., Deniz, O., Uğurluoğlu, D., Özcan H., 2008. Tuzla Sıcak Su Kaynaklarının Kontrolsüz Boşalımının Çevreye Etkileri: Tuzla Jeotermal Örneği, 61. Türkiye Jeoloji Kurultayı, sf.19-21, , Ankara.
- Barettino, D., Vallejo, M., Gallego, E., 1999a. Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium. ProGEO –European Association for Conversation of Geological Heritage and Sociedad Geologica de Espana, Madrid, 459 s.
- Barettino, D., Wimbledon, W.A.P., Gallego, E., 1999b. Geological Heritage: Its Conservation and Management. ProGEO European Association for the Conservation of the Geological Heritage and Sociedad Geologica de Espana, Madrid, 212 s.

- Bingöl, E., 1969. Geology of the Central and Southeastern Parts of the Kazdag Massif. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, 72, 110-123.
- Birkle, P., Satır, M., 1995. Dating, Geochemistry and Geodynamic Significance of the Tertiary Magmatism of the Biga Peninsula, NW Turkey, Geology of the Blacksea Region, 171-188.
- Bucak, T., Özkaya, E., 2013. Çanakkale İlinin Termal Turizm Potansiyeli. Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, v. 5, n. 2, p. 7-23. Çağatay, A., Yurdaer, M., & Kırış, R., 2002. Eko-turizm için mekân ve yerel toplulukların katılımının planlanması: Akseki-İbradı Havzası örneği. İkinci Turizm Şurası Bildirileri, Ankara.
- Çalık, A., Ulugergerli, E. U., Yasar, C., Altinoluk, I., 2014 a. A Common Point between Virtual and Conventional Education in Earth Science: E – museum; SGEM 2014, International Multi disciplinary Scientific Geoconferences on Ecology, Economics, Education and Legislation, Albena, Bulgaria, Volume III, p.539 - 546,
- Çalık, A., Yasar, C., Ulugergerli, E. U., Altinoluk, I., 2014 b. The Virtual Education Opportunities to Support Conventional Teaching: e- Museum for Earth Science; EGU2014, Vienna, Austria.
- Çalık, A., 2016 a. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yer bilimleri Müzesi: Üniversite Müzeleri, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi Sertifika No: 14902, İstanbul, Sf. 57-72, ISBN 978-605-65821-3-4.
- Çalık, A., 2016 b. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Yer Bilimleri ve Doğa Tarihi Müzesi, Değişen Üniversite Müzeleri, III. Uluslararası Üniversite Müzeler Birliği Platformu Konferansı, sf.154-160, 19-21 Nisan 2016, Edirne, ISBN 978-975-374-204-7.
- Çalık, A., Ulugergerli, E. U., Yasar, C., Taşpınar, K., 2016. Virtual Learning and Contribution from E-museum an Example for Earth Sciences; 16th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2016, Conference Proceedings, Book5 Vol. 3, 1077-1084 pp, ISBN 978-619-7105-67-4 / ISSN 1314-2704 .
- Çalık, A., Erenoglu, R., C., Erenoglu, O., Ulugergerli, E., U., Arslan, N., 2017a. Imaging of Spectral Properties of Opal Mineral using Sensor Data, Yenice District, North-Western Turkey, International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences (ISGGG-2017), October 2017, Çanakkale, sf.100-101.
- Çalık, A., Ulugergerli, E. U., Yasar, C., 2017b. Geleneksel ve Sayısal Müze Oluşumlarının Birlikte Kullanımı: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yer Bilimleri Ve Doğa Tarihi Müzesi; 4. International Conference of the Association of University Museums, 7- 8 April 2017, Eskişehir, p.98-99.
- Çalık, A., Deniz O., Ulugergerli, E.U., 2018. Natural Resources and Earth Sciences as a Source of Hope, 2. International Rating Academy Congress, 19-21 April 2018, Çanakkale.
- Demir, C., 2013. Turizm ve Rekreasyon Faaliyetlerinin Olumsuz Çevresel Etkileri: Türkiye'deki Milli Parklara Yönelik Bir Uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 17(2).sf. 93-117
- Erenoğlu, O., Akçay, Ö., Erenoğlu, R.C., 2015. Classification of Geological Characteristics U-using Thermal Camera Images: A Case Study From Tuzla Geothermal Area (Çanakkale-Turkey), International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields. Sofia, Bulgaria.
- Fytikas, M., Giuliano, O., Innocenti, F., Marinelli, G., Mazzuoli, R., 1976. Geochronological Data on Recent Magmatism of the Aegean Sea. Tectonophysics. 31. 29-34.
- İnaner, H., Savaşçın, M.Y., 1999. Natural and Cultural Geological Heritage of Anatolia, In D.Barrettino, M. Vallico, E. Gallego (Eds.) Towards the Balanced Managementand Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium, Madrid., p. 459.
- GMKA, 2012. Çanakkale Turizm Çalıştay Raporu, Güney Marmara Kalkınma Ajansı.
- Göker, A., F., Tuğrul, A., 2006. Boyutlandırılmış Taş Üretimi Yönünden Kestanbol Plütunu Taş Ocaklarının Kalitesi, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, s.22, sf.1-20, 2006.
- Gürler, G., Ilgar, A., Öztan, S., 2008. Magmadan Arkeolojik Sütünlara Bir Granitin Öyküsü: Jeosit Alanı Olarak Önerilen Çanakkale-Kestanbol Arkaik Dönem Taş Ocağı. 61. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.

- Kahveci, G., Ok, K., Yılmaz, E., 2003: Ecotourism and Sustainable Development of Forest Villagers in Turkey, XII. World Forestry Cong. Canada, <http://www.fao.org/docrep/article/WFC/XII/0708-A1.htm>
- Karacık, Z., 1995. Ezine-Ayvacık (Çanakkale) Dolayında Genç Volkanizma Plütonizma İlişkileri. PhD Thesis, Tech. Univ. Of Istanbul, Ins. Of Science, Turkey.
- Karacık, Z., Yılmaz, Y., 1998. Geology of the Ignimbrites and the Associated Volcano-plutonic Complex of the Ezine Area, northwestern Anatolia, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 251-264.
- Karamanderesi, I., H., 1986. Hydrothermal Alteration in Well Tuzla T-2, Canakkale, Turkey. Report 3: Geothermal Training Programme in Iceland UNU G.T.P., Iceland, 1-23.
- Kazancı, N., 2010. Jeolojik Koruma; Kavram ve Terimler. Jeolojik Mirası Koruma Derneği yayını, Ankara, sf. 60.
- Kazancı, N., Şaroğlu, F. ve Suludere, Y., 2015. Jeolojik Miras ve Türkiye Jeositleri Çatı Listesi. MTA Dergisi, 151, 263-272.
- Kazancı, N., Erdem N., Ö., ve Erturaç M., K., 2017. Kültürel Jeoloji ve Jeolojik Miras; Yerbilimlerinin Yeni Açılımları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 60 (1).
- Ketin, İ., 1970. Türkiye’de Önemli jeolojik Aflormanların Korunması. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, XI/2, 90-93.
- Kelkit, A., 2003. Çanakkale İlinin Turizm Potansiyeli ve Çeşitlendirilmesi, S. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 17 (31): 18-23
- Kıyak E., Yasar, C., Altınoluk, I., Ulugergerli, E., U., Çalık, A., 2012. Uzaktan Eğitimde Sanal Eğitim Olanakları: E-Müze Örneği: MERSEM-2012, Proceedings of the Eight International Marble and Natural Stone Congress of Turkey, Afyonkarahisar, Turkey, p. 803-810.
- Kurnaz, H. A., Çeken, H., Kılıç, B., 2013. Hüzün Turizmi Katılımcılarının Seyahat Motivasyonlarının Belirlenmesi. İşletme Araştırmaları Dergisi, 5(2), 57-73.
- Nyaunpane, G. P., Lew, A. A., Tatsugawa, K., 2016. Understanding Environmental and Social Change using Photo Sorting Methods.
- Okay, A.I, Siyako, M., Gürkan, K.A., 1990. Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Tektonik evrimi: TPJD Büt., 2/1,83-121.
- Öngür, T., 1976. Doğal Anıtların Korunmasında Yasal Dayanaklar. Yeryuvarı ve İnsan, 1/4, 17-23.
- Öngür, T., 1973. Volcanology and Geological Report of Canakkale Tuzla Geothermal Area, MTA report, Ankara (unpublished).
- Özel, E., 2004. Çanakkale İli Doğal ve Kültürel Potansiyelinin Turizm ve Rekreatiyonel Kullanım Yönünden İncelenmesi. (YL Tezi-Yayınlanmamış), ÇOMÜ Fen bilimleri Enstitüsü, 153.
- ProGeo Group, 1998. A First Attempt at a Geosites Framework for Europe -an Lug Initiative to support recognition of World heritage and European geodiversity. Geologica Balcanica 28, 5-32.
- Satır, M., 2004. Antik Troia’nın Mermer ve Granit Sütunları, Çömlekçiliğin Kökeni, 57., Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Kitabı, Ankara, sf.241-243.
- Siyako, M., Bürkan, K.A., Okay, A.İ., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaı’nın Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, Türk. Petr. Jeolog. Der. Bült., 1/3, 183-200.
- Steele, P., 1995. Ecotourism: An Economic Analysis. Journal of Sustainable Tourism, 3(1), 29-44.
- Tunusluoğlu, M.C., Dinç, Ö.Ş., Çalık A., Karaca Ö., 2012. Kestanbol Granitlerinin Bozunma Derecesinin Değerlendirilmesi, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2- 6 Nisan 2012, s.484 – 485.
- Uzunoğlu, A., Çalık A., Ulugergerli, E.U., 2018. Sentetik Süstaşları Üretim Yöntemleri, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 23- 27 Nisan 2018, Ankara.
- Ünlü, S. & Alpar, B., 2017. Evaluation of Sediment Contamination by Monoaromatic Hydrocarbons in the Coastallagoons of Gulf of Saros, NE Aegean Sea. Marine Pollution Bulletin, 118(1), 442-446.
- Wimbledon, W.A.P., 1996. National Site Election, A Stop on the Road to a European Geosite List. Geologica Balcanica 26, 15-27.
- Wimbledon, W.A.P., Smith-Meyers, S (eds). 2012. Geoheritage in Europe and Its Conservation. PeoGEO Spec. Pub., Oslo, Norway, 405.



- Wimbledon, W.A.P., Benton, M.A., Berins, R.E. 1995. The Development of a Methodology for The Selection of British Geological Sites for Conservation. Part I, ProGEO. Modern Geology, 20, 59-202.
- Yıldırım, T., B., Ak, T., Ölmez, Z., 2008. Assessment of the Natural-cultural Resources in Çanakkale Fornature-based Tourism, Environment, Development and Sustainability 10 (6), pp 871–881, doi:10.1007/s10668-007-9089-0
- Yüksek, T., Cengiz, T., Yüksek, F. (2008). Doğal Alanlarda Festival Etkinliklerinin Koruma-Kullanma Açısından Değerlendirilmesi: Kafkasor Kültür, Sanat ve Turizm Festivali Örneği. Ekoloji, 17(67), 37-45.



**Akhüyük (Konya) Jeotermal Alanındaki Hidrotermal Akışkan Dolaşımı ve Traverten Oluşum Mekanizması, Orta Anadolu, Türkiye**

*Hydrothermal Fluid Circulation and Travertine Precipitation of Akhüyük (Konya) Geothermal Field, Central Anatolia, Turkey*

**Mehmet Furkan Şener\***<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

Geliş/Received : 13.04.2018 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 15.06.2018 • Kabul/Accepted : 22.06.2018 • Baskı/Printed : 28.06.2018

*Araştırma Makalesi/Research Article*

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

**Öz:** Çalışma alanı olan Akhüyük Jeotermal alanı Orta Anadolu Volkanik Kompleksinin güneybatı kısmında yer almaktadır. Alanda bulunan Akhüyük travertenleri Tuzgözü Fay Zonuna paralel bir çatlak hattı boyunca yüzeye ulaşan termal suların çökmesi sonucu oluşmuş sırt tipi bir traverten yapısıdır. Çalışma alanına ait kayaç numunelerinin tüm kaya XRD incelemelerinde tüm numunelerin kalsit mineralinden oluştuğu görülmektedir. Aynı numunelerin XRF analiz sonuçlarına göre alınan tüm numuneler yaklaşık %90 oranında Ca elementinden oluştuğu ayrıca bu Ca elementine Mg, S, Sr ve K gibi elementlerin eşlik ettiği gözlenmektedir. İnceleme alanında farklı kaynaklardan alınan su örneklerinin yüzey çıkış sıcaklıkları 17-35 °C arasında değişirken, pH değerleri 6.6-6.9 ve elektriksel iletkenlikleri (EC) 5600- 47700 µS/cm arasında değişmektedir. Çalışma alanından derlenen su örneklerinin Scholler diyagramına göre sular aynı kaynaktan beslenmektedir. Örneklerin iyon dağılımları suların katyonlarına göre Na+K>Ca+Mg, anyonlarına göre ise Cl+SO<sub>4</sub>>HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub> bölgelerinde yer alan Na-Cl tipinde sular olduğunu ve Giggenbach diyagramına göre çoğunlukla olgun olmayan sular sınıfında olduğunu göstermektedir. Su örneklemeleri sırasında ölçülmüş sıcaklıklardaki mineral doygunlukları, termal sularda genellikle kalsit, aragonit ve dolomit minerallerinin çökel oluşturduğunu gösterir. Elde edilen bu veriler ışığında oluşturulan üç boyutlu kavramsal modeline göre alanın temelini Paleozoyik yaşlı Niğde Grubu oluştururken, ısıtıcı kayayı Orta Anadolu Volkanik Kompleksinde de olduğu gibi Üçkapılı Granadioriti ve jeogradyan, rezervuar kayayı Gekbez Formasyonuna ait kireçtaşları ve örtü kayayıda Pleyistosen-Holosen yaşlı güncel çökeller ile Akhüyük travertenleri oluşturmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akhüyük, hidrojekimya, kavramsal model, Orta Anadolu, traverten

**Abstract:** The Akhüyük geothermal field, which is the study area, is located in the southwest part of the Central Anatolian Volcanic Complex. Akhüyük travertine in the study area is a fissure-ridge type travertine formed as a result of sedimentation of thermal waters reaching the surface along a fault line parallel to the Tuzgözü Fault Zone. All rock samples of study area are composed of calcite mineral in whole rock XRD examination. According to the XRF analysis results of the same samples, all samples are composed of about 90% of Ca element and this Ca element is accompanied by Mg, S, Sr and K elements. Surface temperatures of water samples taken from different sources in the study area vary between 17-35 °C, pH values are 6.6-6.9 and electrical conductivities (EC) are between 5600-47700 µS/cm. According to the Scholler diagram of the water samples collected from the study area, the waters are fed from the same source. The ion distributions of the water samples are Na+K>Ca+Mg and Cl+SO<sub>4</sub>>HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub> according to the cations and anions, respectively and consist of Na-Cl type water. Mineral saturations in measured temperatures during water sampling indicate that calcite, aragonite and dolomite minerals are generally formed by precipitation in the thermal waters. According to the generated three-dimensional conceptual model of the field, the bedrock of the area is the Paleozoic Niğde Group, the heating system is composed by the Üçkapılı Granodiorite and

*geogradyan as it is in the Central Anatolian Volcanic Complex. Reservoir rock is the limestones belonging to Gökbeş Formation and the cover rocks are the Akhüyük travertines with the Pleistocene-Holocene sediments.*

**Keywords:** Akhüyük, Central Anatolia, conceptual model, hydrogeochemistry, travertine

## GİRİŞ

Fosil yakıtlardan kaynaklı emisyonların neden olduğu çevre sorunları ve emisyonların çevresel etkilerinin gün geçtikçe ortaya çıkmasına bağlı artan çevre bilinci nedeniyle, temiz yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına eğilim artmaktadır. Jeotermal kaynak kapasitesi açısından Türkiye dünyada yedinci, Avrupa’da üçüncü sırada yer alır (Jennejohn vd. 2012). Jeotermal kaynaklarımızın %90’ı düşük ve orta sıcaklıklı olup, doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi v.s.) için uygun olup, %10’u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur. Türkiye’nin jeotermal kaynaklarının geliştirilmesi ile gelecekte özellikle elektrik üretimi ve sera ısıtması için kullanımlarının artması beklenmektedir (Melikoglu, 2017; Haklıdır 2015; Aksoy, 2014; Serpen vd., 2009). Kaynak alanlarının araştırılmasında genel olarak jeolojik ve jeofiziksel metotlar kullanılmaktadır (Craig, 1953; Ellis ve Mahon, 1977; Keller, 1981; Fournier, 1991; Giggenbach, 1991; Pellerin vd., 1996; Aydemir ve Ates, 2008; Serpen vd., 2009; Özkan vd., 2011; Mauri vd., 2012; Maucourant vd., 2014).

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) ve çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan jeotermal arama çalışmalarında Orta Anadolu’da bulunan sistemlerin jeotermal enerji elde etmek için uygun olduğu ancak bölgenin iklim koşullarından dolayı sistemin rezervuarını besleyecek yeterli akışkanın olmadığı ortaya koyulmuştur (Minissale vd., 2013; De Filippis vd., 2013; Şener vd., 2017). Jeokimya ve hidrojeokimyanın kombinasyonu, termal sistem ve akışkan geçmişlerinin mükemmel bir göstergesidir ve keşfedilmemiş, gizlenmiş jeotermal sistemlerin evrimi ve dağılımı

hakkında önemli bilgiler verir. Bu nedenle jeotermal sistemlerin gelişimi, bağlı olduğu jeolojik, tektonik ve fiziki koşulları yorumlamada jeokimyasal ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları kullanılarak oluşturulan kavramsal modeller kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Orta Anadolu’da bulunan Konya ili Ereğli ilçesine bağlı Akhüyük köyünde traverten oluşumunu sağlayan  $\text{CaCO}_3$  içerikli akışkanlar ve travertenler incelenerek alandaki jeotermal sistemin kimyasal, fiziksel ve potansiyel özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Orta Anadolu’da bulunan jeotermal alanların kimyasal ve fiziksel özellikleri, volkanik, tektonik ve hidrojeokimyasal özellikleri birçok araştırmacı tarafından çalışılmış olmakla birlikte (Roberts vd., 1979; Kazancı vd., 1995; İlkısık vd., 1997; Tekin vd., 2000; Ates vd., 2005; Buyuksarac vd., 2005; Diker vd., 2006; Polat 2011; Pasvanoglu ve Gültekin, 2012; Mesci, 2012; Kıyak vd., 2015; Bozdağ, 2016; Yurteri ve Simsek, 2017; Balkan vd., 2017; Şener vd., 2017), çalışma alanında bulunan jeotermal sisteme ait su kayaç ilişkisi ilk defa bu çalışmada ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile alandaki akışkanların hidrojeokimyasal özellikleri ve beslenme alanları belirlenmiş ve kayaçların kimyası ile yorumlanarak alanın kavramsal modeli oluşturulmuştur.

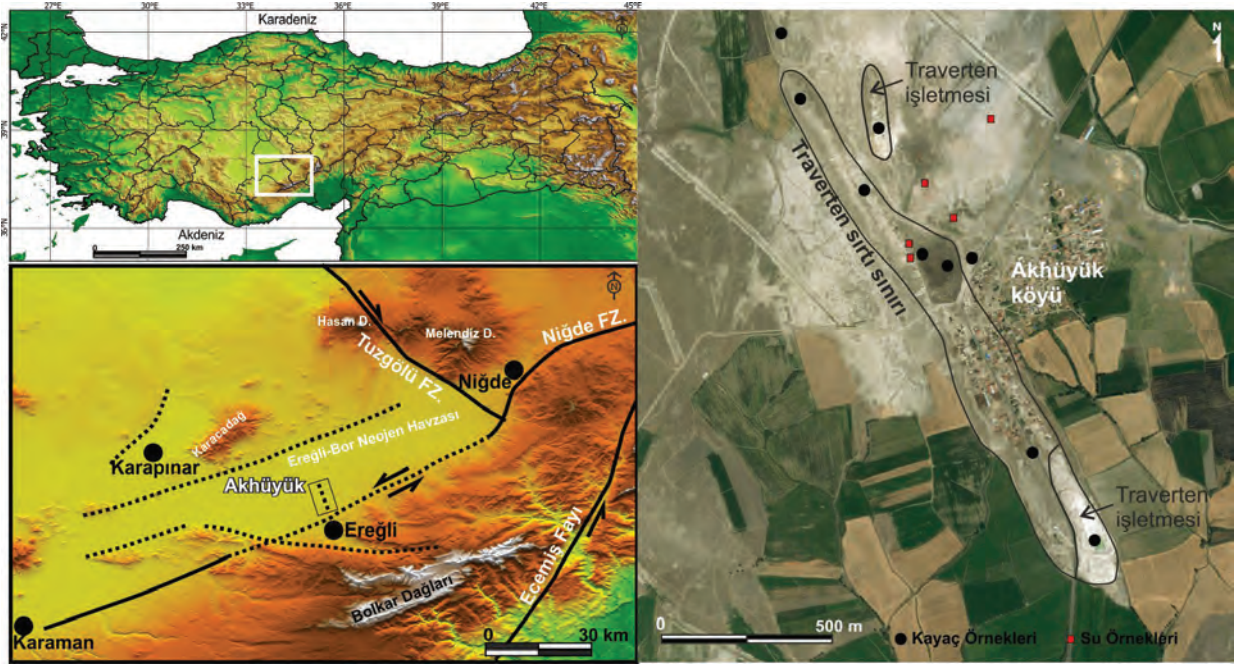
## ÇALIŞMA ALANI VE BÖLGESEL JEOLJİ

Çalışma alanı  $34,0575^\circ$ - $34,0675^\circ$  doğu boylamları ile  $37,5975^\circ$ - $37,6025^\circ$  kuzey enlemleri arasında, Ereğli ilçesinin (Konya) kuzey kesiminde yer almaktadır. Çalışma alanını kontrol eden ana tektonik yapılar Tuzgölü Fay Zonu (TGFZ) ve Niğde fay zonudur (NFZ). Tuzgölü Fay Zonu (TGFZ)  $K30^\circ B$  yönlü, yaklaşık 220 km uzunluğa



ve 15-25 km genişliğe sahip, sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır (Toprak ve Göncüoğlu 1993; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Çemen vd., 1999). Konya-Karaman havzasının güneydoğu sınırını kontrol eden bir diğer önemli tektonik yapı Niğde Fay Zonu (NFZ)'dir. NFZ, Niğde ili kuzeydoğusundan başlayan ve Karaman ili güneydoğusuna kadar uzanan yaklaşık 170 km uzunluğa ve 7-8 km genişliğe sahip sol yanal doğrultu atımlı bir fay zonudur (Koçyiğit, 2003; Şekil 1).

oluşturmaktadır (Atabey ve Ayhan, 1986). Bölgede temel birimlerin üzerinde Paleosen-Eosen yaşlı Ulukışla-Çamardı Grubu yer almaktadır (Atabey ve Ayhan, 1986). Orta Miyosen' de gelişen orojenik hareketler, Orta-Üst Miyosen gölünde çökelen birimler ile evaporitik ve molas türde çökeller bu birimler üzerine gelmekte ve içinde jipsli yeraltı sularının meydana getirdiği jips damarları bulunmaktadır (Oktay, 1982). Bu formasyonun üzerine göl sularının derinleşmesi



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

Akhüyük ilçesinin içinde bulunduğu Ereğli-Bor Neojen Havzası kuzeyden Orta Anadolu Volkanik Kompleksine ait Yalçınlar (1954) tarafında Neojen-Kuvaterner arası dönemde oluştuğu tespit edilen Karacadağ (1960 m) ve güneyden Bolkar Dağları (Orta Toros Dağları) ile sınırlandırılmaktadır (Şekil 1). Ereğli-Bor Neojen Havzasının en yaşlı birimlerini, Alt Paleozoyik-Mezozoyik (?) yaşlı gnays, mermer, kuvarsit ve amfibolitlerle temsil edilen Niğde Masifi' nin metamorfik kayaları (Niğde Grubu)

ile ince kırıntılılar ve kireçtaşı-marn ardalanması gelmektedir. Kireçtaşları beyaz, kirli beyaz renkte sert, ince ve düzgün katmanlıdır. Kireçtaşları üzerine gelen marnlar ise yeşilimsi gri renkli, midye kabuğu kırılımındadır (Oktay, 1982). Bu formasyon üzerine uyumsuzlukla Üst Miyosen-Pliyosen' den başlayarak Kuvaterner' e kadar devam eden bir dizi volkanik birimler gelmiş ve havzayı tuzluluk bakımından etkilemiştir (Dönmez vd., 2003). Üst Miyosen-Pliyosen' de büyük tektonik hatlar üzerinde gelişen

Melendizdağ ve Hasandağ volkanizması ovadaki yükseltileri meydana getirmektedir. Bu volkanik istifin altında Melendiz volkaniklerine ait ojit-andezit ve piroksen-andezit türdeki lavlar, üzerinde andezit-bazalt türdeki Hasan Dağ volkanizması ve son olarak da ovadaki alkalin türdeki volkanizma takip etmektedir (Dönmez vd., 2003). İstifin en üst bölümü ise iri kireçtaşı çakılı konglomera ile temsil edilmektedir. Kumtaşları yer yer konglomera

seviyeleri içinde mercekler şeklindedir. Bu çalışmanın ana konusu olan ve Akhüyük köyünde gözlemlenen travertenler stratigrafik kesite göre alandaki alüvyonların altında temsil edilmektedir (Temiz ve Savaş, 2018). Traverten kütlesi Üst Pleistosen birimleri üzerinde stratigrafik olarak konumlandıkları ve traverten oluşumu halen devam ettiği için yaşı Üst Pleistosen-Holosen olarak belirlenmiştir (Şekil 2).



**Şekil 2.** (a) Çalışma alanının dron ile çekilmiş genel görünümü, (b) çalışmada bulunan ve traverten çökelişini sağlayan çatlak yapıları, (c) çalışmada oluşan eski ve yeni traverten yapıları, (d) çalışmada bulunan ve halen aktivitesi devam eden traverten oluşumları.

**Figure 2.** (a) General view of the study area with drone (unmanned aerial vehicle), (b) Cracked structures in the study area that provide travertine sedimentation, (c) The old and new travertine structures, (d) Continuing travertine structures in the study area.



## YÖNTEM

Eylül 2017 tarihinde yapılan arazi çalışmalarında alandan farklı lokasyonlara ait 9 adet traverten ve 5 adet su numunesi (2 adet doğal çıkış 2 adet sondaj ve 1 adet su kuyusu) alınmış ve 1/25000 ölçekli M32d4 paftasına işlenmiştir (Şekil 1). Çalışma alanının hidrolojik kavramsal modelini oluşturmak için inceleme sırasında drone (insansız hava aracı) ile görüntüler alınmıştır. Su örneklemeleri sırasında EC (elektriksel iletkenlik), pH (hidrojen potansiyeli) ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Alınan kayaç numunelerinin mineral içeriğinin tespiti için tüm kaya X-Işını Difraktometresi (XRD) analizleri yapılmıştır. XRD analizi 40 kV ve 30 mA'de 30 s hızında ve 2° - 60°'de 0.05° aralıklarında, Bragg-Brentano geometrisi ve CuK $\alpha$  radyasyonu ile Panalytical Empyrean X-ışını kırınım cihazı kullanılarak Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında ölçülmüştür. Aynı kayaç numunelerinin kimyasal içeriğini öğrenmek için X-ışını Floresans Spektrometresi (XRF) analizi yapılmıştır. XRF analizleri ise 1-4 kV gücünde ve Rh, Cr, Mo ve Au geometrilerinde Panalytical Zetium cihazı kullanılarak Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında ölçülmüştür. Çalışma alanından derlenen su numunelerinin major anyon katyon analizleri Konya DSİ bölge müdürlüğü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen jeokimyasal ve hidrojeokimyasal analizleri değerlendirilerek Akhüyük jeotermal alanının hidrojeolojik kavramsal modeli ortaya konulmaya çalışılmıştır.

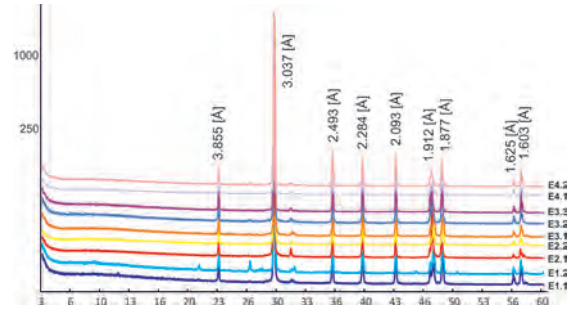
## BULGULAR

### Jeokimyasal Değerlendirmeler

#### X-Işını Difraksiyonu (XRD) Analizi:

XRD analizi kayaçları oluşturan mineral içeriklerinin belirlenmesinde kullanılan faydalı bir tekniktir. Çalışma alanından derlenen 9 adet kaya örneğine ait tüm kayaç XRD analiz sonucuna göre tüm numuneler kalsit mineralinden oluşmakta ve

genel olarak tüm örnekler 3.035; 2.495; 2.284; 2.094; 1.912 ve 1.875 Å değerlik göstermektedir (Şekil 3). Kalsit CaCO $_3$  kimyasal formülüne sahip, Mohs sertlik sıkalasına göre sertliği 3 ve yer yuvarının yaklaşık %4 ünü oluşturur.



Şekil 3. Çalışma alanına ait traverten örneklerinin tüm kaya XRD grafiği

*Figure 3. Whole rock XRD graph of rock samples of the study area.*

#### X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi:

Çalışma alanından alınan traverten örneklerinin XRF içeriklerine göre numuneler XRD sonuçlarına paralel olarak % 84-90 oranında Ca elementinden oluşmakta ve bu Ca elementine Si ve Mg elementleri eser oranda eşlik etmektedir (Tablo 1). Genel olarak travertenlerde; SiO $_2$  ve Al $_2$ O $_3$  sertliği, Fe $_2$ O $_3$  ve Na $_2$ O ise travertenin rengini etkilemektedir. Traverten içeriğindeki MgO oranı ise, travertenlerin oluşum sürecini bazik - ultrabazik kayaçlarla ilişkisinin açıklanmasında yardımcı olabilmektedir (Ayaz, 2002). Çalışma alanda eski traverten tabakalarından alınan ve sahada en yaşlı traverten olduğu düşünülen E1-2 numunesi haricindeki diğer tüm numunelerin Fe $_2$ O $_3$  değerleri düşüktür. Bu durum travertenleri oluşturan akışkanların rezervuardan yüzeye gelirken volkanik kayalarla etkileşime girmesi ile açıklanabilir. Çalışma alanındaki traverten örneklerinden sırt yapısında bulunan örneklerde Ca miktarının daha fazla olduğu görülmekte bu da travertenin oluşturan akışkanın CaCO $_3$  içerikli kayaçlardan süzülerek yüzeye geldiğini göstermektedir.

**Çizelge 1.** XRF analizlerine göre inceleme alanına ait kayaç örneklerinin ana oksit içerikleri.**Table 1.** Main oxide contents of the rock samples of the study area according to XRF analyses.

Numune No	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
E1-1	2,458	0,173	0,036	0,304	0,012	90,093	2,800	0,232	0,447	0,044
E1-2	7,284	1,351	0,176	1,623	0,023	79,972	2,083	1,430	1,339	0,038
E2-1	0,446	0,086	-	0,090	-	93,314	0,398	0,152	0,522	0,016
E2-2	2,152	0,298	-	0,245	-	93,473	1,682	0,062	0,186	0,037
E3-1	2,092	0,204	-	0,190	-	91,783	1,065	0,195	1,000	0,036
E3-2	3,380	0,683	0,078	0,592	-	86,344	2,142	0,277	0,773	0,025
E3-3	0,536	0,114	-	0,065	-	92,358	0,473	0,160	0,687	0,014
E4-1	2,159	0,481	0,054	0,273	-	91,802	0,509	0,208	0,375	0,057
E4-2	1,985	0,530	0,081	0,744	-	88,141	0,518	0,221	0,583	0,048

### Hidrojeokimyasal İncelemeler

Suda bulunan katyon ve anyonlar yeraltı sularının kimyasal özelliklerinin ve kalitelerinin belirlenmesi, kökenlerinin araştırılması, yüzey ve yağış suları ile olası ilişkilerinin incelenmesi, yeraltı sularının kirlenmesi ve iyileştirilmesi gibi problemlerin çözülmesi gibi araştırmalarda kullanılan hidrojeolojik çalışmaların vazgeçilmez bir parçasını oluşturur. Çalışma kapsamında alınan 5 adet su örneğine ait majör anyon (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ve NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ve katyon (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> ve <sup>4</sup>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) analiz sonuçları Tablo 2' de gösterilmiştir. Akhüyük traverten

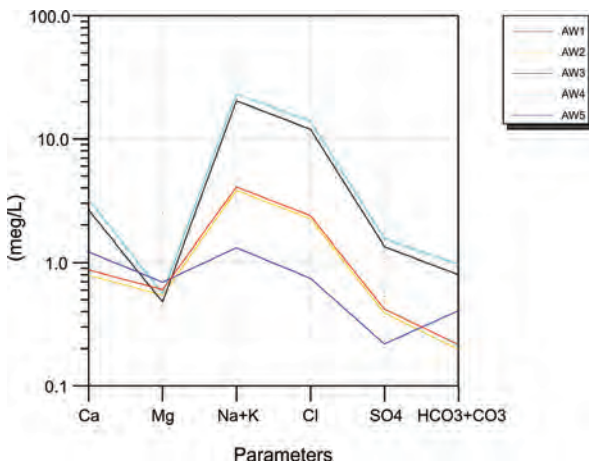
alanında yapılan arazi çalışmasında su çıkış noktalarında yapılan sıcaklık ölçümlerine göre suların sıcaklıkları 17-31,8°C arasında ve pH değerleri 6,64-6,83 aralığında değişmekte olup, bu sular hafif asidik sular sınıfında yer almaktadırlar. Yine yapılan ölçümlerde elektrik iletkenliği 5600-47700 µS/cm, toplam mineral içeriği 601-2608 mg/l arasındadır. Çalışma alanındaki sular genel olarak Na-Cl su tipinde olup, çözünmüş madde miktarına göre sodyum clorür sular sınıfında değerlendirilmektedir. Kanyak çevresinde traverten oluşumları oldukça yaygın olup kaynak çıkışı bol CO<sub>2</sub> gazlı ve kükürt kokuludur.

**Çizelge 2.** Sıcak ve mineralli su kaynağının fiziko-kimyasal analiz sonuçları.**Table 2.** Physico-chemical analysis results of hot and mineral water source.

Numune adı	pH	Sıcaklık (°C)	EC, µS/cm	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	Cl (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	CO <sub>3</sub> , mg/L	HCO <sub>3</sub> , mg/L
AW-1	6,8	17,5	10820	1959	210	80	319	9	2728	882	8,36	130	0	733
AW-2	6,9	18,2	11230	2014	216	79	317	11	2829	899	11,9	130	0	735
AW-3	6,7	31,7	47300	10769	1041	70	1062	149	15072	3110	16,9	-	0	2976
AW-4	6,6	31,8	47700	10825	1041	71	1135	148	15339	3158	16,1	-	0	3181
AW-5	6,8	17	5600	699	77	101	489	-	940	504	-	54	0	1515



Yarı logaritmik Schoeller diyagramına göre Akhüyük jeotermal sularından AW1, AW2, AW3, AW4 numuneleri  $Na+K > Ca > Mg$ ,  $Cl > SO_4 > HCO_3$ ; ve AW5 numunesi  $Na+K > Ca > Mg$ ,  $HCO_3 > Cl > SO_4$  biçiminde iyon düzenine sahiptir. Ayrıca çalışma alanındaki sular benzer iyon konsantrasyonları sergiledikleri için aynı akiferden geldiği düşünülmektedir (Şekil 4). Su analiz sonuçlarına göre yüksek Na değerleri plajyoklasların ayrışması veya Akhüyük jeotermal alanın Alt Pleyistosen döneminde Tuzgölü havzası sınırlarında olması ile açıklanabilir. Kuyu suyu olan AW5 numunesi hariç diğer suların yüksek Cl iyon konsantrasyonu değeri ise ya akifere tuzlu su karışımı ile veya jeotermal suların derin dolaşımı ile açıklanabilir (Şekil 4).

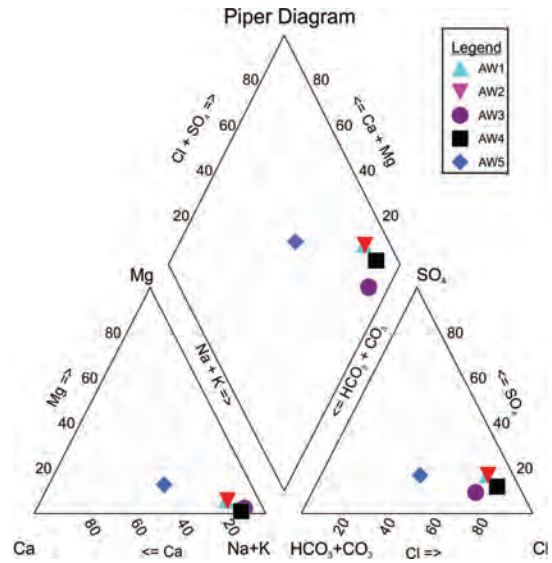


Şekil 4. Çalışma alanına ait su örneklerinin yarı logaritmik Schoeller diyagramında gösterimi (Schoeller, 1977).

Figure 4. Demonstration of the water samples of the study area in the semi-logarithmic Schoeller diagram (Schoeller, 1977).

Piper Üçgen diyagramı anyon ve katyonların (% meq/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında

ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Akhüyük jeotermal alanındaki sıcak sular Na-Cl tipinde sulardır (Şekil 5). Kuyu suyu olan AW5 ise diyagramda Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub> su tipinde olup, baskın iyonlar Na ve Cl'dir. Bölgedeki suların toplam iyon derişimine bakıldığında AW3 ve AW4 daha uzun dolaşımli sular olduğu görülmektedir. Ayrıca ölçülen EC değerleri de bu sonucu desteklemektedir.

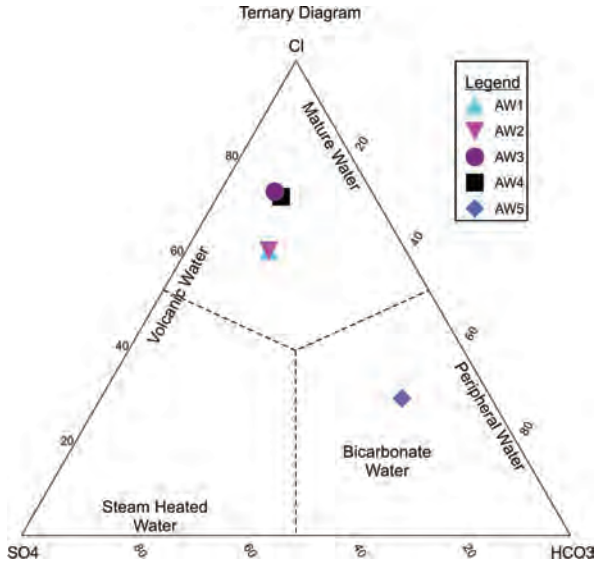


Şekil 5. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramında gösterimi (Piper, 1944).

Figure 5. Piper diagram of the water samples taken from the study area (Piper, 1944).

Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramında (Giggenbach, 1988) Akhüyük su örneklerinden kuyu suyu olan AW5 numunesi bikarbonat sular bölgesinde yer alırken geri kalan numuneler klorid sular bölgesinde yer alır. Akhüyük jeotermal alanındaki suların akifer kayası kireçtaşı ve marn aralanmalıdır ve sular kalsiyumca zengin bu seviyelerden süzülerek yüzeye ulaşmaktadır. Ayrıca Na-Cl tip termomineral sular yüksek sıcaklıklarda ve derin akiferlerde kayaçlardan çözünen mineraller ve iyon değişim reaksiyonlarının sonucunda oluşabilmektedir

(Gemici ve Tarcan, 2002). Jeotermal sularda bulunan Na, sodyum taşıyan silikatların çözünmesinden veya termomineral akiferlerdeki minerallerin buharlaşması sonucu olabileceği düşünülmektedir (Tarcan vd., 2005).

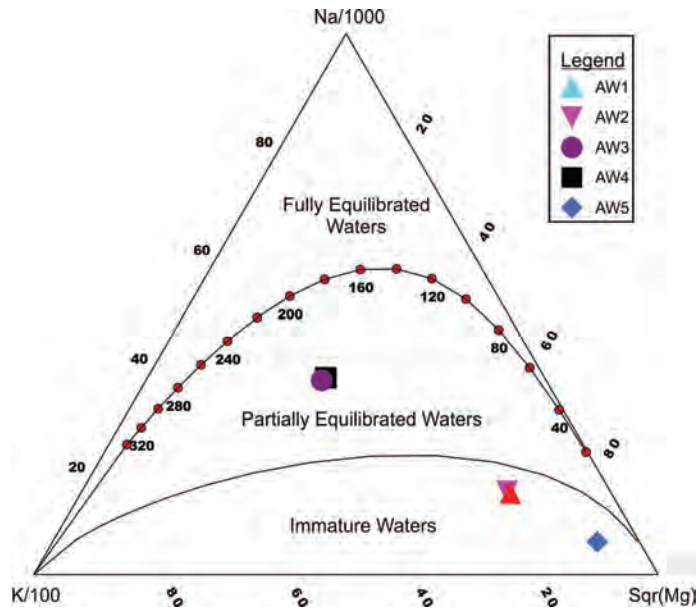


**Şekil 6.** Çalışma alanından alınan su örneklerinin Ternary diyagramında gösterimi.

**Figure 6.** Ternary diagram of the water samples taken from the study area.

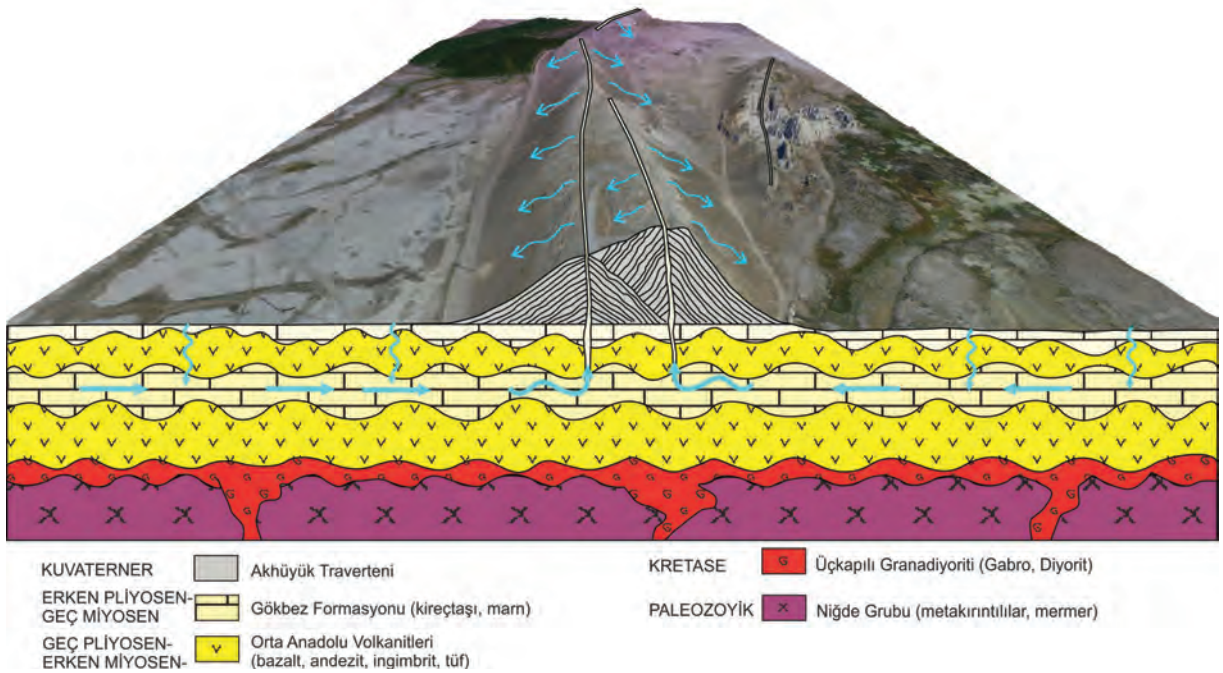
Na-K-Mg üçgen diyagramı jeotermal suların kökenini, dengeye ulaşip ulaşmadıklarının kontrolünü ve uygun jeotermometrelerin seçiminde kullanılmaktadır (Giggenbach, 1988). Na-K-Mg üçgen diyagramına göre Akhüyük jeotermal sahasındaki sulardan doğal çıkış olan AW1, AW2 ve AW5 olgun olmayan sular sınıfındayken AW3 ve AW4 numuneleri kısmi dengede sular alanına denk gelmektedir. Bu sular sığ dolaşımli yeraltısuyu ile karışmış sular olarak tanımlanmaktadır (Şekil 7).

Jeotermal sistemlerde traverten yapıları aktif fayların belirlenmesinde önemli araçlardan biridir (Giggenbach, 1988; Atabey, 2003). Jeotermal alanlarda ısının kaynağı volkanizma, soğumasını tamamlayamamış magmatik bir sokulum veya tektonik etkinliğe bağlı olarak değişir. Tüm bu faaliyetler jeotermal alanın bulunduğu bölgede ısı akısının yüksek olmasına neden olur. Güncel volkanik etkinliğin var olmaması nedeniyle Orta Anadolu ve Doğu Anadolu gibi genç volkanik alanlarda jeotermal sistemin ısı kaynağını genel olarak soğumasını henüz tamamlayamamış magma ve tektonizma olduğu kabul edilmektedir (Mutlu ve Güleç, 1998). Akhüyük jeotermal alanındaki ısı kaynağının Orta Anadolu bölgesinde sıklıkla yüzlek veren Kretase yaşlı granit, granodiyorit sokulumu, tektonizma ve jeotermal gradyan olduğu düşünülmektedir (Şekil 8). Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesitinde alandaki travertenlerin altında Kapadokya volkanitlerine ait birimler ile Gökbez Kireçtaşları bulunmaktadır. Kapadokya volkanizmasına ait bu birimler hidrojeolojik olarak çok az su içerebilir olmasına rağmen tektonizmanın etkisiyle ikincil porzite ve permeabilite kazandığı için yer yer rezervuar özelliği gösterebilmektedir. Bu nedenle çalışma alanında bulunan kırık ve çatlaklı zonlardan süzülen sular volkanitlerin altında bulunan kireçtaşı birimleri içerisinde birikerek rezervuar oluşturur. Hidrotermal sistemin sahip olduğu ısıyı koruyabilmesi için, sıcak su akiferi üzerinde düşük termal iletkenliğe ve düşük geçirimsizliğe sahip bir örtü kayacın olması gerekmektedir. Çalışma sahasında bulunan tektonizmadan az etkilenen volkanitler ile güncel alüvyal çökeller sistemin örtü kayasını oluşturmaktadır. Ayrıca alanda bulunan travertenler beslenme alanına düşen yağış sularının derinlere süzülmesi ve fay düzlemi boyunca tekrar yüzeye yükselerek çökmesi sonucunda oluşmuş tektonik kontrollü sırt tipi bir traverten özelliğindedir (Şekil 8).



Şekil 7. Çalışma alanına ait su örneklerinin Giggenbach diyagramında gösterimi (Giggenbach, 1988).

Figure 7. Demonstration of water samples from the study area in the Giggenbach diagram (Giggenbach, 1988).



Şekil 8. Akhüyük jeotermal alanının hidrojekimyasal kavramsal modeli ve traverten oluşum mekanizması.

Figure 8. Hydrogeochemical conceptual model of Akhüyük geothermal field and mechanism of travertine formation.

## SONUÇLAR

Konya ili Ereğli ilçesinde yer alan Akhüyük traverten alanında bulunan jeotermal sular ve bu akışkanların kayaç ilişkisinin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada, çalışma alanının jeolojisi, travertenlerin jeokimyası ve termal suların hidrojeokimyasal özellikleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Çalışma alanından derlenen kayaç örneklerinden yapılan XRD analiz sonuçlarına göre alandaki tüm kayaçlar kalsit mineralinden oluşmaktadır. Aynı örneklerle ait XRF analizlerine göre de tüm numunelerde %90 oranında Ca elementi bulunmakta ve bu Ca elementine Mg, S, Sr ve K gibi elementler eser oranında eşlik etmektedir. Çalışma sahasından derlenen örneklerin hidrojeokimyasal analiz sonuçlarına göre, sondaj ve doğal çıkış olan örnekler Na-Cl su tipinde olup kuyu suyu olan AW5 numunesi ise Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub> su tipindedir ve baskın iyonlar Na ve Cl'dir. Akhüyük jeotermal sularında yüksek Na değerleri plajiyoklasların ayrışması veya Akhüyük jeotermal alanın Alt Pleyistosen döneminde Tuzgölü havzası sınırlarında olması ile açıklanabilir. Ayrıca suların yüksek Cl değerleride yine ya akifere tuzlu su karışımı ile veya jeotermal suların derin dolaşımı ile açıklanabilir. Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramında Akhüyük su örneklerinden kuyu suyu olan AW5 numunesi bikarbonat sular bölgesinde yer alırken geri kalan numuneler klorid sular bölgesinde yer alır. Na-K-Mg üçgen diyagramına göre Akhüyük traverten alanına ait jeotermal sulardan AW3 ve AW4 örnekleri kısmi dengede sular sınıfında yer alırken AW1, AW2 ve AW5 numuneleri olgun olmayan sular sınıfında yer almaktadır. Tüm bu veriler dikkate alınarak jeotermal sistemin hidrojeokimyasal kavramsal modeli ve bu akışkanlara bağlı gelişen travertenlerin oluşum mekanizması oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modele göre çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı Niğde Grubu oluştururken, ısıtıcı kayayı Orta Anadolu Volkanik Kompleksinde de olduğu gibi Üçkapılı

Granadiyoriti ve tektonizmaya bağlı jeogradyan, rezervuar kayayı Gökbeş Formasyonuna ait kireçtaşları ve örtü kayayıda Pleyistosen-Holosen yaşlı güncel çökeller ile Akhütük travertenleri oluşturur. Ayrıca yapılan incelemelere göre çalışma alanı tektonik kontrollü olup güneyinden Niğde Fay Zonu ile sınırlandırılmakta ve alandaki travertenler Tuzgölü fayına paralel bir çatlak hattından sızan Ca bakımında zengin sulardan çökelen malzemenin birikmesiyle meydana gelmektedir. Jeokimyasal ve hidrojeokimyasal çalışmalardan elde edilen veriler, bu alanda jeotermal sahaların yanı sıra, jeotermal sistemin devamlılığının takip edilmesi sonucunda benzer hatta daha sıcak jeotermal sahaların da ortaya çıkma potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

## KATKI BELİRTME

Yazar bu çalışmanın değerlendirme sürecindeki katkılarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Zeynel ÖZTÜRK, Mahmut İSPİR ve Ferhat BAHADIR'a teşekkür eder.

## EXTENDED SUMMARY

*Akhüyük travertine region is located at southeast of Konya, Central Turkey. It extends NW-SE direction with an approximate width of 400 m and length of 2.5 km. The study area is formed parallel to the Tuzgölü Fault Zone and is limited by the Niğde Fault Zone from south. The basic units of the study area are the metamorphic rocks of the Niğde Massif (Niğde Group) represented by Lower Paleozoic gneiss, marble, quartzite, and amphibolite. On the basement units are the Paleocene-Eocene Ulukisla-Çamardı Group which is formed by clastic and limestone-marl alternation. A series of volcanic units, starting from Upper Miocene-Pliocene to the Quaternary, are came unconformably over this formation and affected the basin in terms of salinity. The uppermost part of this stratigraphic sequence is*



represented by coarse limestone, travertine and conglomerates. The age of the travertine mass was determined as Upper Pleistocene-Holocene due to they are located stratigraphically over the Upper Pleistocene units and the formation of travertine is still continuing. In this study, it is aimed to investigate the travertine and fluids interaction (travertine formation mechanism), to determine the origin of the travertines in the field and to reveal the hydrogeochemical characteristics of fluids. In the scope of this study, 9 rocks and 5 water samples were taken from Akhüyük travertine area. Whole rock XRD and XRF analyzes were made from the rock samples and major anion and cation analyzes were performed from the water samples. The XRD analysis shows that  $\text{CaCO}_3$  containing minerals especially calcite mineral occur as the dominant mineral along fault zones providing pathways for fluid rising. According to the XRF analyzes of the same samples, 90% of the Ca element is present in all the samples and this Ca element is accompanied by trace amount of elements such as Mg, S, Sr and K. According to ion chemistry, the Akhüyük geothermal system is fed from meteoric water. The geothermal waters are classified as Na-Cl water type with the dominant cations in increasing order of  $\text{Na}+\text{K}>\text{Ca}>\text{Mg}$  while the anions are  $\text{Cl}>\text{SO}_4>\text{HCO}_3$ . The high Cl values can be explained by deeply circulated waters or by the salt water mixture, whilst the high Na values can be explained by the decomposition of plagioclases or by the fact that the Akhüyük geothermal field is in the Tuzgölü basin boundary during the Lower Pleistocene. According to the semi logarithmic Schoeller diagram, the thermal waters are come from same or similar aquifer since the waters exhibit parallel ion concentrations. Piper diagram shows that the hot waters in the region are Na-Cl type water and cold water is Na-Ca-Cl- $\text{HCO}_3$  type water. According to the Na-K-Mg triangular diagram, AW1, AW2 and AW5 samples are immature waters while AW3 and AW4 samples are partially equilibrated waters.

According to the created geothermal conceptual model, the heating rock of the system is Üçkapılı granodiorite as such in the Central Anatolian Volcanic Complex and geogradyan connected with tectonism, the reservoir rock is limestones belonging to the Gökbez Formation and the cover rock is composed of Pleistocene-Holocene sediments and Akhüyük travertines.

## ORCID

Mehmet Furkan Şener  <https://orcid.org/0000-0002-7362-2738>

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Aksoy, N. 2014. Power generation from geothermal resources in Turkey. *Renewable Energy*, 68, 595-601
- Atabey, E. 2003. Tufa ve Travertenler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:75, Ankara.
- Atabey, E. ve Ayhan, A. 1986. Nigde, Ulukisla, Çamardi, Çiftehane yöresinin jeolojisi. MTA. Derleme Rapor No. 8064. 60s
- Ates, A., Bilim, F. and Buyuksarac, A. 2005. Curie point depth investigation of central Anatolia, Turkey, *Pure and Applied Geophysics*, 162, 2, 357-371.
- Ayaz, M.E. 2002. Travertenlerde gözlenen morfolojik yapılar ve tabiat varlığı olarak önemleri. *C. Ü. Yerbilimleri*, 19, 123-134.
- Aydemir, A. and Ates, A. 2008. Determination of hydrocarbon prospective areas in the Tuzgolu (Saltlake) Basin, Central Anatolia, by using geophysical data. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 62:36-44. Doi: 10.1016/j.petrol.2008.07.005
- Balkan, E., Erkan, K. and Salk, M. 2017. Thermal conductivity of major rock types in western and central Anatolia regions, Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering*, 14, 4, 909-919.
- Bozdog, A. 2016. Hydrogeochemical and isotopic characteristics of Kayak (Seydisehir-Konya) geothermal field, Turkey, *Journal of African Earth Sciences*, 121, 72-83.
- Buyuksarac, A, Jordanova, D, Ates, A. and Karloukovski, V. 2005. Interpretation of the

- gravity and magnetic anomalies of the Cappadocia region, Central Turkey. *Pure Applied Geophysics* 162:2197–2213
- Craig, H. 1953. The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 3:53–92. doi: 10.1016/0016-7037(53)90001-5
- Çemen, İ., Göncüoğlu, M.C. and Dirik, K. 1999. Structural evolution of the Tuzgölü basin in Central Anatolia, Turkey. *Journal of Geology*, 107 (6), 693-706.
- De Filippis, L., Faccenna, C., Billi, A., Anzalone, E., Brillì, M., Soligo, M. and Tuccimei, P. 2013. Plateau versus fissure ridge travertines from quaternary geothermal springs of Italy and Turkey: interactions and feedbacks between fluid discharge, paleoclimate, and tectonics. *Earth Science Reviews*, 123:35–52. doi:10.1016/j.earscirev.2013.04.004
- Diker, S., Celik, M. and Kadioglu, Y.K. 2006. Finger prints of the formation of geothermal springs on the granitoids: Beypazari-Ankara, Turkey. *Environmental Geology*, 51, 3, 365-375.
- Dirik K. and Göncüoğlu, M.C. 1996. Neotectonic characteristics of Central Anatolia. *International Geology Review*, 38, 807–817. doi:10.1080/00206819709465363.
- Dönmez, M., Türkecan, A. ve Akçay, E.A. 2003. Kayseri Niğde ve Nevşehir yöresi Tersiyer volkanikleri raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10575. Ankara (yayımlanmamış).
- Ellis, A.J. and Mahon, W.A.J. 1977. Chemistry and geothermal systems. Academic Press, New York, 392s.
- Fournier, R.O. 1991. Water geothermometers applied to geothermal energy. In: D'amore F (ed) UNITAR/UNDP, Rome, pp 37–69
- Gemici, Ü. and Tarcan, G. 2002. Hydrogeochemistry of Simav geothermal field, western Anatolia, Turkey. *Journal Volcanology and Geothermal Research*, 116, 215–233
- Giggenbach, W.F. 1988. Geothermal solute equilibria: derivation of Na-K-mg-Ca geothermometers. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 52, 2749–2765. Doi:10.1016/0016-7037(88)90143-3
- Giggenbach, W.F. 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. In: D'Amore F (ed) Applications of geochemistry in geothermal reservoir development. UNITAR/UNDP, Rome, pp 119–142
- Haklıdır, F.S.T. 2015. Geothermal Energy Sources and Geothermal Power Plant Technologies in Turkey, Energy Systems and Management, 115-124.
- Ilkısık, O.M., Gurer, A., Tokgoz, T. and Kaya, C. 1997. Geoelectromagnetic and geothermic investigations in the Ihlara Valley geothermal field, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 78, (3-4), 297-308.
- Jennejohn, D., Hines, B., Gawell, K. and Blodgett, L. 2012. Geothermal: international market overview report. Geothermal Energy Association, Washington, DC
- Kazancı, N., Gevrek, A.I. and Varol, B. 1995. Facies Changes and High Calorific Peat Formation in A Quaternary Maar Lake, Central Anatolia, Turkey-The Possible Role of Geothermal Processes In A Closed Lacustrine Basin. *Sedimentary Geology*, 94, (3-4), 255-266.
- Keller, W.D. 1981. The sedimentology of flint clay. *Journal of Sedimentary Research*, 51, 233–244. Doi:10.1306/212F7C57-2B24-11D7-8648000102C1865D
- Kıyak, A., Karavul, C., Gulen, L., Peksen, E. and Kilic, A.R. 2015. Assessment of geothermal energy potential by geophysical methods: Nevşehir Region, Central Anatolia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 295, 55-64.
- Koçyiğit, A. 2003. Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri, Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı çalışma, Aksaray, TPJD, Özel sayı: 5, 1-26.
- Maucourant, S., Giammanco, S., Greco, F., Dorizon, S. and Del Negro, C. 2014. Geophysical and geochemical methods applied to investigate fissure-related hydrothermal systems on the summit area of Mt. Etna volcano (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 280, 111–125. Doi:10.1016/j.jvolgeores.2014.05.014
- Mauri, G., Williams-Jones, G., Saracco, G. and Zurek, J.M. 2012. A geochemical and geophysical investigation of the hydrothermal complex of Masaya volcano, Nicaragua. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 227–228, 15–31. Doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.02.003

- Melikoglu, M., 2017. Geothermal energy in Turkey and around the World: A review of the literature and an analysis based on Turkey's Vision 2023 energy targets, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 485-492.
- Mesci, B.L. 2012. Active tectonics of the Ortakoy fissure-ridge-type travertines: implications for the Quaternary stress state of the neotectonic structures of the Central Anatolia, Turkey, *Geodinamica Acta*, 25, 1-2, 12-25.
- Minissale, A., Vaselli, O., Mattash, M., Montegrossi, G., Tassi, F., Ad-Dukhain, A., Kalberkamp, U., Al-Sabri, A. and Al-Kohlani, T. 2013. Geothermal prospecting by geochemical methods in the Quaternary volcanic province of Dhamar (central Yemen). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 249, 95–108. Doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.09.013
- Mutlu, H. and Güleç, N. 1998. Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 85, 495–515.
- Oktay, F. 1982. Ulukışla ve çevresinin stratigrafisi ve jeolojik evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 25, 15-24.
- Özkan, R., Şener, M., Helvacı, C. ve Şener, M.F. 2011. Aliğa (İzmir) jeotermal alanındaki hidrotermal alterasyonlar ve termal sularla ilişkisi. *Yerbilimleri Dergisi*, 32, 141–168.
- Pasvanoglu, S. and Gultekin, F. 2012. Hydrogeochemical study of the Terme and Karakurt thermal and mineralized waters from Kirsehir Area, central Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 66, (1), 169-182.
- Pellerin, L., Johnston, J. and Hohmann, G. 1996. A numerical evaluation of electromagnetic methods in geothermal exploration. *Geophysics*, 61, 121–130. Doi:10.1190/1.1443931
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Transactions, American Geophysical Union*, 25, pp. 914–923.
- Polat, S. 2011. Türkiye’de traverten oluşumu, yayılış alanı ve korunması. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 389-428,
- Roberts, N., Erol, O., De Meester, T. and Uerpman, H.P. 1979. Radiocarbon chronology of Late Pleistocene Konya Lake, Turkey. *Nature*, 281, 662-664.
- Schoeller, H. 1977. Geochemistry of groundwaters. In *Groundwater Studies and International Research and Practice*, UNESCO, Paris 1977.
- Serpen, U., Aksoy, N., Ongur, T. and Korkmaz, E.D. 2009. Geothermal energy in Turkey: 2008 update. *Geothermics*, 38, 2, 227-237
- Şener, M.F., Şener, M. and Uysal, I.T. 2017. The evolution of the Cappadocia Geothermal Province, Anatolia (Turkey): geochemical and geochronological evidence. *Hydrogeology Journal*, 25, (8), 2323-2345
- Tarcan, G., Gemici, Ü. and Aksoy, N. 2005. Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey. *Environmental Geology*, 47, 523–534, Doi:10.1007/s00254-004-1174-1.
- Temiz, U and Savaş, F. 2018. U/Th Dating of the Akhüyük Fissure Ridge Travertines in Ereğli, Konya (Central Anatolia, Turkey): Their Relationship to Active Tectonics, *Arabian Journal for Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3106-5>.
- Toprak, V. and Gönçüoğlu, M.C. 1993. Tectonic control on the development of the Neogene-Quaternary Central Anatolian volcanic province, Turkey. *Geological Journal*, 28:357–369. doi:10.1002/gj.3350280314.
- Yalçınlar, I. 1954. Les gisements de Mammifères et d'autres vertèbres fossiles de la Turquie. *Cong. Geol. inter. Alger, sec. XIII, 3e part ., fasc. XV*, pp. 139-147.
- Yurteri, C. and Şimsek, Ş. 2017. Hydrogeological and hydrochemical studies of the Kaman-Savcili-Büyükoba (Kirsehir) geothermal area, Turkey. *Geothermics*, 65, 99-112.







**Yüksekova Havzası'nın (Güneydoğu Türkiye) Yükselim Hızı Tarihçesi'nin Araştırılması**  
*Investigation of Uplift Rate History of the Yüksekova Basin (Southeast Turkey)*

**Taylan Sançar**

*Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 62000 Aktuluk Tunceli, Türkiye*

Geliş/Received : 17.05.2018 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 19.06.2018 • Kabul/Accepted : 26.06.2018 • Baskı/Printed : 29.06.2018

*Araştırma Makalesi/Research Article*

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

**Öz:** Şemdinli Yüksekova Fay Zonu (ŞYFZ), Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi'nin en güneyinde yer alan K50°-60B° uzanımında ve 90 km uzunluğunda doğrultu atımlı sağ yanal bir deformasyon yapısıdır. ŞYFZ'nin en belirgin morfolotektonik yapısı KB-GD uzanımlı, uzun eksenli 38 km en geniş yeri 10 km olan Yüksekova Havzası'dır. Bu çalışma kapsamında morfometrik indisler kullanılarak havza civarının yükselim özellikleri araştırılmıştır. Yüksekova Havzası'nın kuzey ve güney sınırlarında fay kontrolü olarak gelişen dağ önleri üzerinde gerçekleştirilen Dağ Önü Sinüslüğü ( $S_{mf}$ ) ve Vadi Tabanı Genişliğinin Vadi Yüksekliğine Oranı ( $V_f$ ) indeks hesaplamaları havzayı sınırlayan fayların yüksek aktiviteye sahip olduğunu ve yükselim hızının 0.5 mm/yıl'dan az olmadığını göstermektedir. Havzaya uzak ve yakın konumlanmış drenaj alanları içerisindeki dere kolları üzerinde dört farklı yöntem ile hesaplanan konkavlık ( $m/n$ ) indeksleri, havza sınırlarındaki yükselmin bölgesel bir aktiviteden ziyade ŞYFZ denetiminde geliştiğini açığa çıkarmıştır. Yüksekova Havzası'nı sınırlayan faylara yakın konumlanmış drenaj alanları içerisindeki dere kollarının İntegral Analizi ( $\chi = \gamma$ ), havzaların  $m/n$  oranından bağımsız olarak yükselim hızının zaman içerisinde değiştiğine işaret etmektedir. Havza civarında aşınmaya karşı dayanımlı olan litolojik birimler yükselim hızının dört defa değiştiğini açığa çıkartmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu, Yükselim Hızı, Morfometrik İndis, Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi

**Abstract:** The 90 km long and N50°-60°W oriented right lateral Şemdinli Yüksekova Fault Zone (ŞYFZ) is located at the southeast of the EACP. The most prominent morphotectonic structure of the ŞYFZ is the Yüksekova Basin that has a long axis striking in NW-SE direction with a length of 38 km and the maximum width of 10 km. In this study, morphometric indices were used to investigate the uplift characteristics of the basin. According to the Mountain-front sinuosity ( $S_{mf}$ ) and the ratio of valley-floor width to valley-height index ( $V_f$ ) calculations along the mountain fronts on the northern and southern margins of the Yüksekova Basin, the faults that delimit the basin margins have high activity, and the uplift rate is not less than 0.5 mm /yr. Spatial distribution of the  $m/n$  values of the drainage areas reveals that the ŞYFZ have driven the rock uplift around the basin rather than the large-scale lithospheric processes. The integral analysis ( $\chi = \gamma$ ) of the tributaries in the drainage areas located close to the faults that delimit the Yüksekova Basin indicate that the uplift rate of the basin changes over time regardless of the  $m/n$  ratio. The integral analyses of lithological units, which are resistant to erosion around the basin, reveal that uplift rate has been changed four times.

**Keywords:** Şemdinli-Yüksekova Fault Zone, Uplift Rate, Morphometric Indices, East Anatolian Contractional Province

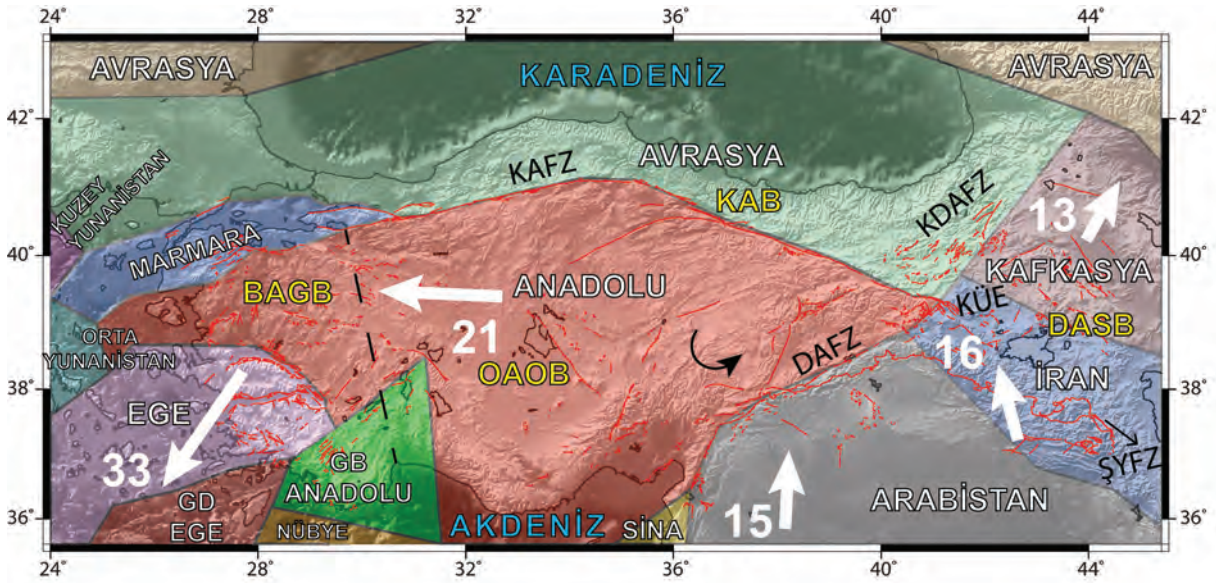
## GİRİŞ

Tektonik ve iklimsel süreçlerin zaman içerisindeki etkileşimi yer yüzeyinde farklı morfolojik yapıların oluşumuna ya da mevcut yapıların yeniden şekillenmesine neden olur (Whipple, 2004; Whipple ve Tucker, 1999; Whittaker vd., 2008; Wobus vd., 2006). Bir bölgedeki jeomorfolojik yapıların sayısal yükseklik modellerinden (SYM) elde edilen mekânsal dağılımının morfometrik özellikleri, bölgeye ait yapısal ve/veya jeodezik verilerin bulunmadığı ya da söz konusu verilerin yetersiz kaldığı durumlarda bölgeyi etkileyen tektonik ve iklimsel süreçlerin anlaşılmasında kullanılabilir (Burbank ve Anderson, 2001; Molnar, 2001; Roberts vd., 2004). Faylar tarafından sınırlanan dağ önleri bu süreçlerin anlaşılmasında oldukça önemlidir. Bu bölgelerdeki litolojik birimlerin dayanım gücü de dikkate alınarak, tektonik veya iklimsel süreçlerin hangisinin sözü edilen morfolojik yapının gelişiminde baskın olduğu çıkartılabilir (Bull ve McFadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002; Rockwell vd., 1984). Yer yüzeyinde tektonik ve iklimsel süreçlerin etkilerine ait kayıtların saklandığı diğer bir morfolojik yapı ise alüvyon olmayan yataklara sahip flüvyal sistemin en önemli bileşenleri olan drenaj alanları ve dere kollarıdır. Söz konusu bileşenler yer yüzeyinin yükselim ve aşınma süreçleri arasındaki ilişkiyi daha iyi yansıttığı için (Howard, 1994; Howard vd., 1994; Howard ve Kerby, 1983; Whipple, 2004; Whipple ve Tucker, 1999) bu morfolojik yapılar yükselim tarihçesinin anlaşılmasında daha hassas belirteçler olarak kabul edilir (Whipple, 2004). Bu belirteçlere ait topoğrafik veriler kullanılarak, tektonik yükselim ve erozyon oranı arasındaki ilişkiyi ortaya çıkaran morfometrik hesaplamalar hem bir bölgenin tektonik aktivitesinin ortaya çıkarılmasında (Anoop vd., 2012; Pan vd., 2015; Snyder vd., 2000; Wobus vd., 2006) hem de potansiyel aktif fayların belirlenmesinde ve faylar arasındaki göreceli tektonik aktivitenin ortaya çıkarılmasında (Kirby ve Whipple, 2012; Sağlam Selçuk, 2016;

Silva vd., 2003; Topal vd., 2016; Yıldırım, 2014) yaygın olarak kullanılır.

Türkiye'nin de bir parçası olduğu Doğu Akdeniz'in karmaşık mimarisi genel olarak Avrasya, Afrika, Arabistan Levhaları ve göreceli olarak küçük Anadolu Bloğu'nun birbirleri ile olan etkileşimi sonucu şekillenir. Doğu Akdeniz'in tektonik deformasyonunu doğuda Zagros dalma-batma/çarpışma kuşağı, batıda ise Helenik Yay ve onun geri çekilmesi (Le Pichon ve Kreemer, 2010; McKenzie, 1972) kontrol eder. Bu deformasyon zonu içerisinde Anadolu Bloğu'nun batıya doğru olan hareketinin nedenine dair farklı görüşler ileri sürülmüş olmasına rağmen (Chorowicz vd., 1999; Faccenna vd., 2013; Le Pichon ve Kreemer, 2010; McKenzie, 1972; Özeren ve Holt, 2010; Reilinger vd., 2006; Şengör vd., 1985), bu hareket sırasında büyük miktardaki deformasyonun Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde biriktiği kabul edilir (Şekil 1) (Kozacı vd., 2009; Reilinger vd., 2006; Şengör, 1980; Şengör vd., 1985; Şengör vd., 2005). Avrasya Levhası'na göre yıllık 21 mm/yıl hız (Reilinger vd., 2006) ile batıya doğru hareket eden Anadolu Bloğu (Şekil 1) aynı zamanda Euler kutbu Nil deltasında olmak üzere (McClusky vd., 2000; Reilinger vd., 1997) saatin tersi yönünde rotasyona uğrar (Reilinger vd., 2006). Bu hareket Türkiye'de (a) Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, (b) Kuzey Anadolu Bölgesi, (c) Orta Anadolu "Ova" Bölgesi, (d) Batı Anadolu Gerilme Bölgesi olarak bilinen dört neotektonik bölge oluşumuna neden olur (Şekil 1) (Şengör, 1980).

Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi (DASB), KAFZ, DAFZ ve Varto Fay Zonu (VFZ)'nin kesişimi ile oluşan Karlıova Üçlü Eklemi (KÜE)'nin doğusunda yer alır ve GPS hız alanlarına göre üretilen elastik blok modellerinden olan İran Bloğu'nun kuzeybatı kesimini temsil eder (Şekil 1). DASB genel olarak K-G yönlü sıkışma rejimi sonucu ortaya çıkan farklı yapılar bu karakterize olur. Bu yapılar;



**Şekil 1.** Türkiye ve çevresinin, GPS verilerinden üretilen elastik blok model sınırları ve blokların hareket yönleri (Reilinger vd. 2006'dan düzenlenerek alınmıştır) ve Türkiye neotektonik döneminde oluşmuş bölgeler. BAGB: Batı Anadolu Gerilme Bölgesi, OAOB: Orta Anadolu 'Ova' Bölgesi, KAB: Kuzey Anadolu Bölgesi, DASB: Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu, ŞYFZ: Şemdinli Yüksekova Fay Zonu. Kırmızı renkle gösterilen aktif faylar Şaroğlu ve diğ. (1992)'den alınmıştır.

**Figure 1.** GPS based elastic block model boundaries around the Turkey (modified from Reilinger et. al 2006) and neotectonic provinces of the Turkey. BAGB: West Aantolian Extensional Province, OAOB: Central Anatolian "OVA" Province, KAB: North Anatolian Province, DASB: East Anatolian Contractional Province (EACB), KAFZ: North Anatolian Fault Zone, DAFZ: East Anatolian Fault Zone, KDAFZ: North East Anatolian Fault Zone, ŞYFZ: Şemdinli Yüksekova Fault Zone. Red Lines: The active faults of Tukey (Şaroğlu et al 1992)

- KB yönelimli sağ yanal ve KD yönelimli sol yanal doğrultu atımlı faylar ve bu faylar üzerinde oluşmuş çek-ayır havzalar,
- D-B yönelimli kıvrım/bindirime kuşakları ve bunların denetiminde gelişen havzalar (Muş, Van ve Pasinler gibi ramp havzaları),
- K-G yönelimli normal faylar ve aynı yönde gelişen açılma çatlakları üzerinde görülen volkanik çıkış merkezleridir (Bozkurt, 2001; Şengör, 1980; Şengör vd., 1985).

DASB'nin en güneyinde yer alan K50-60B uzanımında, 90 km uzunluğunda ve 20 km genişliğinde olan Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu (ŞYFZ) (Şekil 1 ve 2), Üst Kretase yaşlı Yüksekova Karmaşığı ve Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Bitlis

Metamorfite arasındaki sınırın yaklaşık 8 km sağ yanal olarak yer değiştirmesine neden olmuştur (Koçyiğit, 2005). ŞYFZ üzerindeki en belirgin morfolotektonik yapı Yüksekova çek-ayır havzasıdır. Bu havzanın doğusunun ve batısının aktif faylarla denetlendiği düşünülse de (Koçyiğit, 2005) sonraki çalışmalar havzanın sadece doğu kenarının aktif fay tarafından sınırlandırıldığını ileri sürmektedir (Emre vd., 2012). Jeofizik temelli çalışmalar Yüksekova Havzası civarındaki zemin özelliklerinin bu fay zonunun üreteceği potansiyel deprem sırasında önemli ölçüde hasar artışına neden olacağını göstermiştir (Akkaya, 2015).

Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin en güneydoğusunda yer alan ve güncel deformasyon özellikleri (kayma/yükselim hızı, deprem tarihiçesi



gibi) hakkında herhangi bir bilginin bulunmadığı sağ yanal doğrultu atımlı deformasyon hattı olan Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu (ŞYFZ) denetiminde gelişen, KB-GD uzanımlı Yüksekova Havzası (Şekil 2) civarındaki yükselim tarihçesi morfolojik yöntemler kullanılarak araştırılmıştır.

Bu amaçla ilk olarak önceki çalışmalardan derlenen aktif fay ve jeoloji haritaları, 1:25.000 ölçekli SYM'lerden elde edilen ötelenmiş yapılar ve çizgisellikler ile birlikte değerlendirilerek ŞYFZ'nin Yüksekova Havzası civarındaki geometrisi çizilmiştir (Şekil 2). Havza civarındaki kayalar dayanım gücüne göre sınıflandıktan havzanın doğu ve batı sınırlarındaki dağ önleri, drenaj alanları ve bu alanlar içerisindeki dere kolları incelenmiştir. Dağ önü sinüslüğü, vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranı gibi temel morfolojik yöntemler ile hem havza civarındaki yükselmin etkileri hem de havzayı sınırlayan fayların aktivitesi araştırılmıştır. Hipsometrik analizler ile her bir drenaj alanının morfolojik gelişimi tartışıldıktan sonra, drenaj alanları içerisindeki dere kollarının konkavlığı hesaplanarak yükselim hızındaki değişimleri gösterebilen integral analiz çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen veriler Yüksekova Havzası'nın doğusunu ve batısının aktif faylar ile sınırlandığını ve yükselim hızının zaman içerisinde değiştiğini göstermektedir.

## ŞEMDİNLİ-YÜKSEKOVA FAY ZONU'NUN GEOMETRİSİ VE CİVARININ JEOLJİSİ

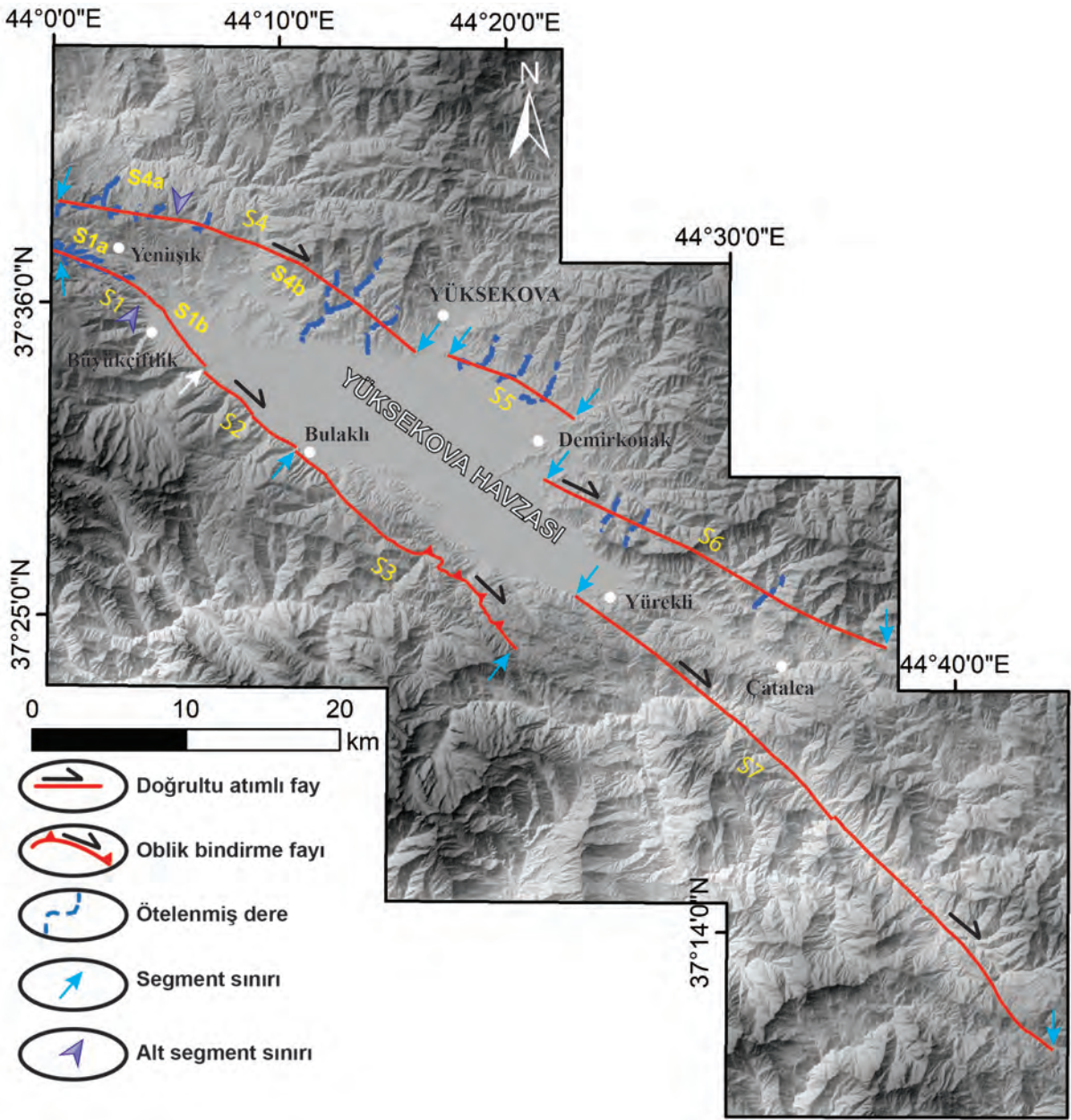
### Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu'nun Geometrisi

ŞYFZ geometrik özelliklerine göre 7 farklı segmente ayrılmıştır (Şekil 2). Yüksekova Havzası'nın batı tarafını sınırlayan 13 km uzunluğundaki S1 segmentinin ilk 7 km'lik bölümü (S1a) Yenişık köyünün güneybatısı ile Büyükçiftlik köyü kuzeyi arasında kuzeye doğru

geniş yay şekilli geometrisi ile karakterize olur (Şekil 2). S1a üzerinde 100 m ile 2 km arasında değişen çok sayıda ötelenmiş dere mevcuttur (Şekil 2 ve 3). S1 segmentinin havza içerisindeki devamı olan S1b, havzanın batı kenarı boyunca K40°B doğrultusunda 6 km devam eder. S1b'nin güneydoğu ucundan Bulaklı köyüne kadar havza sınırında K50°B doğrultusunda 8 km devam eden S2 üzerinde görülen ufak sıkışmalı ve genişlemeli bükümler segmentin en dikkat çekici geometrik özelliğidir (Şekil 2). Bulaklı köyünden itibaren havzayı sınırlayan yükseltilerin içinden K45°-50°B doğrultusunda devam eden 21 km uzunluğundaki S3 segmentinin güneydoğusu oblik bindirme yapısı ile karakterize olur (Şekil 2).

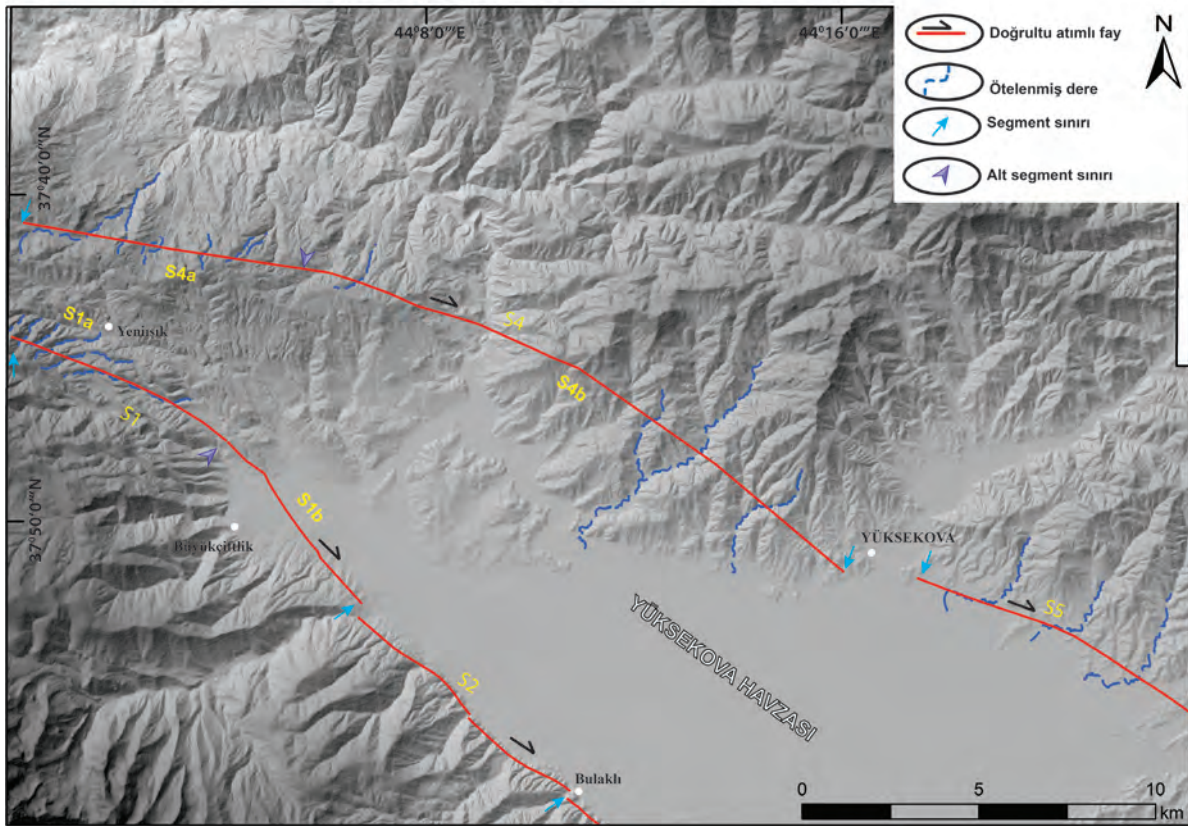
Yenişık köyü kuzeybatısı ile Yüksekova arasında 26 km uzunluğunda olan S4 segmenti (Şekil 2) kuzeye doğru belirgin yay geometrisi ile karakterize olur ve segment boyunca 2 km'ye kadar ölçülen ötelenmiş dereler mevcuttur (Şekil 3). Segment denetiminde olan ancak üzerinde ötelenme görülmeyen dereler söz konusu alandaki litolojik birimlerin erozyonu ile ilişkilendirilmiştir. S4 segmentinin havza içerisindeki (S4b) uzunluğu yaklaşık 10 km'dir. S5 segmenti Yüksekova ile Demirkonak köyü arasında K60°-65°B doğrultusunda uzanır ve yaklaşık 10 km uzunluğa sahiptir (Şekil 2). Havzayı sınırlayan yükseltiler boyunca devam eden ve sıkışmalı büküm özelliği gösteren fay üzerinde 1.5 km'ye kadar ötelenmiş dereler mevcuttur (Şekil 3). S6 segmenti Demirkonak köyü güneyinden Çatalca köyü kuzeydoğusuna kadar 25 km boyunca K65B doğrultusunda uzanır (Şekil 2). Havzanın güneydoğusunun orta kesimlerinde Yüreklı köyü civarında başlayan ve güneybatıya K50°-55°B doğrultusunda 44 km uzanan S7 segmenti Yüksekova Karmaşığı ve Bitlis Metamorfileri arasındaki bindirme fayı ile karakterize olan sınırı 8 km ötelemiştir (Şekil 2 ve 4).





Şekil 2. Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu'nun geometrisi ve segment sınırları (Koçyiğit, 2005 ve Emre vd., 2012'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 2. The geometry and segment boundaries of the Şemdinli Yüksekova Fault Zone (modified from Koçyiğit, 2005 and Emre et al 2012)



Şekil 3. Yüksekova Havzası'nın kuzeybatısında ŞYFZ segmentleri ve bu segmentler üzerinde oluşan dere ötelenmeleri.

Figure 3. Segments of the ŞYFZ at northwest of the Yüksekova Basin and offset gullies.

Yüksekova Havzası'nı sınırlayan ŞYFZ segmentleri üzerinde görülen sağ yanal deformasyon ürünleri havayı sınırlayan fayların aktif olduğuna işaret eder. Bu fay geometrisi Yüksekova Havzası'nın çek-ayır tipinde gelişen bir havza olduğuna işaret eder.

### Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu Civarının Jeolojisi

Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu (ŞYFZ) civarında yer alan jeolojik birimler (Şekil 4) otokton ve allokton olarak ikiye ayrılır. Arap platformunun kuzey uzantısını temsil eden, Prekambriyen-Kuvaterner aralığında gelişmiş platform tipi çökellerden oluşan Güneydoğu Anadolu otokton birimleri, çalışma alanı içerisinde Cudi ve Midyat

Grubu ile temsil edilir (Şenel, 2002, 2007). Bu alan içerisinde tanımlanmış dört allokton birim mevcuttur (Şekil 4) (Şenel, 2002, 2007):

- Üst Kretase sonunda yerleşen Koçali-Karadut napı,
- Miyosende yerleşen Bitlis-Pötürge-Malatya napları,
- Miyosen napları ile Otokton birimler arasında Eosen-Erken Miyosen yaşlı kırıntılardan oluşan Çüngüş-Hakkâri Napı,
- Bu naplar üzerine açılal uyumsuzluk ile gelen ve bunlarla birlikte güneye aktarılan para-allokton konumlu Sekse ve Kırkgeçit Formasyonu.



## Otokton Birimler

Çalışma alanının en yaşlı otokton birimi olan Cudi Grubu (TrKc), masif, orta-kalın tabaklı, dolomit ve kireçtaşlarından oluşur (Şekil 4) (Altınlı, 1952). Sığ deniz ortamını yansıtan grubun yaşı paleontolojik veriler dikkate alınarak Orta Triyas-Alt Kretase olarak belirlenmiştir (Şenel, 2002). Cudi Grubunu uyumsuz olarak örten çalışma alanındaki diğer bir otokton birim olan Midyat Grubu (Teom)'nun üzerine Üst Miyosen yaşlı birimler uyumsuz olarak gelir (Şenel, 2007). Eosen yaşlı karbonatlardan (kireçtaşı, killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, marn ve kiltaşları) oluşan (Maxon, 1936) Midyat Grubu'nun içerisinde görülen Oligosen birimlerinden dolayı (Duran vd., 1988; Duran vd., 1989), birimin yaşı Eosen-Oligosen olarak verilmiştir.

## Allokton Birimler

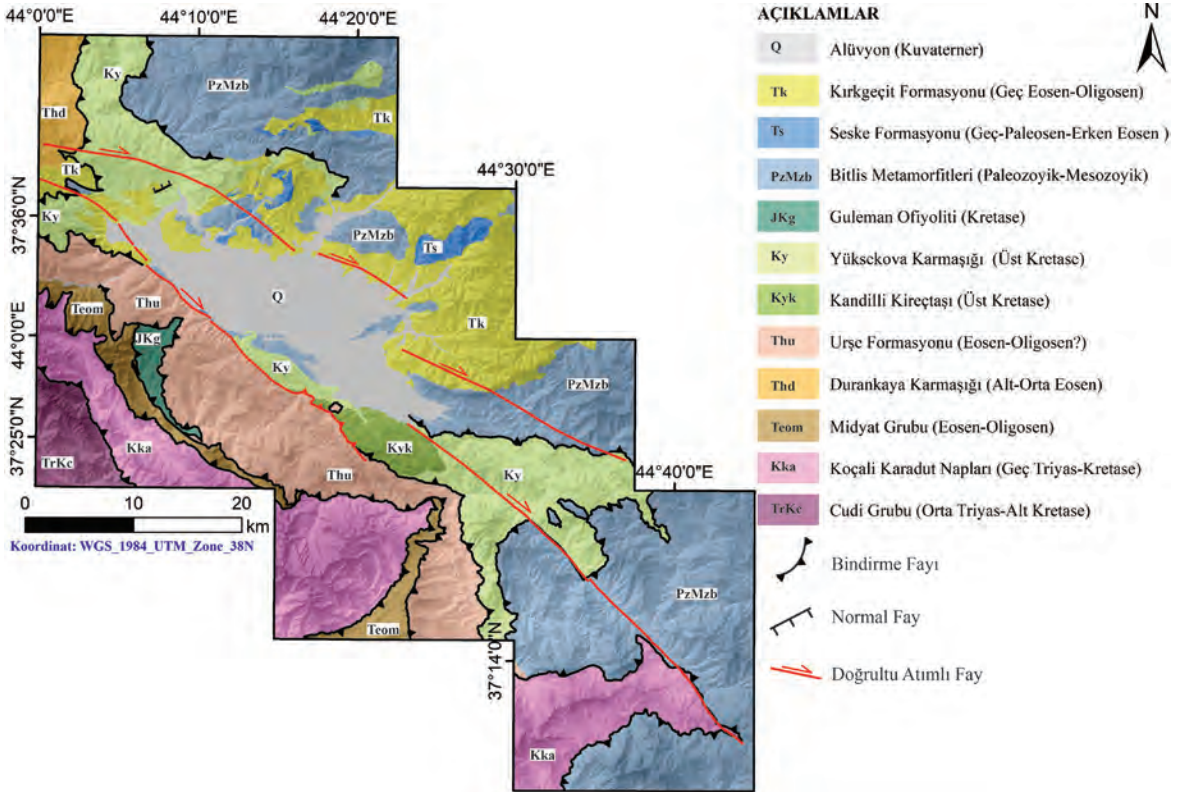
### Koçali-Karadut Napı (Kka)

Güneydoğu Anadolu otoktonu üzerine Üst Kampaniyen-Alt Maastrihyten'de yerleşmiş olan Koçali-Karadut Napı (Kka, Şekil 4) ilk defa Sungurlu (1973) tarafından tanımlanmıştır. Serpantin, volkanik ve sedimenter kaya türlerini kapsayan bu nap karmaşığı üzerinde gerçekleştirilen paleontolojik çalışmalar birimin yaşının Orta?-Geç Triyas-Kretase olduğuna işaret etmektedir (Şenel, 2002, 2007)

### Çüngüş-Hakkâri Napı

#### Urşe Formasyonu (Thu)

Kireçtaşı ara seviyeleri içeren kırıntılı kayalardan oluşan Hakkari Karmaşığı'nın en altında türbiditik



Şekil 4. ŞYFZ civarının jeoloji haritası (Şenel 2002 ve 2007'den düzenlenerek alınmıştır).

Figure 4. The geology map around the ŞYFZ (modified from Şenel 2002 and 2007)

kireçtaşı ara seviyeleri içeren kumtaşı ve şeyller ile temsil edilen Urşe Formasyonu yer alır (Şekil 4) (Şenel, 2002). Derin deniz ortamında oluşan (Perinçek, 1980) formasyonun Eosen-Oligosen? arasında oluştuğu ileri sürülmüştür (Yılmaz ve Duran, 1197).

### ***Durankaya Karmaşığı (Thd)***

Türbiditik ortamda gelişen kırıntılı kayalardan oluşan Durankaya Karmaşığı (Thd, Şekil 4) içerisinde yer yer septanit, metakırıntılı ve bazik volkanik kayalar yer alır (Perinçek, 1978; Şenel, 2002, 2007). Midyat grubu ve Urşe formasyonu ile olan sınırı tektonik dokanakla temsil edilir ve Yüksekova Karmaşığı tarafından tektonik olarak örtülür. Derin deniz ortamında çökelen birimin yaşı Alt-Orta Eosen olarak tanımlanmıştır (Perinçek, 1989; Perinçek, 1990)

### **Bitlis Pötürge Malatya Napları**

#### ***Guleman Ofiyoliti (JKg)***

Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde geniş yayılım sunan ve ultrabazik kayalardan oluşan Kretase yaşlı Guleman Ofiyoliti (JKg) (Perinçek, 1978; Sungurlu, 1974) çalışma alanı içerisinde serpantinitle temsil edilir (Şekil 4) (Şenel, 2007).

#### ***Yüksekova Karmaşığı (Ky)***

Genelde volkano-sedimenter kayalardan ve kireçtaşlarından oluşan Yüksekova Karmaşığı (Ky, Şekil 4) (Perinçek, 1978) bazaltik ve granitik bileşimde kayalarında içerir (Özkaya, 1977; Şenel, 2007). Birim için genelde kabul edilen yaş Üst Kretasedir. Planktonik formanifer ve çört yumruları içeren Kandilli Kireçtaşı (Kyk) bu karmaşık içerisinde yer alır (Şenel, 2002, 2007)

### ***Bitlis Metamorfileri (PzMzb)***

Bitlis Metamorfileri (PzMzb) Paleozoyik yaşlı ayrılmamış şist, fillat ve Permiyen yaşlı mermer, rekristalize kireçtaşlarından oluşur (Şekil 4) (Boray, 1974). Farklı çalışmalardan elde edilen verilere göre birimin yaşı Paleozoyik-Mesozyoik olarak verilmiştir (Şenel, 2007)

### **Para-Allokton Birimler**

#### ***Sekse Formasyonu (Ts)***

Miyosen napları üzerine açılmal uyumsuzluk ile gelen Sekse Formasyonu (Ts, Şekil 4) konglomera, kumtaşı, kiltası ve kireçtaşı seviyelerinden oluşur (Perinçek ve Kozlu, 1984). Sığ shelf ortamında çökelen birim transgresif özelliktedir ve paleontolojik verilere dayanarak Geç-Paleosen-Erken Eosen döneminde oluştuğu ileri sürülmüştür (Perinçek, 1990). Birim Kırkgeçit formasyonu tarafından açılmal uyumsuzluk ile örtülür (Şenel, 2002, 2007).

#### ***Kırkgeçit Formasyonu (Tk)***

Polijenik taban konglomerası ile başlayan birim üste doğru kumtaşı, marn ve şeyl türü kayaçlar ile karakterize olur (Şekil 4). Türbiditik karakterde olan bu kırıntılıların içerisinde yer yer olistostromal konglomera seviyeleri yer alır. Bu birim için genel olarak Geç Eosen-Oligosen olduğu kabul edilir (Şenel, 2002, 2007).

## **DRENAJ ALANLARI ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN MORFOMETRİK ANALİZLER**

Gerçekleştirilen morfometrik analizlerin veri kaynağını, Yüksekova Havzası civarının 1:25.000 ölçekli sayısal yükseklik paftalarından üretilen 10 m yersel çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturur. Çalışma alanı için belirlenen 129 adet drenaj alanının sınırları SYM'den geometrik olarak (Pelletier 2013) elde

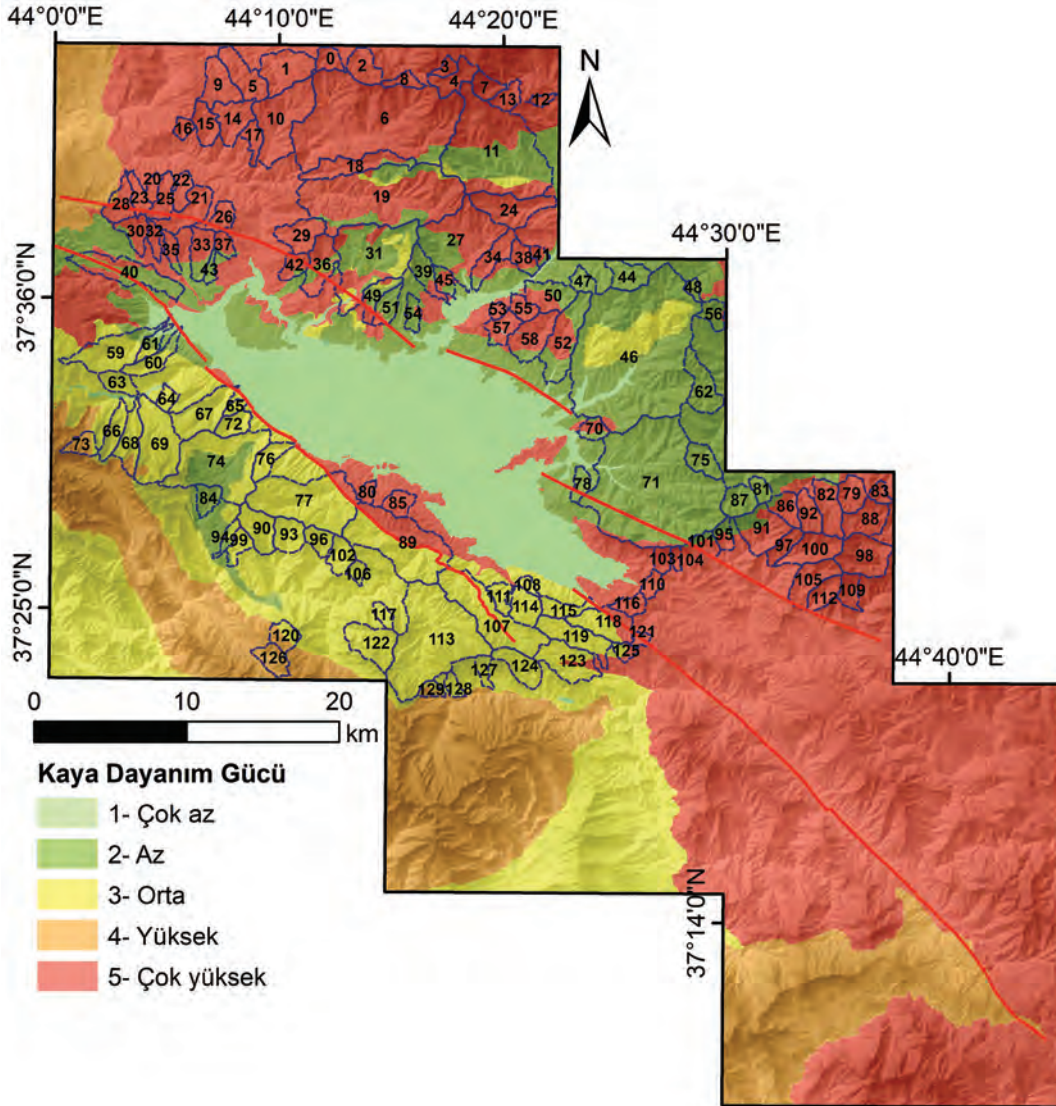


edilmiş dere kolları dağılımına göre çizilmiştir (Şekil 5). Drenaj alanları, havzanın ortalama yüksekliği olan 1910 metre kotunun üstünde ve 1 km<sup>2</sup>'den büyük olacak şekilde belirlenmiştir.

### Kaya Dayanım Gücü

Yükselim ile ilgili morfometri çalışmaları sırasında jeolojik birimlerin atmosferik veya flüvyal süreçler

ile aşınma oranının dikkate alınması elde edilen sonuçların yorumlanmasında oldukça gereklidir. Jeomorfoloji çalışmaları sırasında kayaçların bu süreçlere karşı olan dayanımı için önerilen Kaya Gücü Dayanım (KGD) sınıflamasına göre (Selby, 1980) bölgedeki jeolojik birimler beş sınıfa ayrılmıştır (Şekil 5)



Şekil 5. Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu civarındaki litolojik birimler dikkate alınarak Selby (1980)'a göre üretilen Kaya Dayanım Gücü haritası ve Yüksekova Havzası civarında belirlenen drenaj alanları.

Figure 5. Drainage areas and rock strength level of the lithological units around the ŞYFZ (according to Selby, 1980).

## Hipsometrik Analizler

Bir drenaj alanının Hipsometrik eğrisi, farklı boyutlardaki havzaların yükseklik/alan dağılımını tanımlar (Strahler, 1952). Hipsometrik eğrinin gösterilmesi sırasında alan ve yükseklik, toplam alan ve toplam yüksekliğin bir fonksiyonu olarak ifade edildiği için farklı boyutlardaki havzaların karşılaştırılabilmesine imkân vermektedir (Keller ve Pinter, 2002; Pérez-Peña vd., 2009; Walcott ve Summerfield, 2008). Hipsometrik eğriye harita ölçeğinin etkisi yoktur. Hipsometrik eğri oluşturulurken izlenen yol şu şekildedir: Bir havza içindeki herhangi bir yüksekliğin (h) üzerinde kalan alanın tüm drenaj havzasının alanına oranı (a/A) ve (h) değeri ile havzanın en yüksek kotunun oranının (h/H) karşılaştırılması ile elde edilir. Sonuç olarak toplam havza yükseklik oranının (göreceli yükseklik) toplam havza alanına (göreceli alan) karşı iz düşürülmesi ile hipsometrik eğri (HE) çizilir. HE şekline göre havzanın olgunluğuna dair bir yaklaşımda bulunulur. Konkav eğriler göreceli olarak daha yaşlı ve yüksek derecede erozyona uğramış havzaları, S-şekilli eğriler orta ölçüde erozyonu ve konveks hipsometrik eğriler ise göreceli olarak genç ve az erozyona uğramış havzaları temsil eder (Keller ve Pinter, 2002).

Hipsometrik eğrinin altında kalan alanı ise Hipsometrik integral (HI) ifade eder ve bu değer 0 ila 1 arasında değişir. 0 değerine yakınlık yüksek derecedeki erozyonu 1 değerine yakınlık ise zayıf orandaki erozyonu ifade eder. Havzadaki yükseklik değişimlerinin ortalama değere göre konumunu ifade eden HI, bir bölgedeki morfolojik gelişimin hangi aşamada olduğuna dair önemli bir yaklaşımdır (Strahler, 1952).  $HI > 0.5$  genç havzaları,  $HI < 0.3$  yaşlı havzaları,  $0.3 < HI < 0.5$  ise havzanın oluşumunu tamamladığını yani dengede olduğunu gösterir.

## Dağ Önü Sinüslüğü ( $S_{mf}$ )

Dağ önlerindeki cephe uzunluğunun ( $L_{mf}$ ), cephe uzunluğunu birleştiren düz bir hat uzunluğuna ( $L_s$ )

oranı ile hesaplanır ve tektonik olarak aktif dağ önleri ile aktif olmayan dağ önlerini ayırt etmek için kullanılır (Bull ve McFadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002).

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s$$

$S_{mf}$  değeri erozyon ve tektonik aktivitenin etkileşimi ile belirlenir (Rockwell vd., 1984). Bu değer düşük olması dağ önünde erozyonun düşük, tektonik yükselimin baskın olduğunun, yüksek olması ise erozyonun yüksek, tektonik yükselimi oranının az olduğunun göstergesidir.

## Vadi Tabanı Genişliğinin- Vadi Yüksekliğine Oranı ( $V_f$ )

Bir bölgede meydana gelen yükselimi hızının anlaşılmasında yaygın olarak kullanılan bu yöntemin aşağıdaki formülünde

$$V_f = \frac{2V_{fw}}{(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})}$$

$V_{fw}$  vadi tabanının genişliğini,  $E_{ld}$  ve  $E_{rd}$  vadinin sağ ve sol su bölüm çizgilerinin yüksekliğini,  $E_{sc}$  ise vadi tabanının yüksekliğini ifade etmektedir (Bull, 1978; Bull ve McFadden, 1977).

$V_f$  değeri, “V” ve “U” şekilli vadilerin ayırımında kullanılmak için önerilmiştir (Bull ve McFadden, 1977). Aktif yükselimi olduğu bölgelerde nehrin kazması çizgisel bir hat boyunca meydana gelir ve sonuçta “V” şekilli vadiler oluşur. Buzullaşmaya maruz kalmış veya tektonik olarak durağan alanlarda ise “U” şekilli vadiler gelişir.  $V_f$  dağ cephesine yakın yerlerdeki drenaj alanları üzerinde ölçülür. Düşük değerler (genelde 0’a yakın) “V” şekilli vadilere, yüksek değerler ise “U” şekilli vadilere işaret eder (Bull ve McFadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002). Dağ önüne yakın çok sayıda vadinin  $V_f$  değerlerinin hesaplanması bölgedeki kazma ve yükselimi hızının mekânsal dağılımı ile ilişkilendirilir.

## DRENAJ ALANLARINDAKİ DERELERİN BOYUNA PROFİLLERİ ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN MORFOMETRİK ANALİZLER

Nehirler tarafından yönetilen kazma/aşındırma süreci yer yüzeyinin erozyona uğramasındaki temel jeomorfolojik süreçlerden biridir. Yapılan ilk çalışmalar nehir kanallarının eğiminin ve drenaj alanlarının sistematik olarak değiştiğini ayrıca boyuna profilleri daha dik olan kanalların fazla erozyon (aşınma) yaptığını (Davis, 1899; Gilbert, 1877) ve yer kabuğundaki erozyon oranının tektonik yükselime bağlı olduğunu (Hack, 1960) ileri sürmüşlerdir. Bu gözlemlere dayanarak, alüvyon zemin üzerinde akmayan diğer bir ifade ile nehir çökellerince oluşturulmayan yatak kayası üzerinde akan nehirlerin, kanal eğimini kullanarak erozyon hızının hesaplanmasının ihtimal dâhilinde olduğu ileri sürülmüş ve yatak kayası üzerinde akan nehrin erozyonunun, nehrin gücü ile orantılı olduğu belirtilmiştir (Flint, 1974; Howard ve Kerby, 1983).

Bu amaçla ortaya atılan ilk görüş Güç Yasası olarak bilinir ve dere kanallarının eğiminde akış aşağı doğru sistematik azalma olduğunu ileri sürer (Flint, 1974)

$$S = k_s A^{-\theta} \quad (1)$$

Denklem 1 ile ifade edilen Güç Yasası'nda

S: Dere eğimi, A: Alan,  $\theta$ : Dere profilinin konkavlığı,  $k_s$ : Diklik indeksini temsil eder.

$\theta$  ve  $k_s$  değerleri, Güç Yasası'na bağlı olarak üretilen  $\log(S)$ - $\log(A)$  grafiğinde ortaya çıkan çizgiden elde edilir. Bu çizginin eğimi dere profiline ait  $\theta$  değerini ve çizginin  $\log(S)$  eksenine kesildiği nokta ise  $k_s$  değerini belirler. Güç yasası kullanılarak  $\log(S)$ - $\log(A)$  grafiğine benzer farklı yöntemler iklim, litoloji ve tektonik yükselim gibi, nehrin iç dinamiği dışındaki süreçlerin nehirde

yarattığı etkiyi anlamak için kullanılmıştır (Ambili ve Narayana, 2014; DiBiase, 2014; Howard ve Kerby, 1983; Kirby ve Whipple, 2001; Kirby ve Whipple, 2012; Kirby vd., 2003; Pan vd., 2015; Topal vd., 2016; Wobus vd., 2006)

Nehir profillerinin dış etkenlere (iklim, litoloji ve tektonik) verdiği cevabı araştıran diğer bir yöntem ise Akış Gücü Kazma Modeli ile ifade edilmiştir (Howard ve Kerby, 1983)

$$E = KA^m S^n \quad (2)$$

E: uzun dönemli flüvyal kazma oranı, K: erozivite katsayısı, A: memba alanı, S: kanal eğimi, m ve n: sabit katsayılardır.

Bu model de pek çok araştırmacı tarafından topoğrafik verilerden yükselim tarihçesinin belirlenmesi amacı ile kullanılmıştır (Goren vd., 2014; Pritchard vd., 2009).

Denklem 2, kanal eğimini bulmak için yeniden düzenlenip (Denklem 3)

$$S = \left(\frac{E}{K}\right)^{-1/n} A^{-m/n} \quad (3)$$

Denklem 1 ile eşleştirildiğinde tektonizma denetiminde oluşan yükselimin dere profillerindeki yansımaları olarak da bilinen (Whipple, 2004)  $\theta$  ve  $k_s$  değerleri elde edilir. Bu durumda,

$$\theta = \frac{m}{n}$$

ve  $k_s$  değerinin erozyon oranı ile ilişkili olduğu ortaya çıkar.

$$k_s = \left(\frac{E}{K}\right)^{-1/n}$$

Eğim ve drenaj alanı arasındaki ilişki kullanılarak hesaplanan  $\theta$  ve  $k_s$  değerleri ile erozyonun nasıl geliştiği araştırılıp, akaçlama alanı içerisindeki nehir kollarının maruz kaldığı tektonik aktivite anlaşılmasına çalışılmıştır

(DiBiase vd., 2010; Kirby ve Ouimet, 2011; Kirby ve Whipple, 2012; Kirby vd., 2003; Snyder vd., 2003; Wobus vd., 2006) ve bu verilerden yola çıkarak aktif fayların tanımlanabileceği gösterilmiştir (Kirby ve Whipple, 2012). Eğim ve drenaj alanı temelinde yürütülen  $\theta$  ve ks analizlerinde akarsuya ait eğim verisi, farklı çözünürlükteki sayısal yükseklik modellerinden (SYM) elde edilir. Topoğrafya üzerinde yer alan kırık/çatlak sistemleri ve nehir yatağında biriken büyük bloklar gibi unsurlar, SYM'den elde edilen verilere göre üretilen eğim-alan ilişkisinde gürültü kabul edilebilecek yapılarıdır. Bu gürültüler kanal profillerinin basamaklı olmasına yol açar.

Bu profillerden eğim verisi çıkartılarak yapılan eğim-alan analizleri eğim değerlerinin saçılmasına yol açtığı için bölgesel erozyon oranını yansıtmadığı ve dolayısı ile bu tür verilere yumuşatılma gibi bazı matematiksel düzeltmeler yapılması gerektiği ileri sürülmüştür (Wobus vd., 2006). Topoğrafyada gürültü olarak kabul edilen sorunların ortadan kaldırılması için Royden ve Perron, (2013) nehir profillerinin yatay koordinatlarının, integral transformasyonu yöntemi ile  $\chi$  olarak tanımlanan bir değişkene dönüştürülmesinin bu sorunu çözeceğini ileri sürmüştür. Integral yöntem olarak isimlendirilen bu işlem sırasında, topoğrafik verilerden sadece yükseklik ve drenaj alanı çıkartıldığı için ve matematiksel diferansiyasyona uygulanmaz ve verilerin sahip olduğu gürültüler çok daha azaltılır. Dolayısı ile kanal yükseliği-  $\chi$  grafiği her bir nehir kolundaki dikliği kanal eğimi kullanmadan ortaya çıkarır. Sonuç olarak integral yöntemin drenaj alanlarının erozyon oranları ve bu oranların mekânsal dağılımı hakkında daha hassas sayısal bilgiler sunduğunu ve dolayısı ile bu bölgelerdeki iklimsel ve tektonik süreçlerin mekânsal ve zamansal dağılımı ile ilgili daha sağlıklı yorumlar yapılabileceğini ortaya koymuşlardır. Mudd ve diğ. 2014, integral yöntemi baz alarak geliştirdikleri LSD TopoTools yazılımı ile ürettikleri  $\chi$ - $\chi$  uzayındaki değişim grafiğinde ortaya çıkan profillerin, dere kollarının farklı zamanlarda ve/

veya hızlarda maruz kaldıkları yükselime ait izler olduğunu belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar hem ürettikleri benzetim (simülasyon) topoğrafya üzerinden elde ettikleri akaçlama alanlarında hem de yükselim tarihçesi iyi bilinen bölgelerdeki akaçlama alanlarında iyi hesaplanmış m/n oranı ile üretilen  $\chi$ - $\chi$  uzayı grafiğinde, m/n değeri ne olursa olsun, drenaj alanının yükselim tarihçesini modellenbildiğini göstermişlerdir.

### Boyuna Profillerin Integral Analizi ( $\chi$ Analizi)

Yükselime ve erozyona maruz kalmış bir kanalın evrimi aşağıdaki denklem ile gösterilir (Howard ve Kerby, 1983; Whipple ve Tucker, 1999).

$$\frac{\partial z}{\partial t} = U(x, t) + K(x, t)A^m \left| \frac{\partial z}{\partial x} \right|^2 \quad (4)$$

Denklem 4'de

z:kanal yüksekliği, x: boyuna (longitudinal) koordinat, A:drenaj alanı, U:Yükselim oranı, K:Aşınabilirlik (erozivite) katsayısı (iklim ve litoloji gibi faktörleri içine alan katsayıdır), m ve n: ampirik olarak üretilen katsayılar olup n değerinin 0,66-2,33 arasında olduğu önerilmiştir.

K ve U'nun zamanda ve mekânda dengede olduğu durumlarda, kararlı durum nehirler gelişir.  $\partial z/\partial t = 0$  olduğu, yani kararlı durum nehirlerinde,

$\left| \frac{\partial z}{\partial x} \right|$  drenaj alanı logaritmik grafikte lineer bir

çizgi olarak ortaya çıkar ve bu çizginin eğimi kanalın konkavlığı (m/n) olarak bilinir (Whipple ve Tucker, 1999). Ayrıca bu çizginin dikey konumunun logaritma grafiğindeki yeri  $(U/K)^{1/n}$  olarak kabul edilir. Bu durumda kararlı durum nehirleri için

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \left( \frac{U}{K} \right)^{\frac{1}{n}} A(x)^{-m/n} \quad (5)$$

denklemini yazılır.



Denklem 5 eğim ve drenaj alanı arasında güç yasası ilişkisini öngörür. Bu ilişkiden meydana gelecek sapmalar; (a) kaya kütlelerinin aşınabilirliğinde görülen sapmalara, (b) farklı erozyon veya taşınma mekanizmalarına geçişe, (c) geçici nehir profili oluşumuna neden olur (Mudd vd., 2014).

Topoğrafyadaki gürültülerden oldukça fazla etkilenen bu yöntem yerine önerilen integral analiz basit olarak nehir boyuna profilinin yataydaki koordinatının değişimine dayanır. Bu yöntemde drenaj alanı ve yükseklik bilgilerini korumak için, 5 numaralı denklem ayrılıp yeniden birleştirilmiştir (Perron ve Royden, 2013).

$$\int d_z = \int \left( \frac{U}{KA^m} \right)^{1/n} dx \quad (6)$$

K ve U'nun zamanda ve mekanda sabit olduğu durumlarda 6 denklemi  $xb$  gibi bir taban seviyesinden akış yukarı bir noktada gözlenen  $z(x)$  e ulaşmak için entegre edilebilir.

$$z(x) = z(xb) + \left( \frac{U}{KA_0^m} \right)^{1/n} \chi \quad (7)$$

Denklem 7'deki  $\chi$ 'i elde etmek için 8 numaralı denklem oluşur.

$$\chi = \int_{xb}^x \left( \frac{A_0}{A(x)} \right)^{m/n} dx \quad (8)$$

$A_0$ : drenaj alanı

$\chi$ : Transform edilmiş koordinat (uzunluk ve yükseklik boyutu vardır). Denklem 7'e göre  $z(x)$ , K ve U'nun zamanda ve mekanda sabit olduğu durumlarda  $\chi$ 'nin lineer fonksiyonudur.

Integral analiz için en önemli adım en iyi m/n oranını modelleyebilmektir. Topoğrafik verilerden m/n değerini bulmak için pek çok yöntem önerilmiştir. Zira m/n oranını mümkün olduğu

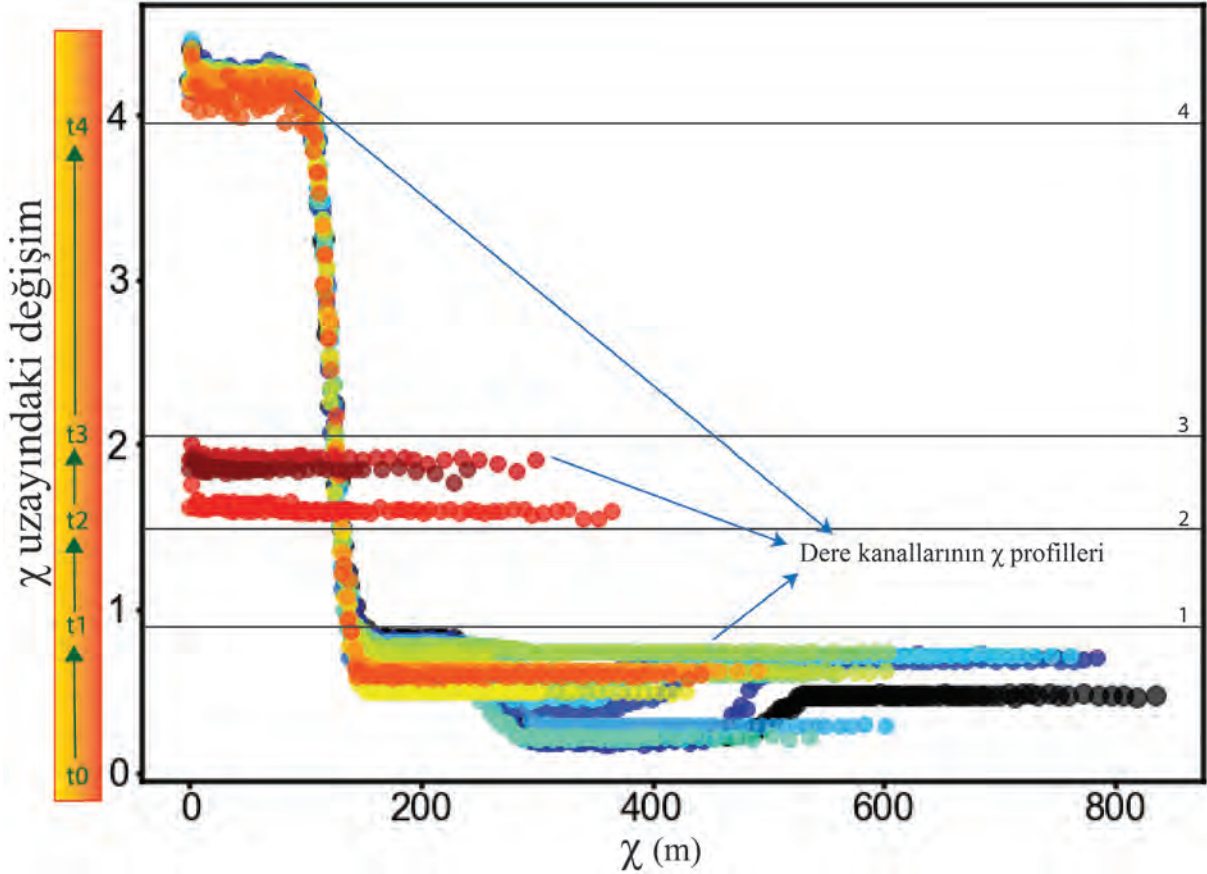
kadar iyi hesaplamak yükselim tarihçesinin topoğrafik verilerden elde edilmesi için geliştirilen yöntemler açısından oldukça önemlidir. Mudd ve diğ. 2018 başlangıç m/n değerleri bilinen, erozyon ve yükselim hızının mekânsal olarak homojen ve heterojen olduğu benzetim topoğrafyalar üretmiştir. Bu topoğrafyalar üzerinde m/n oranını bulmak için dört farklı yöntem kullanmışlardır.

- Drenaj alanları içerisinde kalan tüm dere noktalarının  $\chi$  profilleri üzerinde eş-doğrusallık analizi yöntemi ( $\chi$ \_Bütün Veri)
- Monte-Carlo yöntemine göre tekrar edilerek (iterasyon) bulunan  $\chi$  profilleri üzerinde eş-doğrusallık analizi yöntemi ( $\chi$ \_Monte Carlo)
- Drenaj alanı içerisinde kalan tüm dere noktalarının eğim-alan ilişkisi dikkate alınarak (Eğim-Alan Bütün Veri)
- Drenaj alanı içerisinde kalan dere segmentlerinin eğim-alan ilişkisi dikkate alınarak (Eğim-Alan Dere Segmenti)

Mudd vd (2018) yukarıda belirtilen yöntemler ile elde edilen en iyi m/n oranının farklı çıktığı durumda  $\chi$ \_Monte Carlo yönteminin başlangıç m/n değerlerine kıyasla doğruya en yakın değeri bulduğunu ileri sürmüşlerdir. Mudd vd., (2014), hem yükselim hızı ve süresi değiştirilerek üretilen benzetim topoğrafyalar üzerinde hem de jeolojik zaman içerisinde düşey deformasyon hız değişimi iyi bilenen gerçek topoğrafik alanlar üzerinde gerçekleştirdikleri integral analiz çalışmaları ile dere kollarının  $\chi$  değerlerinin,  $\chi$  uzayındaki değişimi ile kıyaslanarak topoğrafyanın maruz kaldığı yükselim tarihçesinin açıklanabileceğini belirtmişlerdir. Şekil 6' da gösterilen grafikte yer alan farklı renkteki profillerin  $\chi$  eksenini boyunca olan değerleri, drenaj alanı içerisindeki dere kollarının sahip olduğu değerlerin dağılımını gösterir.  $\chi$  eksenini boyunca dere kollarının yüksek değerlere ulaşması drenaj alanını etkileyen yükselimin uzun sürdüğünü gösterir. Bu durumda bütün dere kolları oluşan yükselime cevap verir. Profillerin  $\chi$  eksenini boyunca yüksek

değerlere ulaşmaması ya da kısa kalması söz konusu yükselimin süresinin az olduğuna işaret eder. Şekil 6'da " $\chi$  uzayındaki değişim" eksenini göreceli zamanı ifade eder. Eksen "0" değeri drenaj alanı için en eski zamanı temsil ederken 4

Bu çizgiler arasında görülen düşey profil geçişleri, profile ait dere kollarının t2-t3 zaman aralığında görülen yükselime cevap verdiğini gösterir. Benzer yorumlara göre bu drenaj alanı içerisinde yükselimi hızı üç defa değişmiştir. Bu değişimler



Şekil 6. Dere kollarının  $\chi$  değerlerinin,  $\chi$  uzayındaki değişimi grafiği.

*Figure 6.  $\chi$  vs.  $\chi$  space graph of tributaries.*

değeri günümüzü ya da günümüze en yakın zamanı (t4) temsil eder. Dolayısı ile bu grafik yükselimin zaman içinde nasıl değiştiğini ortaya çıkarır. Şekil 6'ya göre bu drenaj alanı içerisindeki en eski yükselimi 1 numara ile gösterilen siyah çizginin altında kalan profillerdir. Profillerin  $\chi$  eksenini boyunca yüksek değerlere ulaşması yükselimin uzun sürdüğünü ifade eder. 1 ve 2 numaralı siyah çizgiler arasında profil görülmemesi yükselimin bu zaman aralığında (t1-t2) durduğunu gösterir.

t0-t1 arasında, t2-t3 arasında ve t4 sonrasında oluşan yükselimler ile kendini belli eder. Yatay profillerin görülmediği t1-t2 arası ve t3-t4 arası dönemler yükselimin olmadığı zamanlardır.

Bu çalışma içerisinde belirlenen 129 drenaj alanı üzerinde önce LSDTopoTools yazılımı kullanılarak Mudd ve diğ (2018) anlatılan farklı yöntemler ile m/n değerleri hesaplanmıştır. Faya yakın drenaj alanlarında elde edilen m/n değerleri Denklem 8 içerisinde değerlendirilerek drenaj

alanlarının  $\chi$  değerleri ve  $\chi$ - $\chi$  uzayındaki değişim grafikleri üretilmiştir.

## MORFOMETRİK ANALİZLERDEN ELDE EDİLEN BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanındaki jeolojik birimler Selby (1980) ölçütlerine göre içerdikleri kayaç türelerinin dayanım gücü açısından sınıflanmıştır (Şekil 5). Bu sınıflamaya göre bölgedeki Kaya Dayanım Gücü (KDG) en düşük olan birim Alüvyon'dur ve KDG değeri en az (1) olarak alınmıştır. Guleman Ofiyolitinin çalışma alanındaki birimi olan sepantinit ve Kırkgeçit Formasyonu'na ait kayaçların KDG değeri az (2) olarak belirlenmiştir. KDG değeri olarak bunların üzerine gelen Urşe Formasyonu, Midyat Grubu ve Cudi Grubu ise orta (3) dayanım gücündedir. Durankaya Karmaşığı ve Koçali-Karadur Napları yüksek (4), Bitlis Metamorfileri ile Yüksekova Karmaşığı çok yüksek (5) dayanım gücüne sahiptir. Çalışma alanı için üretilen KDG haritası erozyona uğrama derecesinin mekânsal dağılımını ifade eder.

Yüksekova havzasının doğusunda ve batısında yer alan 22 drenaj alanı üzerinde gerçekleştirilen hipsometrik integral analizleri havzanın her iki tarafındaki topoğrafyanın genç olduğuna işaret eder (Şekil 7). S1b denetiminde olan drenaj alanlarının hipsometrik integral (HI) değerleri (Çizelge 1) ve hipsometrik eğrileri (HE) (Şekil 8) 60 ve 61 numaralı havzaların oluşumunu tamamladığını 59 numaralı havzanın ise genç olduğunu göstermektedir. S2 segmenti tarafından sınırlanan drenaj alanlarından 67 numara hariç hepsinin HI değerleri (Çizelge 1) ve HE şekilleri (Şekil 8) bu havzaların oluşumunu tamamladığını 67 numaralı drenaj alanının ise genç olduğunu ifade eder. S3 denetiminde olan drenaj alanları ise HI (Çizelge 1) ve HE değerlendirmesine göre (Şekil 8), 77 numara genç, 80 ve 85 numaralı drenaj

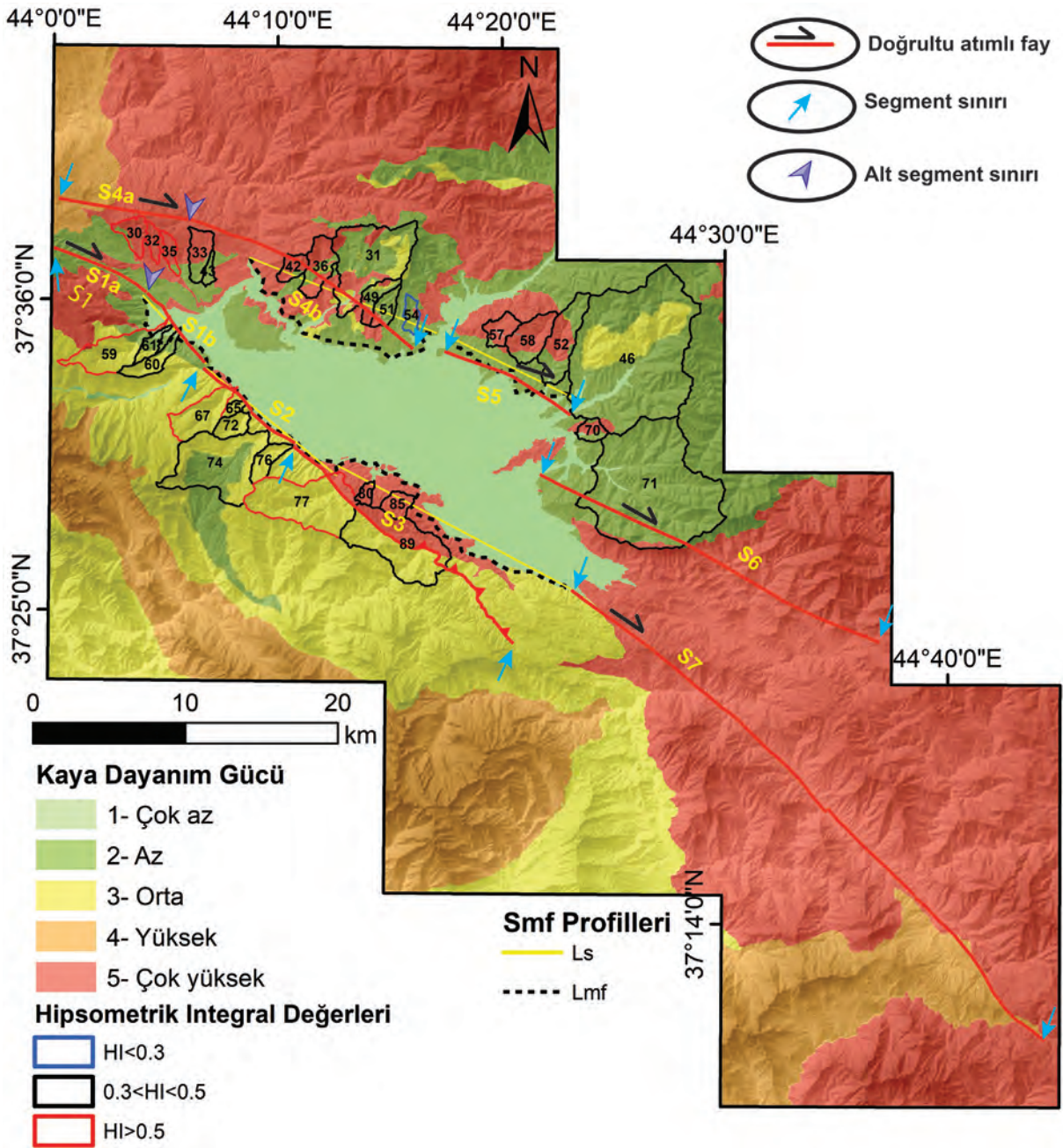
alanları oluşumunu tamamlamıştır. Havzanın doğusunda S4b ve S5 segmentlerine yakın konumlu drenaj alanlarının HI değerleri (Çizelge 1) ve HE şekilleri, S4b denetimindeki 54 numara hariç hepsinin oluşumunu tamamladığını belirtir (Çizelge 1 ve Şekil 8). Oluşumunu tamamlayan drenaj alanlarında tektonik yükselim ile erozyon hızı arasında denge olduğu kabul edilir.

Yüksekova havzasını doğudan ve batıdan sınırlayan ŞYFZ segmentleri boyunca hesaplanan  $S_{mf}$  değerleri 1.11-1.38 arasındadır (Şekil 7 ve Çizelge 1). Bu sonuçlar havzayı sınırlayan segmentlerin aktif olduğuna ve segmentler boyunca gelişen yükselimin topoğrafyada izinin korunduğuna işaret eder. Hesaplanan  $S_{mf}$  değerlerine göre;

- Havzayı batıdan sınırlayan S2 ve S3 segmentlerinin S1b'ye göre daha fazla yükselim oluşturmuştur
- Havzanın doğusunda yükselimin güneyden kuzeye doğru arttığını ve genel olarak havzanın batısında kıyasla daha az yükselime sahip olduğunu ifade eder.

Yüksekova havzasını sınırlayan faylara yakın drenaj alanları üzerinde  $V_f$  değerleri hesaplanırken, drenaj alanlarının dağ önü ile birleştiği noktadan akış yukarı doğru 100 m aralıklar ile beş tane topoğrafik profil çizilmiştir. Bu topoğrafik profillerden elde edilen  $V_f$  değerleri havzanın batısında 0.13-0.29, doğusunda ise 0.24-0.45 aralığında değişmektedir (Çizelge 1). Bu sonuçlar vadilerin V-şekilli olduğunu dolayısı ile yükselim hızının yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Havzanın batısında yer alan drenaj alanlarının  $V_f$  değerlerinin, doğusunda yer alan drenaj alanlarına göre az miktarda da olsa düşük olması havza batısındaki fayların daha fazla deformasyonu üzerinde topladığına işaret etmektedir.





Şekil 7. Yüksekova Havzası civarında HI,  $V_f$  ve  $S_{mf}$  analizleri yapılan drenaj alanları ve dağ önü sınırları.

Figure 7. HI,  $V_f$  and  $S_{mf}$  analyses of the drainage areas and mountain front around the Yüksekova Basin.



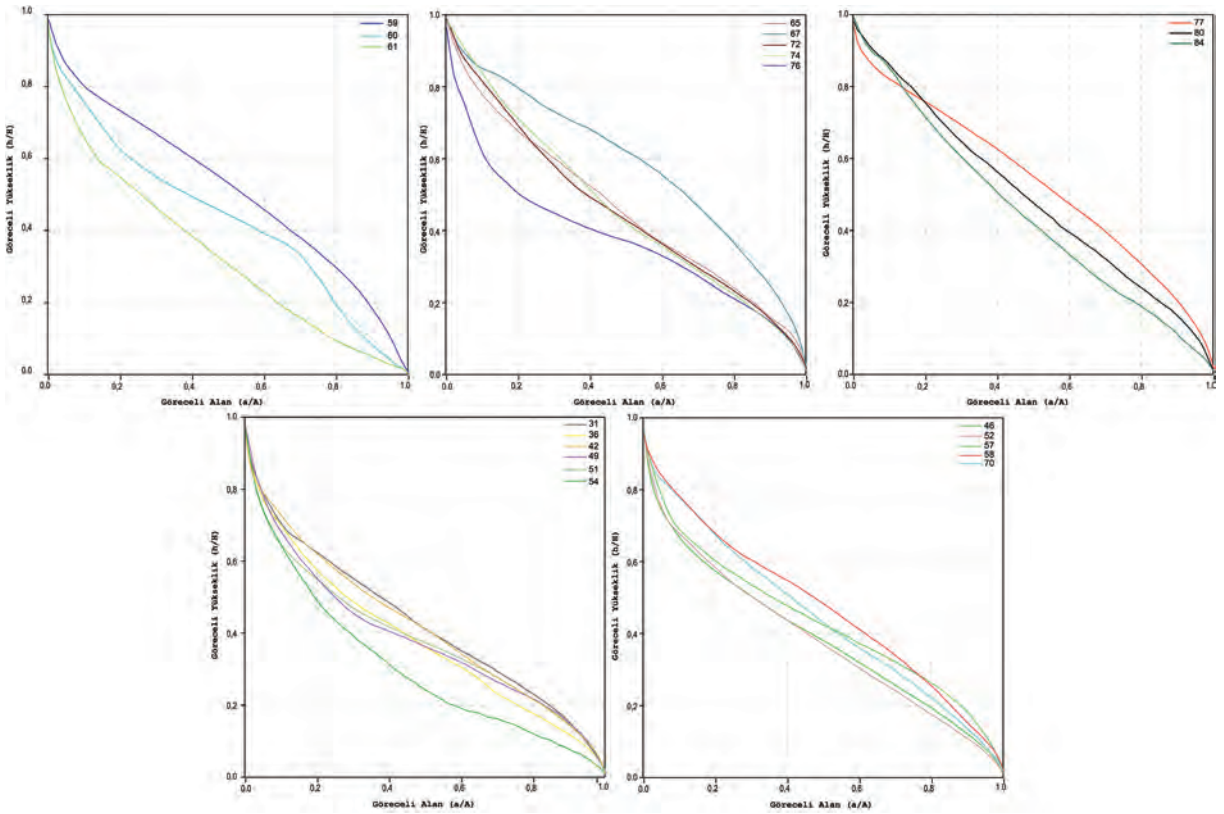
**Çizelge 1.** Yüksekova Havzası kenarlarında yer alan SYFZ segmentlerinin morfolometrik indis sonuçları.

**Table 1.** The results of morphometric indices of SYFZ segments at the margins of the Yüksekova Basin.

Segment	Havza	Alan (km <sup>2</sup> )	Jeolojik Birim	HI	Smf	VF	Vf(Ort)	σn-1
S1b	59	9.15	Thu	0.78		0.27		
	61	2.08	Thu-Tk	0.33	1.27	0.25	0.25	0.02
	60	3.71	Thu-Tk	0.43		0.24		
	67	7.77	Thu-PzMzb	0.58		0.21		
S2	65	1.05	Thu	0.46		0.25		
	72	2.94	Thu	0.46	1.11	0.2	0.20	0.04
	74	20.62	Teom-Thu-JKg	0.49		0.13		
	76	3.3	Thu	0.46		0.21		
S3	77	19.74	Thu-Ky	0.53		0.17		
	80	1.18	Ky-PzMzb	0.49	1.18	0.29	0.23	0.06
	85	2.64	Ky-PzMzb	0.44		0.22		
	42	2.51	Ky-Tk	0.42		0.45		
S4b	36	5.92	Ky-Tk-PzMzb	0.38		0.37		
	31	20.96	Tk-Ts-PzMzb	0.42	1.36	0.33	0.38	0.04
	49	3.26	Tk-Ts-PzMzb	0.39		0.36		
	51	3	Tk-PzMzb	0.39		0.36		
	54	2	Tk-PzMzb	0.3		0.39		
	57	3.3	Tk-PzMzb	0.43		0.36		
S5	58	6.6	Tk-PzMzb	0.47		0.31		
	52	9.6	Tk-PzMzb	0.38	1.25	0.39	0.32	0.06
	46	66.41	Tk-Ts	0.39		0.24		
	70	2.18	Tk-PzMzb	0.44		0.32		

ŞYFZ'nin Yüksekova Havzası içerisindeki göreceli tektonik aktivitesini anlamak için  $S_{mf}$  ve  $V_f$  birlikte değerlendirilmiştir. Zira  $V_f$  değerleri ile  $S_{mf}$  değerleri arasındaki orantının fayların aktivite derecesinin belirlenmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir (Rockwell vd., 1984; Silva vd., 2003). Her bir segment için ortalama  $V_f$  ve standart sapması ( $\sigma_{n-1}$ ) hesaplanarak (Çizelge 1), segmentlerin  $S_{mf}$  değerleri ile kıyaslandığında,  $V_{f_{ort}}$  (ortalama  $V_f$ ) ve  $S_{mf}$  arasında oldukça iyi korelasyon olduğu  $R^2=0.8087$  değerine göre

söylenbilir (Şekil 9). Yüksekova Havzası'nı sınırlayan faylar için yapılan sınıflama fayların yüksek aktiviteye sahip olduğuna ve yükselim hızının 0.5 mm/yıldan az olmadığına işaret eder (Şekil 9).  $V_{f_{ort}}$  -  $S_{mf}$  kıyaslaması havzayı batıdan sınırlayan S2 ve S3 segmentlerinin hem S1b'ye göre hem de havzayı doğudan sınırlayan S5 ve S4b'ye göre daha fazla yükselime sahip olduğunu gösterir (Şekil 9b). Bu segmentler arasında yükselim derecesi  $S2>S3>S5>S1b>S4b$  şeklindedir.



Şekil 8. Yüksekova Havzası batısında ve doğusunda drenaj alanlarının hipsometrik eğrileri.

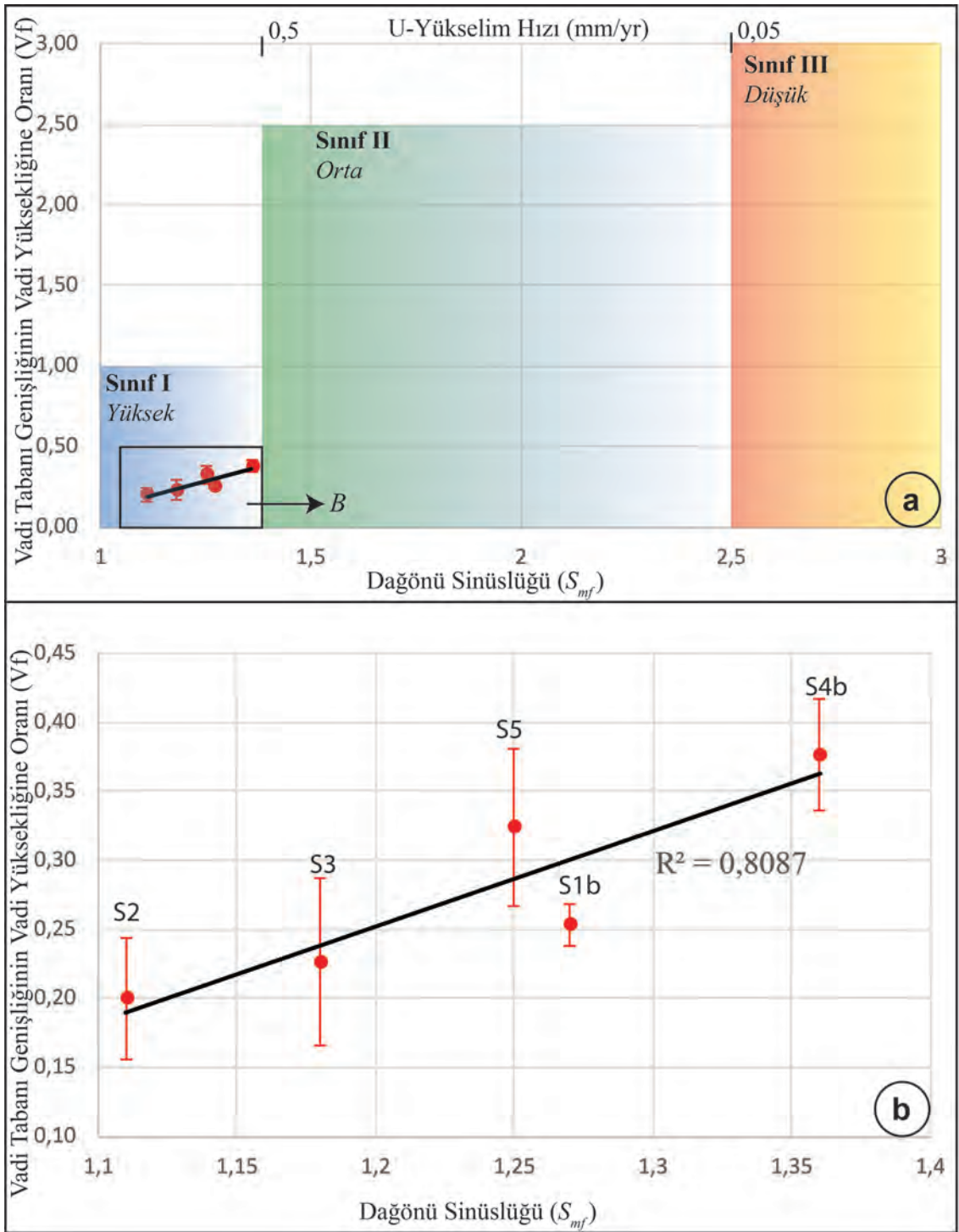
Figure 8. Hypsometric curves of drainage areas at east and West of the Yüksekova Basin.

Yüksekova Havzası civarında yükselimin mekânsal dağılımının daha iyi anlaşılabilmesi için belirlenen 129 drenaj alanına (Şekil 5) ait en iyi  $m/n$  değerleri aşağıdaki yöntemlere göre hesaplanmıştır (Şekil 10).

- $\chi$ \_Bütün Veri.
- $\chi$ \_Monte Carlo.
- Eğim-Alan Bütün Veri.
- Eğim-Alan Dere Segmenti.

Mudd ve diğ (2018) tarafından yapılan modelleme çalışmalarına göre, SYM'den elde edilen en güvensiz  $m/n$  değeri eğim-alan ilişkisine göre üretilen değerlerdir. Bir bölge üzerinde mekânsal olarak aşınılabirlik (erozivite) ve yükselimin farklılık göstermesi durumunda dahi  $\chi$ \_Monte Carlo analizinin en iyi  $m/n$  oranını hesaplayabildiği gösterilmiştir (Mudd vd., 2018).

Bu çalışmada  $m/n$  oranı dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler  $\chi$ \_Monte Carlo analizinden elde edilen sonuçlara göre yapılmıştır.



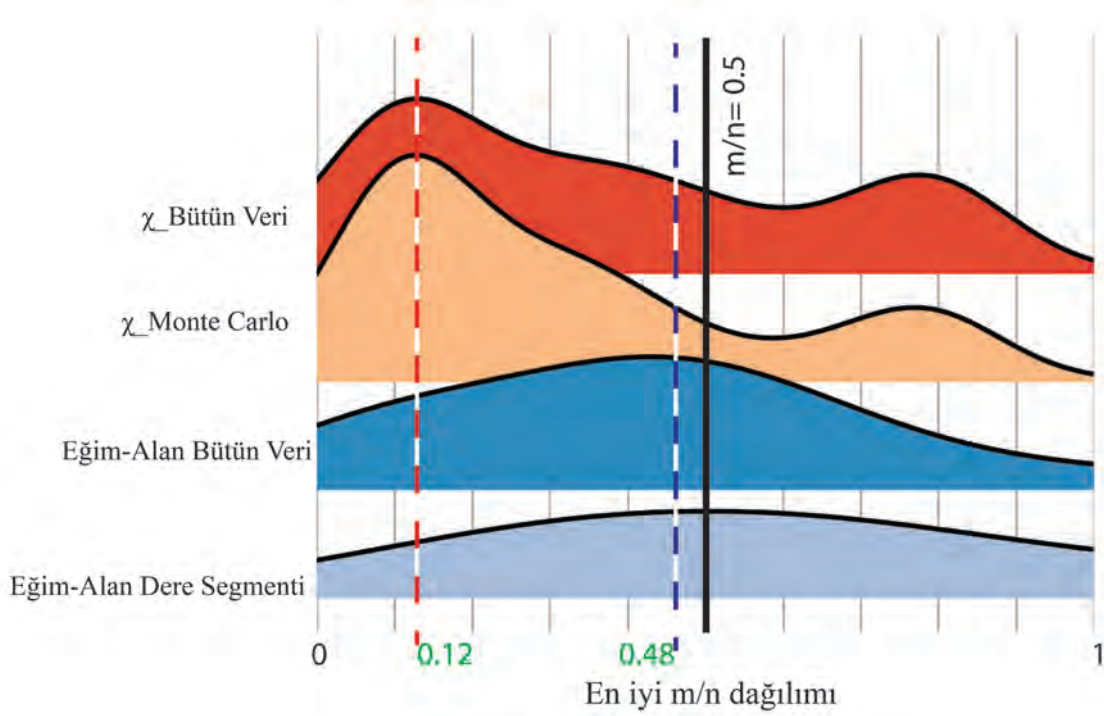
Şekil 9. Yüksekova Havzasını sınırlayan fayların göreceli tektonik aktivitesinin sınıflaması.

Figure 9. Classification of relative tectonic activity of the faults that delimited the Yüksekova Basin.



Şekil 10’da gösterilen kırmızı ve mavi kesikli çizgiler, 129 drenaj alanı için sırası ile  $\chi$ \_Monte Carlo ve Eğim-Alan Bütün Veri yöntemine göre hesaplanan ortalama m/n değerlerini gösterir. Yüksek m/n değerlerinin kanalın akış aşağı olan eğiminin daha hızlı azaldığını (yükselimin fazla olduğunu) ifade ettiği göz önünde bulundurulduğunda  $\chi$ \_Monte Carlo yöntemine göre elde edilen ortalama 0.12 değeri bölgede aşınmanın oldukça fazla olduğuna işaret eder.

aşınabilen (KDG=2) kayalardan oluşmasıdır. Kolay aşınabilen kayalar yükselim sonucu dere yataklarında oluşan dikliğin korunmasına müsaade etmez. S3 segmentinin (m/n=0.65) S2 segmentine (m/n=0.29) göre daha fazla yükselim oluşturduğu görülmektedir.  $Vf_{ort} - S_{mf}$  kıyaslaması ile tezatlık oluşturan bu durum S3 segmenti tarafından sınırlanan drenaj alanlarının bir bölümünün daha sert kayalar (KDG=5 ve 3) üzerinde kalması ile ilişkilendirilmiştir. Zira bu



**Şekil 10.** Yüksekova Havzası civarında belirlenen 129 drenaj alanının farklı yöntemler kullanılarak hazırlanan m/n değer dağılımları.

**Figure 10.** *m/n value distributions of 129 drainage areas that determined around the Yüksekova Basin using different methods.*

Yüksekova Havasını batısında yer alan segmentlerin sınırladığı drenaj alanları üzerinde belirlenen m/n değerlerine göre (Çizelge 2) S1b segmenti üzerinde yükselimin en az olduğu (m/n= 0.15) ortaya çıkmaktadır. Bu durum  $Vf_{ort} - S_{mf}$  ile uyumlu olsa da düşük m/n değerinin nedeni S1b tarafından sınırlanan drenaj alanlarının kolay

tür kayalarda erozyon göreceli daha zor olacağı için dere profillerinin yükselim sonucu dikleşmesi korunmuştur. S2 segmenti tarafından sınırlanan drenaj alanlarının neredeyse tamamının göreceli yumuşak kayalar (KDG=3) üzerinde kalmasından dolayı yükselim sonucu oluşan dikleşme, erozyon daha kolay olduğu için korunmamıştır. Yüksekova

Havzası'nın batısında yer alan drenaj alanlarının 0.375 değerindeki m/n ortalaması havzanın bu kesiminin aktif olarak yükseldiğini gösterir.

Yüksekova Havasını doğusunda dağ önlerine yaklaşan drenaj alanlarının bir kısmı ŞYFZ segmentleri tarafından kesilir bir kısmı ise segmentlerin güneyinde yer alır. Havzanın bu kesiminin genel yükselimi ile ilgili daha sağlıklı tartışmak için bütün drenaj alanlarından elde edilen m/n değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca segmentler tarafından sınırlanan veya kesilen drenaj alanları daha detaylı olarak tartışılmıştır. S5 segmentinin m/n=0.53 değeri, yükselimin S4b'ye göre (m/n=0.25) daha fazla olduğunu gösterir. Bu durum  $V_{f_{ort}} - S_{mf}$  kıyaslaması ile uyumludur. S5 denetiminde olan drenaj alanlarının neredeyse tamamı aşınmaya dayanımlı kayalar (KDG=5) üzerinde yer alması yükselim sonucu meydana gelmiş dikliğin korunmasına neden olmuştur. S4b denetiminde olan drenaj alanlarında zor aşınan kayaç gruplarının dışında (KDG=5) göreceli kolay aşınabilen kayalar (KDG=2 ve 3) olduğu için yükselim sonucu oluşan diklik göreceli az korunmuştur.  $V_{f_{ort}} - S_{mf}$  kıyaslamasında S1b segmentinin üzerinde S4b'ye göre daha fazla yükselim vardır. Ancak S4b denetimindeki drenaj alanlarının S1b'ye göre daha zor aşınabilen kayalardan oluşması m/n değerlerinin daha yüksek olmasına neden olmuştur. Yüksekova Havzası'nın doğusunda yer alan bütün drenaj alanlarının 0.309 değerindeki m/n ortalaması havzanın bu kesiminin aktif olarak yükseldiğini gösterir. Ancak m/n değerlerindeki farklılık havzanın batı kesimlerinin daha hızlı yükseldiğini ifade eder.

Havza batısında ve doğusunda  $\chi$ \_Monte Carlo yöntemine göre belirlenmiş farklı m/n ve KDG değerlerine sahip drenaj alanları içerisindeki dere kollarının boyuna profilleri üzerinde belirlenen m/n oranları dikkate alınarak yükselimin tarihesini belirleyebilmek için integral analiz yöntemi kullanılmıştır.

**Çizelge 2.** SYFZ segmentleri tarafından kontrol edilen drenaj alanlarının m/n değerleri.  $\chi$ \_Bütün Veri (m/n-a),  $\chi$ \_Monte Carlo (m/n-b) ve Eğim-Alan Bütün Veri (m/n-c)

**Table 2.** The m/n values of the drainage areas that controlled by the SYFZ segments.  $\chi$ \_all data (m/n-a),  $\chi$ \_Monte Carlo (m/n-b) ve Slope-Area all data (m/n-c)

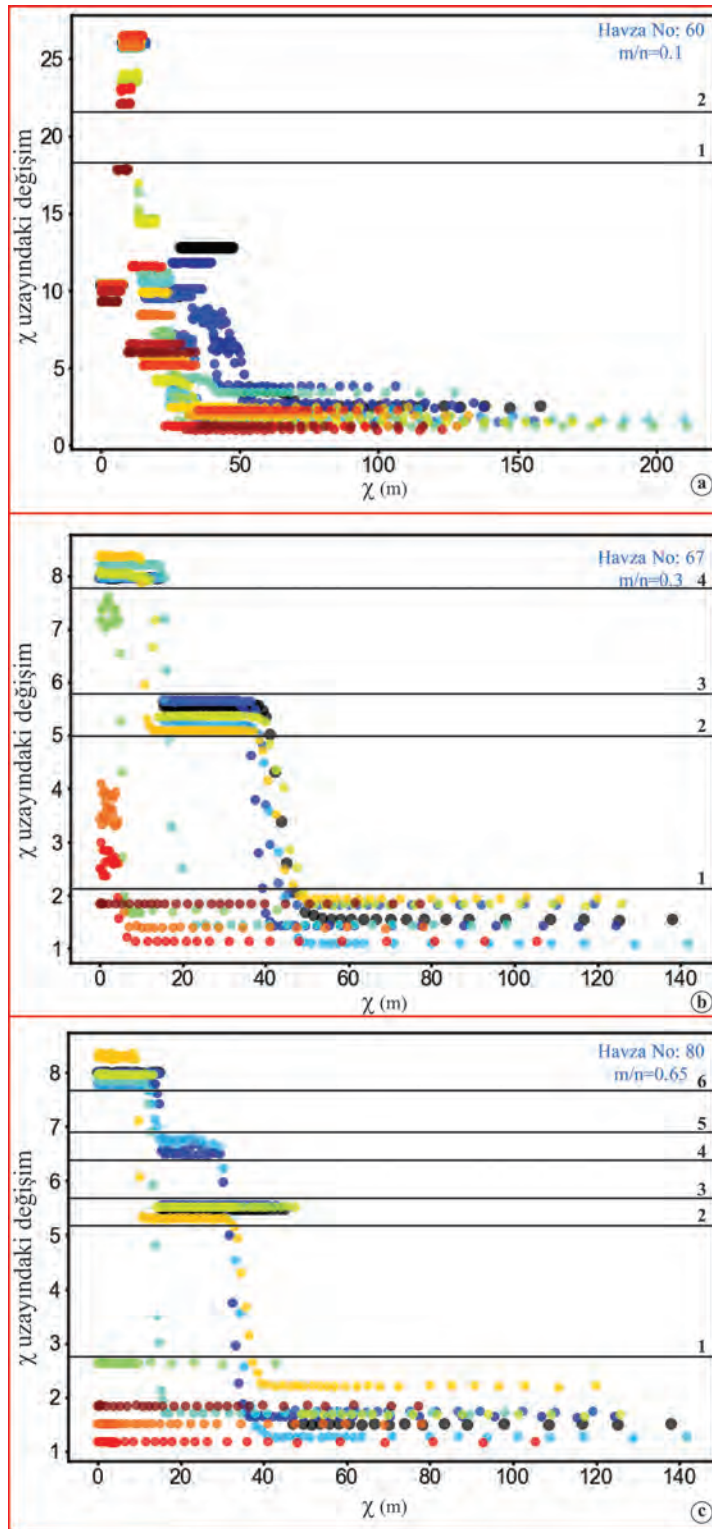
Fay Kolu	Havza	(m/n)	m/n	m/n
S1b	59	0.25	0.25	0.51
	61	0.1	0.1	0.88
	60	0.1	0.1	0.15
	<b>Ortalama</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.51</b>
	67	0.6	0.3	0.24
S2	65	0.1	0.1	0.44
	72	0.15	0.1	0.68
	74	0.2	0.15	0.26
	76	0.8	0.8	0.76
	<b>Ortalama</b>	<b>0.37</b>	<b>0.29</b>	<b>0.48</b>
S3	77	0.45	0.4	0.39
	80	0.75	0.75	0.44
	85	0.8	0.8	0.72
	89	0.7	0.65	0.47
	<b>Ortalama</b>	<b>0.417</b>	<b>0.375</b>	<b>0.495</b>
<b>Genel Ortalama</b>	<b>0.42</b>	<b>0.38</b>	<b>0.5</b>	
S4b	42	0.4	0.35	0.38
	36	0.35	0.35	0.48
	31	0.25	0.3	0.43
	49	0.1	0.1	0.41
	51	0.3	0.3	0.61
S5	54	0.1	0.1	0.92
	<b>Ortalama</b>	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>	<b>0.54</b>
	57	0.8	0.8	0.58
	58	0.35	0.35	0.53
	52	0.45	0.45	0.54
Havzanın kuzeydoğusu	46	0.3	0.25	0.43
	70	0.8	0.8	0.99
	<b>Ortalama</b>	<b>0.54</b>	<b>0.53</b>	<b>0.61</b>
	30	0.1	0.1	0.25
	32	0.3	0.35	0
<b>Genel Ortalama</b>	35	0.8	0.15	0.17
	33	0.1	0.1	0.66
	43	0.1	0.1	2.34
	<b>Ortalama</b>	<b>0.350</b>	<b>0.309</b>	<b>0.608</b>

S1b segmenti tarafından sınırlanan  $m/n=0.1$  olan 60 numaralı drenaj alanından gerçekleştirilen integral analiz çalışmalarına göre bu drenaj alanı içerisinde iki farklı yükselim mevcuttur. Şekil 11a'da 1 numaralı çizginin altında kalan profillerin  $\chi$  eksenindeki değerlerinin  $\chi$  uzayındaki değişim eksenini boyunca yüksek değerlerden düşük değerlere doğru değişimi bu drenaj alanını etkileyen ilk yükselimin hızının azaldığını göstermektedir. 1 ve 2 numaralı çizgiler arasında profil görülmemesi drenaj alanı içerisinde yükselimin durduğunu ve 2 numaralı çizginin üstünde kalan profiller ise drenaj alanının en son maruz kaldığı yükselimi ifade eder. Şekil 11'b de S2 segmenti tarafından sınırlanan  $m/n =0.3$  olan 67 numaralı drenaj alanının integral analizi 3 farklı yükselime işaret eder. 60 numaralı drenaj alanından farklı olarak daha yüksek KDG'ye sahip bu alanda 1 numaralı siyah çizginin altında kalan profil serisi drenaj alanı içerisindeki en eski yükselimin izleridir. Bu profil serisinin  $\chi$  eksenini boyunca yüksek değerlere ulaşması bu yükselimin drenaj alanı içerisindeki bütün dere kollarının söz konusu yükselime eşit cevap vermesini sağlayacak kadar uzun sürdüğünü gösterir. 1 ve 2 numaralı çizgiler arasında  $\chi$  eksenini boyunca profil görülmemesi yükselimin bu zaman aralığında durduğunu gösterir.

Söz konusu çizgiler arasında görülen düşey profiller, bu dere kollarının 2 ve 3 numaralı siyah çizgiler arasında görülen ve göreceli daha kısa süren ikinci yükselime de cevap verdiğini gösterir. 3 ve 4 numaralı çizgiler arasında  $\chi$  eksenini boyunca profil görülmemesi yükselimin bu zaman aralığında durduğunu ve 4 numaralı çizginin üstündeki profiller ise drenaj alanının maruz kaldığı son yükselimin belirteçleridir. Yüksekova Havzası'nın batıdan sınırlayan S3 segmentinin

doğusunda kalan ve  $m/n= 0.75$  değerine sahip 80 numaralı drenaj alanına ait integral analiz sonuçları bu akaçlama alanının dört farklı yükselime maruz kaldığını göstermektedir (Şekil 11c). Drenaj alanındaki en eski yükselim 1 numaralı siyah çizginin altında kalan profil serisi ile karakterize olur. Bu profil grubunun  $\chi$  eksenini boyunca yüksek değerlere ulaşması drenaj alanındaki bütün dere kollarının yükselime eşit cevap verdiği dolayısı ile yükselimin uzun sürdüğü anlamına gelir. 1 ve 2 numaralı çizgiler arasında  $\chi$  eksenini boyunca profil oluşmaması yükselimin durduğunu düşey profiller ise dere kollarının bazılarının 2 ve 3 numaralı çizgiler arasında görülen ve göreceli kısa süren yükselime cevap verdiğini ifade eder. 3 ve 4 numaralı çizgiler arasında ki zaman dilimine karşılık gelen sürede yükselim durmuş sonrasında 4 ve 5 numaralı çizgiler arasındaki zaman diliminde tekrar devam etmiştir. Drenaj alanını en son etkileyen yükselim ise 6 numaralı çizginin üstünde görülen profiller ile kendini belli eder.

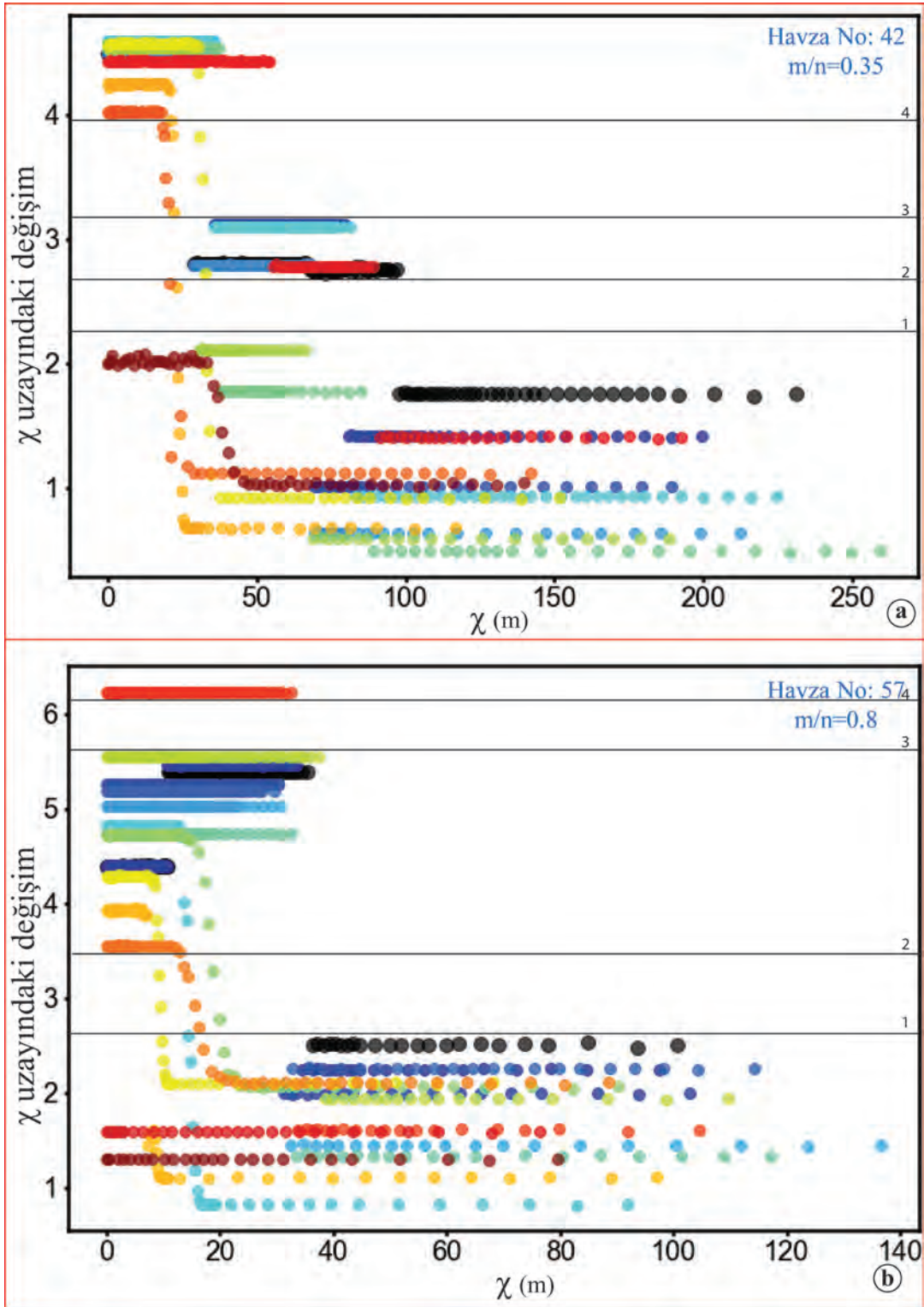
Yüksekova Havzası'nın batısında farklı  $m/n$  değerlerine sahip drenaj alanlarının integral analizleri havzanın batısında yükselim hızının değiştiğini ortaya çıkarmıştır. Drenaj alanlarında farklı şekilde ortaya çıkan yükselim hızı değişimi drenaj alanlarının sahip olduğu litolojik özelliklere göre değişim göstermektedir. Havzanın güneybatı kenarı boyunca güneydoğudan kuzeybatıya doğru kayaçların KDG değerinde görülen azalma havzanın bu kenarının maruz kaldığı yükselimlerin hepsinin homojen şekilde kayıt altında tutulmasını engellemiştir. Aşınmaya karşı en fazla dayanımlı olan kayaçlardan oluşan 80 numaralı drenaj alanı havza güneyinde yükselim hızının dört defa değiştiğini göstermiştir.



Şekil 11. Yüksekova Havzası'nın batı kenarındaki drenaj alanlarının integral analiz sonuçları.

Figure 11. Integral analysis results of drainage areas at western margin of the Yüksekova Basin.





Şekil 12. Yüksekova Havzası'nın doğu kenarındaki drenaj alanlarının integral analiz sonuçları.

Figure 12. Integral analysis results of drainage areas at eastern margin of the Yüksekova Basin.

Yüksekova Havzası doğusundaki en iyi yükselim hızı tarihçesini ortaya çıkarmak amacı ile S4b ve S5 segmentleri tarafından denetlenen ve göreceli yüksek KDG değerine sahip kayaçlardan oluşan drenaj alanları seçilmiştir (Şekil 12). S4b denetiminde kalan ve  $m/n=0.35$  değerine sahip 42 numaralı drenaj alanı üzerinde gerçekleştirilen integral analiz çalışmaları bu drenaj alanının üç farklı yükselime maruz kaldığını ortaya çıkarmıştır. Şekil 11a'da 1 numaralı siyah çizginin altında kalan profil serisi en eski yükselimi temsil etmektedir. Bu profil serisinin  $\chi$  eksenı boyunca yüksek değerlere ulaşması yükselimin uzun sürdüğünün göstergesidir. Drenaj alanı içerisinde 1 ve 2 numaralı çizgiler arasındaki zaman diliminde yükselimin durduğu ve sonrasında 2 ve 3 numaralı siyah çizgiler arasındaki profil serisi karakterize olan göreceli daha kısa süren bir yükselimin başladığı görülmektedir. Drenaj alanındaki en son yükselim ise 4 numaralı çizginin üzerindeki profil serisi ile karakterize olur. S5 denetiminde kalan  $m/n=0.8$  değerine sahip 57 numaralı havza üzerinde yapılan integral analiz sonuçları 42 numaralı havza ile aynı şekilde üç farklı yükselim tarihçesine işaret etmektedir (Şekil 12b). Drenaj alanındaki en eski yükselim Şekil'de görülen 1 numaralı siyah çizginin altında kalan profiller ile karakterize olur. Profillerin  $\chi$  eksenı boyunca yüksek değerlere ulaşması yükselimin uzun sürdüğünün belirteçidir. Drenaj alanını etkileyen sonraki yükselim 2 ve 3 numara ile gösterilen siyah çizgiler arasındaki profiller ile belli olur ve göreceli daha kısa sürmüştür. Drenaj alanını etkileyen son yükselim ise dört numaralı çizginin üzerinde kalan profil ile ortaya çıkar ve sadece tek bir dere kolunu etkilediği için yeni başlayan bir yükselim olduğunun göstergesidir.

Yüksekova Havzası'nın doğusunda kalan ve farklı  $m/n$  değerlerine sahip drenaj alanları havza doğusunda yükselim hızının değiştiğini ortaya çıkartmıştır. KDG değeri yüksek olan birimlerden oluşan drenaj alanları üzerinde yapılan çalışmalar havzanın bu kesiminde üç farklı yükselim

dönemine işaret eder. Bu yükselim özellikleri aynı zamanda bu çalışma kapsamında çizilmiş fay kollarının da aktif olduğunu göstermektedir.

## SONUÇLAR

ŞYFZ'nin geometrisi ve civarındaki jeolojik birimlerin özellikleri ile ilgili üretilen önceki veriler bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar ile birlikte değerlendirilmesi sonucunda ŞYFZ denetiminde oluşmuş Yüksekova Havzası civarındaki yükselim tarihçesi belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları aşağıda sunulmuştur.

1. DASB'nin en güneyinde bulunan, K50-60B uzanımında ve 90 km uzunluğunda doğrultu atımlı sağ yanal bir deformasyon yapısı olan ŞYFZ geometrik ve kinematik özelliklerine göre yedi segmente ayrılmıştır (Şekil 2).
2. ŞYFZ üzerindeki en önemli morfolotektonik yapı olan Yüksekova Havzası civarında belirlenen drenaj alanları üzerinde gerçekleştirilen hipsometrik integral hesaplamaları ve üretilen hipsometrik eğriler havzanın kuzey ve güneyindeki topoğrafyada yükseltici kuvvetler ile aşındırıcı süreçler arasında bir denge olduğunu göstermektedir.
3. Yüksekova havzasını batıdan ve doğudan sınırlayan ŞYFZ segmentleri boyunca hesaplanan  $S_{mf}$  değerleri (Çizelge 1) havzanın doğusunda yükselimin batıya nazaran daha az olduğunu ortaya çıkarmıştır.
4. Elde edilen  $V_f$  değerlerinin (Çizelge 1) havzanın batısında daha düşük olması buradaki fayların daha fazla deformasyonu üzerinde topladığını göstermektedir.
5. Havzayı sınırlayan fayların  $V_f$  değerlerinin ortalaması ilse  $S_{mf}$  değerlerinin kıyaslanması (Şekil 9), söz konusu fayların yüksek aktiviteye sahip olduğunu ve yükselim hızlarının 0.5 mm/yıldan az olmadığına işaret etmektedir.

6. Yüksekova Havzası civarında 129 drenaj alanı (Şekil 5) üzerinde gerçekleştirilen  $\chi$ -Monte Carlo temelli en iyi m/n oranı hesaplamaları neticesinde elde edilen m/n=0.12 (Şekil 10) değeri ŞYFZ'den uzak kesimlerde aşınmanın çok fazla olduğuna işaret eder. Bu durum ŞYFZ deformasyon alanından uzak olan yerlerde bölgesel yükselimin aşınmadan daha az olduğunu ortaya çıkarmıştır.
7. Yüksekova Havzası'nın doğusu ve batısını sınırlayan faylara yakın yerlerdeki drenaj alanlarının yüksek m/n değerleri, havzanın her iki tarafında aktif yükselimin devam ettiğini göstermektedir.
8. Aynı drenaj alanları içerisindeki dere kolları üzerinde gerçekleştirilen integral analiz çalışmaları havza batısında yükselim hızının dört defa doğusunda ise üç defa değiştiğini ortaya çıkarmıştır.

## EXTENDED SUMMARY

*The interaction of tectonic and climatic processes over time causes the formation of different morphological structures on the earth surface or the re-shaping of existing structures (Whipple, 2004; Whipple ve Tucker, 1999; Whittaker vd., 2008; Wobus vd., 2006). Since temporal effect of these processes recorded through the landscape, the morphometric characteristics of the earth surface can be used to isolate past tectonic or climatic signals if direct structural or geodetic data are not unavailable or insufficient (Burbank ve Anderson, 2001; Molnar, 2001; Roberts vd., 2004).*

*The geomorphic features of fault-generated mountain fronts, where active tectonics and erosion-triggered surface processes are interacting, are widely used to extract tectonic history of the region and relative activity of the faults. Considering the strength of the lithological units, it can be deduced which of the*

*processes (tectonic or climate) predominates in the development of the mountain front (Bull ve McFadden, 1977; Rockwell vd., 1984).*

*Furthermore, since the bedrock channel fluvial systems are more sensitive indicators, which reflect the relationship among relief, elevation, and erosion rate (Howard, 1994; Howard vd., 1994; Howard ve Kerby, 1983; Whipple, 2004; Whipple ve Tucker, 1999), they can be used to extract the recorded information about past tectonic and climatic signals (Whipple, 2004).*

*Integrated analyses of the mountain front and the bedrock river profiles provide good insight to understand uplift rates of the region (Anoop vd., 2012; Pan vd., 2015; Snyder vd., 2000; Wobus vd., 2006) and as well as identifying potential active faults and revealing relative tectonic activity between faults (Kirby ve Whipple, 2012; Sağlam Selçuk, 2016; Silva vd., 2003; Topal vd., 2016; Yıldırım, 2014)*

*The complex tectonic architecture of the Eastern Mediterranean region is mainly shaped by the kinematic interaction along the boundaries of the Eurasian, African, Arabian plates and smaller Anatolian "Scholle". Zagros subduction-collision and/or the Hellenic subduction and rollback are the primary mechanisms in the eastern Mediterranean region (Le Pichon and Kreemer 2010; Reilinger et al. 2006; Şengör et al. 1985). Although numerous hypothesis have been proposed to explain the reasons of westward motion of the Anatolian Scholle (Chorowicz vd., 1999; Faccenna vd., 2013; Le Pichon ve Kreemer, 2010; McKenzie, 1972; Özeren ve Holt, 2010; Reilinger vd., 2006; Şengör vd., 1985), numerous studies (Kozacı et al. 2009; Reilinger et al. 2006; Şengör 1980; Şengör et al. 1985; Şengör et al. 2005) agreed that the dextral North Anatolian Fault Zone (NAFZ) and the sinistral East Anatolian Fault Zone (EAFZ) accumulate the considerable amount of deformation during the westward motion of the Anatolia. This motion resulted in*

formation of four neotectonic provinces: (1) East Anatolian Contractive Province, (2) North Turkish Province, (3) Central Anatolian 'Ova' Province and (4) West Anatolian Extensional Province (Figure 1) (Şengör et al 1985).

The south of the East Anatolian Contractive Province (EACP) corresponds to the NW part of the GPS based elastic Iran Block (Figure 1). This province is characterized by:

- The NW-oriented dextral and NE-oriented sinistral strike-slip faults and the pull-apart basin form on these faults,
- E-W oriented fold and thrust belts and ramp basins,
- N-S oriented normal faults that cause to magma rising.

The 90 km long and N50-60W oriented right lateral Şemdinli Yüksekova Fault Zone (ŞYFZ) is located at southeast of the EACP (Figure 1 and 2). The most prominent morphotectonic structure of the ŞYFZ is the Yüksekova Basin that has a long axis striking in NW-SE direction with a length of 38 km and maximum width of 10 km (Figure 2).

This study provides geomorphic analyses of fault generated mountain-fronts and fault controlled drainage areas along the northern and southern margins of the Yüksekova Basin in order to reveal the uplift history.

The NW-SE striking ŞYFZ is separated into seven geometric segments (S1, S2, S3, S4, S5, S6 and S7) based on the surface geometry (Figure 2). The first 7-km section of the S1 (S1a) begins from the SW of the Yenişık and it extends to north of the Büyükçiftlik. S1a characterized by eastward arc-shaped geometry and up to 2-km dextrally offset rivers that are clear short-term slip indicators of the ŞYFZ (Figure 2 and 3). The N40W oriented S1b has a length of 6-km and delimit the NW margin of the Yüksekova Basin (Figure 2). The N50W oriented and 8-km long S2 extended between S1 and Bulaklı with and characterized by series of small-

scale restraining and releasing bends (Figure 2). The southeast part of the N45-50W oriented S3 by oblique thrust. The dextrally offset rivers along the 26-km long S4, which forms the northwest part of the ŞYFZ, present the short term fault activity. It is separated from S5 by a northward arc-shaped geometry (Figure 2). The 10-km long S5 extends in N50-60W direction between Yüksekova and Demirkonak, characterized by dextrally offset rivers and presents restraining bend geometry (Figure 2 and 3). The S6 segment extends in the N65W direction from the south of Demirkonak to the Çatalca village and the S7 segment started in the central part of the southernmost part of the basin and extended 44 km in the N45W direction to the southwest and it offset the boundary between the Yüksekova and Bitlis metamorphic rocks (Figs. 2 and 4).

In order to true discussion of results of the morphometric indices, I classified lithological unit (Figure 4) (for detail see Şenel, 2002 and 2007) according to rock strength (Selby, 1980) that take into account the resistance of rocks to weathering and fluvial erosion. The classification of the geologic units as below:

1-Very low strength (Alluvium), 2-Low strength (Serpantinities of Guleman Ophiolite and Kırkgeçit Formation), 3-Moderate strength (Cudi and Midyat Group and Urşe Formation), 4-High strength (Durankaya Complex and Koçali-Karadut Nappes, and 5-Very high strength (Bitlis Metamorphites and Yüksekova Complex) (Figure 5).

The shape of hypsometric curve (HC) represents the ratio between the relative area and relative altitude of a drainage basin, and indicate the maturity level of the basin (Strahler, 1952). The convex HC characterize immature and weakly eroded basins, S-shaped HC typically related to moderately eroded and the concave HC indicate the highly eroded basins. The young landforms (convex HC) present high hypsometric integral



( $HI > 0.5$ ), whereas *S*-shaped and concave *HC* have intermediate *HI* (0.3-05) and low *HI* ( $< 0.3$ ) values respectively. The calculated 22 hypsometric integral (*HI*) values (Table 1) and curves (*HC*) (Figure 8) in the vicinity of the Yüksekova Basin suggest the intermediate maturity for the topography. Although the *HI* and *HC* does not provide sensitive results in delineating details of uplift change along the margins of the Yüksekova Basin,  $HI > 0.35$  and “*S*” shaped *HC* are suggestive of recent topographic development.

I applied two widely used geomorphic analyses (mountain-front sinuosity and valley-width to valley-height ratio) to infer the tectonic activity of mountain front along each margin of the Yüksekova Basin. The Mountain-front sinuosity ( $S_{mf}$ ) has been used to distinguish tectonically active fronts ( $1.0 < S_{mf} < 1.5$ ) from inactive fronts. The results of the mountain front sinuosity ( $S_{mf}$ ) analyses (Table 1) indicates that the segments that constrain margins of the Yüksekova Basin are active.  $S_{mf}$  analyses reveal that uplift rate of the S2 and S3 are higher than the S1b moreover; the results point out that the uplift rate to the east of the basin increases from the south to the north and generally has less compared to the west of the basin. The ratio of valley-floor width to valley-height index ( $V_f$ ) allows comparison of erosional patterns between drainage areas. The  $V_f > 1$  characterize “*U*” shaped valley and the  $V_f < 1$  indicate the “*V*” shaped valleys where incision, hence uplift, rate is higher. The mean valley-width to valley-height ratios ( $V_p$ ), range from 0.13-0.29 to the west and 0.24-0.45 to the east (Table 1), indicate that the valleys are in “*V*” shape and therefore uplift rate is high. The correlation between the  $S_{mf}$  and  $V_f$  values has been used to classify the relative tectonic activity of the faults (Bull ve McFadden, 1977). The  $S_{mf}$  vs.  $V_f$  plots of the mountain fronts to the east and west of the Yüksekova Basin show well correlation, with an  $R^2 = 0.80$ , and indicate high (Class I) tectonic

activity which corresponds the 0.5 mm/yr uplift rate according to Rockwell vd. (1984) (Figure 9).

The interaction between the surface uplift rate and the river incision reflect itself within the in the bedrock river longitudinal profiles. Therefore the analyzing the systematic behavior of bedrock river stream profiles provide important prediction on spatial distribution of rock uplift and potentially active faults hence about the underlying tectonic history (Kirby ve Whipple, 2012; Royden ve Taylor Perron, 2013). Empirical studies of bedrock channel longitudinal profiles reveal: (a) power law scaling between local channel gradient ( $S$ ) and contributing drainage area ( $A$ ) (Equation -1), where  $k_s$  referred to as the channel steepness index and  $\theta$  describes concavity of the channel, (b) stream power incision model (Equation 2) proposed that in bedrock rivers, erosion should be proportional to the power the river expends on its bed, where  $E$  is the long-term fluvial incision rate and  $K$  is the erodibility coefficient,  $m$  and  $n$  are constant exponents. The Equation (2) can be rearrange to calculate channel slope (Equation 3). The comparison between Equation (1) and (3) reveal that  $k_s$  is related to erosion rate and  $\theta = m/n$  that fall in the range 0.35 to 0.6 in tectonically active region (Whipple ve Tucker, 1999). Therefore, to extract the uplift rate histories from the bedrock river longitudinal profiles mainly depend on the estimate the  $\theta$  or its equivalent  $m/n$  value and the  $k_s$ . Since the digital elevation model (DEM), which present the main data source to extract the longitudinal profile, therefore  $m/n$  and the  $k_s$ , inherently noisy, the extracted slope data may not reflect regional erosion rates (Wobus vd., 2006). Perron ve Royden (2013) propose an alternative solution interpret uplift rate history of the bedrock river that is called Integral Analyses. They used an integral transformation of the river profile's horizontal coordinate in to a variable  $\chi$  and propose that plots of channel elevations against the  $\chi$  can be used to reveal the steepness of river

without calculating channel slopes. The integral analyses of bedrock river profiles provide precise information about erosion rates and the spatio-temporal variations in tectonics and climate.

In order to understand spatial distribution of rock uplift around the Yüksekova Basin, I extracted best  $m/n$  ratio of 129 basins (Figure 5) with four commonly used methods ((a)  $\chi$ \_All Data, (b)  $\chi$ \_Monte Carlo, (c) Slope-Area All Data, (d) Segmented Slope-Area) by using LSD TopoTools (Mudd vd 2014 ve 2018). The average  $m/n=0.12$  values obtained according to the Monte Carlo method (Figure 10), which is more trustworthy according to the Mudd vd, (2018), indicate that there is considerable erosion in the region. However, average  $m/n=0.375$  and  $0.309$  to the west and east of the Yüksekova Basin respectively (Table 2), reveal that the ŞYFZ have driven the rock uplift around the basin rather than the large-scale lithospheric processes.

After the estimation of most likely  $m/n$  ration of all basins, I produced gradient in chi space vs. chi graph to evaluate the uplift rate histories of selected basins. I choose the basins -60, -67 and -80 at west (Figure 11) and 42 and 57 at east (Figure 12) of the basin, respectively, where calculated  $m/n$  ratio and rock strength is different. Regardless of the  $m/n$  ratio, profiles in chi-elevation space present different uplift rate variation on the selected the drainage areas.

In Figure 11 and 12, the different color profiles along the  $\chi$  axes present the different tributary of relevant drainage area. High values of the profiles on the  $\chi$  axes indicates that the uplift continued until the drainage area reach dynamically steady state, in other words, erosion rates match the uplift rate throughout the entire area. The region between the black lines where there are no profiles present the transition zones hence tectonically quiescent time interval. The integral analyses of drainage areas 60 (rock strength = partly moderate) and 67 (rock strength = moderate), present that the uplift rate

of the basins change 2 and 3 times respectively. The drainage 80 (rock strength = very high) reveal that the uplift rate has been changed four times at west of the basin whereas drainage 42 (rock strength = very high) and 57 (rock strength = very high) reveal that the uplift rate has been changed three times at east of the basin. I propose that difference in rock strength is the main reason behind the poorly constrained  $m/n$  ratio. Although I have poorly constrained  $m/n$  ratio in different drainages area, the river profile in chi-elevation space detect the sections of the channel network responding to at least four and three different uplift rates, regardless of the  $m/n$  ratio, at west and east of the Yüksekova Basin respectively.

The main results of this study are as follows.

- 1) The integrated analyses of DEM and previous studies show that the 90 km-long, N50-60W striking ŞYFZ consist of the seven geometric segments based on the surface geometry (Fig. 2).
- 2) Hypsometric integral analyses of the basins indicate intermediate maturity for the topography at the margins of the Yüksekova Basin.
- 3) The  $S_{mf}$  and  $V_f$  values indicate that uplift rate is higher to the west of the Yüksekova Basin and the ŞYFZ segment along the western margin accumulate more deformation.
- 4)  $S_{mf}$  vs.  $V_f$  plot indicate high tectonic activity which corresponds the 0.5 mm/yr uplift rate.
- 5) Spatial distribution of the  $m/n$  values reveal that ŞYFZ control the the rock uplift around the Yüksekova Basin.
- 6) Integral analyses results show that western and eastern margins of the basin have different uplift history.

## ORCID

Taylan Sançar  <https://orcid.org/0000-0002-2500-9787>

**DEĞİNİLEN BELGELER**

- Akkaya İ., 2015. The application of HVSR microtremor survey method in Yüksekova (Hakkari) region, Eastern Turkey. *Journal of African Earth Sciences* 109, 87-95.
- Altınlı, İ.E., 1952. Siirt Güneydoğusunun Jeolojik İncelemesi, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Ankara, p. 95.
- Ambili, V. ve Narayana, A.C., 2014. Tectonic effects on the longitudinal profiles of the Chaliyar River and its tributaries, southwest India. *Geomorphology* 217, 37-47.
- Anoop, A., Prasad, S., Basavaiah, N., Brauer, A., Shahzad, F. ve Deenadayalan, K., 2012. Tectonic versus climate influence on landscape evolution: A case study from the upper Spiti valley, NW Himalaya. *Geomorphology* 145-146, 32-44.
- Boray, A., 1974. Bitlis Masifinin Yapısı ve Metamorfizması. *Türkiye Jeol. Bül.* 18, 81-84.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey; a synthesis. *Geodinamica Acta* 14, 3-30.
- Bull, W.B., 1978. Geomorphic tectonic classes of the south front of the Gabriel Mountains, California. U.S. Geological Survey Contract Report 14-08-001-G-394, Menlo Park, CA, Office of Earthquakes, Volcanoes, and Engineering.
- Bull, W.B. ve McFadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California, in: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*, Proceeding 8th Annual Geomorphology Symposium, State University New York at Binghamton, 23-24 September 1977, pp. 115-137.
- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001. *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Scientific, Oxford.
- Chorowicz, J., Dhont, D. ve Gündoğdu, N., 1999. Neotectonics in the eastern North Anatolian fault region (Turkey) advocates crustal extension: mapping from SAR ERS imagery and Digital Elevation Model. *Journal of Structural Geology* 21, 511-532.
- Davis, W.M., 1899. The Geographical Cycle. *The Geographical Journal* 14, 481-504.
- DiBiase, R.A., 2014. Earth science: River incision revisited. *Nature* 505, 294-295.
- DiBiase, R.A., Whipple, K.X., Heimsath, A.M. ve Ouimet, W.B., 2010. Landscape form and millennial erosion rates in the San Gabriel Mountains, CA. *Earth and Planetary Science Letters* 289, 134-144.
- Duran, O., Semsir, D., Sezgin, L. ve Perinçek, D., 1988. Güneydoğu Anadolu'da Midyat ve Silvan gruplarının stratigrafisi, sedimentolojisi ve petrol potansiyeli. *TPJD Bülteni* 1/2, 99-126.
- Duran, O., Semsir, D., Sezgin, L. ve Perinçek, D., 1989. Güneydoğu Anadolu'da Midyat Silvan Gruplarının stratigrafisi, sedimentolojisi ve paleoğrafyası, paleontolojisi, jeoloji tarihi, rezervuar ve diyajenez özellikleri ve olası petrol potansiyeli. , TPAO Araştırma Merkezi, Rapor No.2563. Ankrara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y. ve Olgun, Ş., 2012. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Hakkari (NJ 38-10) Paftası, Seri No:56. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara -Türkiye.
- Faccenna, C., Becker, T.W., Jolivet, L. ve Keskin, M., 2013. Mantle convection in the Middle East: Reconciling Afar upwelling, Arabia indentation and Aegean trench rollback. *Earth and Planetary Science Letters* 375, 254-269.
- Flint, J.J., 1974. Stream gradient as a function of order, magnitude, and discharge. *Water Resources Research* 10, 969-973.
- Gilbert, G.K., 1877. *Geology of the Henry Mountains*. USGS Unnumbered Series, Government Printing Office, Washington, D.C.
- Goren, L., Fox, M. ve Willett Sean, D., 2014. Tectonics from fluvial topography using formal linear inversion: Theory and applications to the Inyo Mountains, California. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 119, 1651-1681.
- Hack, J.T., 1960. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions, Interpretation of erosional topography in humid temperate regions 258-A, 80-97.
- Howard, A.D., 1994. A Detachment-Limited Model of Drainage Basin Evolution. *Water Resour. Res.* 30, 2261-2285.
- Howard, A.D., Dietrich, W.E. ve Seidl, M.A., 1994. Modeling fluvial erosion on regional to continental scales. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 99, 13971-13986.

- Howard, A.D. ve Kerby, G., 1983. Channel changes in badlands. *Geological Society of America Bulletin* 94, 739-752.
- Keller, E.A. ve Pinter, N., 2002. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall, New Jersey.
- Kirby, E. ve Ouimet, W., 2011. Tectonic geomorphology along the eastern margin of Tibet: insights into the pattern and processes of active deformation adjacent to the Sichuan Basin. *Geological Society, London, Special Publications* 353, 165.
- Kirby, E. ve Whipple, K., 2001. Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis. *Geology* 29, 415-418.
- Kirby, E. ve Whipple, K.X., 2012. Expression of active tectonics in erosional landscapes. *Journal of Structural Geology* 44, 54-75.
- Kirby, E., Whipple, K.X., Tang, W. ve Chen, Z., 2003. Distribution of active rock uplift along the eastern margin of the Tibetan Plateau: Inferences from bedrock channel longitudinal profiles. *J. Geophys. Res.* 108, 2217.
- Koçyiğit, A., 2005. 2005.01.25, MW 5.9 Sütluçe (Hakkari) Depreminin Kaynağı: Başkale Fay Kuşağı, GD Türkiye, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye.
- Kozacı, Ö., Dolan, J.F. ve Finkel, R.C., 2009. A late Holocene slip rate for the central North Anatolian fault, at Tahtaköprü, Turkey, from cosmogenic <sup>10</sup>Be geochronology: Implications for fault loading and strain release rates. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 114, 1-12.
- Le Pichon, X. ve Kreemer, C., 2010. The Miocene-to-Present Kinematic Evolution of the Eastern Mediterranean and Middle East and Its Implications for Dynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 38, 323-351.
- Maxon, J.H., 1936. *Geology and Petroleum Possibilities of the Hermis Dome*, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Ankara, p. 25
- 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., Şanlı, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N. ve 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.
- McKenzie, D., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 30, 109-185.
- Molnar, P., 2001. Climate change, flooding in arid environments, and erosion rates. *Geology* 29, 1071-1074.
- Mudd, S.M., Clubb, F.J., Gailleton, B. ve Hurst, M.D., 2018. How concave are river channels? *Earth Surface Dynamics Discussions*.
- Özeren, M.S. ve Holt, W.E., 2010. The dynamics of the eastern Mediterranean and eastern Turkey. *Geophysical Journal International* 183, 1165-1184.
- Özkaya, İ., 1977. Hakkari-Yüksekova bölgesi jeolojisi. TPAO Arama Grubu, Rapor No:1129, 17s.
- Pan, B., Li, Q., Hu, X., Geng, H. ve Gao, H., 2015. Bedrock channels response to differential rock uplift in eastern Qilian Mountain along the northeastern margin of the Tibetan Plateau. *Journal of Asian Earth Sciences* 100, 1-19.
- Pérez-Peña, J.V., Azañón, J.M., Azor, A., Delgado, J. ve González-Lodeiro, F., 2009. Spatial analysis of stream power using GIS: SLk anomaly maps. *Earth Surface Processes and Landforms* 34, 16-25.
- Perinçek, D., 1978. V-VI-IX. Bölge (Güneydoğu Aandolu otokton-allokon birimler) jeoloji sembolleri. TPAO Arama Grubu, Arşiv No:6657.
- Perinçek, D., 1980. Bitlis Metamorfitlelerinde Volkanitli Triyas. *Türkiye Jeol. Bül.*, 23, 201-211.
- Perinçek, D., 1989. Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, yapısal özellikleri, petrol imkanları, TPAO Arama Grubu. Rapor No:2545 .127s.
- Perinçek, D., 1990. Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, GDA Türkiye. TPJD Bülteni 2, 21-68.
- Perinçek, D. ve Kozlu, H., 1984. Afşin-Elbistan-Doğanşehir dolayının stratigrafisi ve bölgedeki birliklerin yapısal ilişkileri. TPAO Arama Grubu, Rapor No:1909, 28s.
- Pritchard, D., Roberts, G.G., White, N.J. ve Richardson, C.N., 2009. Uplift histories from river profiles. *Geophysical Research Letters* 36.



- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Özener, 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., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. ve Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.* 111, B05411.
- Reilinger, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R.W., Toksöz, M.N., Barka, A.A., Kınık, I., Lenk, O. ve Şanlı, I., 1997. Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *J. Geophys. Res.* 102, 9983-9999.
- Roberts, G.P., Cowie, P., Papanikolaou, I. ve Michetti, A.M., 2004. Fault scaling relationships, deformation rates and seismic hazards: an example from the Lazio-Abruzzo Apennines, central Italy. *Journal of Structural Geology* 26, 377-398.
- Rockwell, T., Keller, E. ve Jhonson, D., 1984. Tectonic Geomorphology of Alluvial Fans and Mountain Fronts Near Ventura, California, in: Morisawa, M., Hack, T.J. (Eds.), *Tectonic Geomorphology*, Publ. in *Geomorphology*, State Union of New York, Binghamton, 183-207.
- Sağlam Selçuk, A., 2016. Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey. *Geomorphology* 270, 9-21.
- Selby, M.J., 1980. A rock strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. *Zeitschrift für Geomorphologie* 24.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C. ve Bardají, T., 2003. Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology* 50, 203-225.
- Snyder, N.P., Whipple, K.X., Tucker, G.E. ve Merritts, D.J., 2000. Landscape response to tectonic forcing: Digital elevation model analysis of stream profiles in the Mendocino triple junction region, northern California. *Geological Society of America Bulletin* 112, 1250-1263.
- Snyder, N.P., Whipple, K.X., Tucker, G.E. ve Merritts, D.J., 2003. Channel response to tectonic forcing: field analysis of stream morphology and hydrology in the Mendocino triple junction region, northern California. *Geomorphology* 53, 97-127.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117-1142.
- Sungurlu, O., 1973. VI. Bölge Gölbaşı – Gerger arasındaki sahanın jeolojisi. TPAO Rapor No: 802.,30 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Sungurlu, O., 1974. VI. Bölge kuzey sahalarının jeolojisi. TPAO Arama Grubu, Rapor No:871. 32s.
- Şenel, M., 2002. 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:43 Hakkari-N52 ve N53 Paftaları. Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şenel, M., 2007. 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:43 Hakkari-M52 ve M53 Paftaları,, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye Neotektoniğinin Esasları (Principles of the Neotectonism of Turkey). Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını, 40.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., 1985. Strike slip faulting and related basin formations in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in: Biddle, K.T., Christie-Blick, N. (Eds.), *Strike-Slip Faulting and Basin Formation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma, Special Publication No. 37, pp. 227 – 264.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. ve Rangin, C., 2005. The North Anatolian Fault: A New Look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 33, 37-112.
- Topal, S., Keller, E., Bufer, A. ve Koçyiğit, A., 2016. Tectonic geomorphology of a large normal fault: Akşehir fault, SW Turkey. *Geomorphology* 259, 55-69.
- Walcott, R.C. ve Summerfield, M.A., 2008. Scale dependence of hypsometric integrals: An analysis of southeast African basins. *Geomorphology* 96, 186.
- Whipple, K.X., 2004. Bedrock Rivers and The Geomorphology of Active Orogens. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 32, 151-185.

- Whipple, K.X. ve Tucker, G.E., 1999. Dynamics of the stream-power river incision model: Implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs. *J. Geophys. Res.* 104, 17661-17674.
- Whittaker, A.C., Attal, M., Cowie, P.A., Tucker, G.E. ve Roberts, G., 2008. Decoding temporal and spatial patterns of fault uplift using transient river long profiles. *Geomorphology* 100, 506-526.
- Wobus, C., Whipple, K.X., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K., Crosby, B. ve Sheehan, D., 2006. Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls. *Geological Society of America Special Papers* 398, 55-74.
- Yıldırım, C., 2014. Relative tectonic activity assessment of the Tuz Gölü Fault Zone; Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics* 630, 183-192.
- Yılmaz, E. ve Duran, O., 1997. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allohton Birimler Stratigrafi Adlama Sözlüğü "Lexicon". TPAO Eğitim Yayınları No:31, 460 s.





## TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ YAZIM KURALLARI

### **Yazıların Hazırlanması**

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ'nin yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Türkçe makalelerde "Extended Summary", İngilizce makalelerde ise "Genişletilmiş Özet" verilmelidir. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması durumunda, yazıların başlığı ve özeti ile çizelge ve şekillerin başlıkları Editörlükçe Türkçe'ye 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://tjb.jmo.org.tr> adresindeki JMO dergileri için hazırlanmış çevrimiçi sistem aracılığıyla Türkiye Jeoloji Bülteni'ne elektronik ortamda gönderilmelidir. Bunun için önce OMYS sistemine üye olmalısınız. Türkiye Jeoloji Bülteni yazarlardan sayfa ücreti talep etmemektedir. Dergiye sunulan makaleler, daha önce yayınlanmadığı ve başka yerde yayınlanmak üzere gönderilmediği varsayılarak değerlendirme için kabul edilir. Yazarlar, makalenin ana içeriğinin daha önce yayınlanmadığını ve başka bir dergide yayınlanmak üzere gönderilmediğini onaylamalıdır. <http://dergipark.gov.tr/tjb> veya [www.jmo.org.tr](http://www.jmo.org.tr) adresinde bulunan telif hakkı devir formu, tüm yazarlar adına ilgili yazar tarafından imzalanmalı ve makale dosyalarıyla birlikte gönderilmelidir. Bir makale sunulduktan sonra, başka yazar eklenmesi veya çıkarılması veya yazarların değiştirilmesi mümkün değildir. Makaleler, yazım kurallarına uymuyorsa ya da dergi kapsamı dışındaysa, dergi editörü tarafından hakem değerlendirmesi yapılmaksızın reddedilebilir. Bir makale yayın için kabul edildikten sonra, diğer bir deyişle, hakem tarafından önerilen düzeltmeler tamamlandıktan ve editör tarafından kabul edildikten sonra, yazara makalede değişiklik yapma izni verilmez. Makale yayınlanmadan önce, yazarlara düzeltmeler için prova baskı gönderilir. Başkasının fikir veya sözcüklerinin orijinal biçiminde kullanılması veya uygun bir atıf yapılmaksızın değiştirilmesi, intihal olarak kabul edilir ve tolere edilemez.

### **Yazılar aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır.**

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



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

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar farklı şekillerde ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Ana başlıklar büyük harflerle ve koyu yazılmalıdır. İkinci derece başlıklar alt başlık olarak değerlendirilmeli ve birinci ve ikinci derece alt başlıklar küçük harfle (birinci derece alt başlıklarda her kelimenin ilk harfi büyük) ve koyu, üçüncü derece alt başlıklar ise italik olmalıdır. Başlıkların önüne numara veya harf konulmamalıdır. Yazılar (öz, metin, katkı belirtme, kaynaklar, ekler ve şekiller dizini) A4 (29.7 cmX21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlardan en az 2.5 cm boşluk bırakılarak, 1.5 cm aralıkla ve 12 puntuyla (Times New Roman) yazılmalı, ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

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

#### **ÖZ**

#### **ABSTRACT**

#### **GİRİŞ**

#### **ANA BAŞLIK**

#### **Birinci Derece Alt Başlık**

#### **İkinci derece alt başlık**

#### **Üçüncü derece alt başlık**

#### **SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

#### **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. Hüsnu Hüsnuoğlu

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 konusunu yansıtan anahtar kelimeler Türkçe ve İngilizce olarak verilmelidir. Anahtar kelimeler, alfabetik sırayla küçük harfle (ilk anahtar kelimenin ilk harfi büyük) yazılmalı ve aralarına virgül konmalıdır. Teknik Not ve Tartışma türü yazılarda anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

## EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

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

## KATKI BELİRTME

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

## DEĞİNİLECEK BELGELER

Aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır.

### (a) *Sürelî yayımlar:*

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

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin başlığı. Sürelî yayının adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), sayfa no.

### (b) *Bildiriler:*

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

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editör(ler) varsa, Basımevi, Cilt/Sayı No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa) Düzenlendiği Yerin Adı, sayfa no.

### (c) *Kitaplar:*

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

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

Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın adı (ilk harfleri Büyük) yayınevi, Basıldığı Şehrin Adı, sayfa sayısı.

**(d) Raporlar ve Tezler:**

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

Sönmez, H., 1996. TKİ. ELİ Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütleli içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 99 s (yayımlanmamış).

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

**(e) Kişisel Görüşme:**

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

**(f) İnternette İndirilen Bilgiler:**

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

Kurumun adı, Tarih. Web adresi, web adresine girildiği tarih.

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.

**Eşitlikler ve Formüller:**

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

Burada; makaslama dayanımı, c kohezyon, normal gerilme ve içsel sürtünme açısıdır". Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin; Id, x2). Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (örneğin; c<sub>mass</sub>=s0.5). Çarpım işlemini göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda "\*" işareti tercih edilmelidir (örneğin; y=5\*10<sup>-3</sup>). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca<sup>++</sup> ve CO<sub>3</sub>—yerine Ca<sup>2+</sup> ve CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> tercih edilmelidir. Metinde eşitliklere "eşitlik (1)" şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekliyse, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

**Çizelgeler**

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte, Dergi'nin sayfalarındaki baskı alanını (15.8 x 22.5) aşmayacak şekilde hazırlanmalı ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısımlarında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır (Çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir.). Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı,

İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, “Çizelge 1” vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler, metinde kullanılan karakterlerden daha küçük (10 veya 11 punto) karakterle yazılmalı ve Dergi'nin tek (7.3 cm-Genişlik) veya çift (15.8 cm-Genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir. Çizelgelerde düşey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için Dergi'nin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalara bastırılarak metnin sonunda (Kaynaklar 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 [tjb.jmo.org.tr](http://tjb.jmo.org.tr) veya DergiPark Akademik ([dergipark.gov.tr/tjb](http://dergipark.gov.tr/tjb)) adresi üzerinden elektronik olarak sisteme yüklenmelidir.

## TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ EDITÖRÜ

Prof. Dr. Orhan TATAR

Tel: 0 346 219 10 10/1548

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



## **YAYIMA KABUL EDİLEN MAKALELERİN SUNUMU**

Yazarlar, makalelerinin yayıma kabulü halinde, makalenin düzeltilmiş son kopyasını orijinal çıktısıyla birlikte CD'ye de kopyalayarak (metin, çizelgeler ve tablolar) Editör'e göndermelidir. Levhalar iyi kalitede basılmış olarak gönderilmelidir. Metin, çizelgeler ve şekiller elektronik ortamda (internet aracılığıyla) gönderilmemelidir. Makaleler WORD ile hazırlanmalıdır. Diskin üzerinde yazarların adları, kullanılan yazım programının adı ve versiyonu, makalenin başlığı ve dosyanın adı belirtilmelidir. Levhalar hariç, tüm şekiller Corel Draw ile hazırlanmalıdır. Bununla birlikte, şekillerin 300 DPI'den az olmamak koşuluyla JPG dosyaları da gönderilmelidir.

## **PROVA BASKILAR**

Makalelerin prova baskıları, dizgi ve yazım hatalarının olup olmadığının kontrolü için Başvurulacak Yazar'a gönderilir. Prova baskılarda yapılacak düzeltmeler yazım hataları ile sınırlı olup, yazarların makaleyi kabul edilmiş son halinden farklı 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.

## **AYRI BASKILAR**

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

## **TELİF HAKLARI**

Yazar veya (Başvurulacak Yazar (birden fazla yazarlı makalelerde), kendisi ve diğer yazarlar adına "Telif Hakkı Devir Formu"nu makalenin baskıya verilmesinden önce imzalamalıdır. Bu sözleşme, Jeoloji Mühendisleri Odası'na yazarlar adına telif hakkı alınmış yayınlarını koruma olanağı sağlamakla birlikte, 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 for JMO journals at <http://tjb.jmo.org.tr>. There are no page charges. Papers are accepted for publication on the understanding that they have not been published and are not going to be considered for publication elsewhere. Authors should certify that neither the manuscript nor its main contents have already been published or submitted for publication in another journal. The copyright release form, which can be found at <http://dergipark.gov.tr/tjb>, or [www.jmo.org.tr](http://www.jmo.org.tr) must be signed by the corresponding author on behalf of all authors and must accompany all papers submitted. After a manuscript has been submitted, it is not possible for authors to be added or removed or for the order of authors to be changed. Manuscripts may be rejected without peer review by the editor-in-chief if they do not comply with the instructions for authors or if they are beyond the scope of the journal. After a manuscript has been accepted for publication, i.e. after referee-recommended revisions are complete, the author will not be permitted to make changes that constitute departures from the manuscript that was accepted by the editor. Before publication, the galley proofs are always sent to the authors for corrections. The use of someone else’s ideas or words in their original form or changed without a proper citation is considered plagiarism and will not be tolerated.

### **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](http://orcid.org) website.

The information related with authors should be given as follow:

Ahmet Ahmetoğlu	Ankara University, Engineering Faculty, Geological Engineering Department Tandoğan 06100 Ankara
A.Hüsnü Hüsnüoğlu	MTA Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüdler Dairesi, 06520 Ankara (e-posta: <a href="mailto:husnu56@mta.gov.tr">husnu56@mta.gov.tr</a> )

## **Abstract**

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

## **Keywords**

The abstract should include minimum 2, and not more than 7 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.

## **EXTENDED SUMMARY / GENİŞLETİLMİŞ ÖZET**

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.

### **Examples of layout of references**

#### **(a) Journals:**

Hoek, E. and David, M., 1990. Estimating Mohr-Coulomb friction and cohesion values from Hoek-Brown failure criterion. *International Journal of Rock Mechanics*, 27(3), 220-229.  
Author(s), Date. Title of paper. Full Name of Journal, Vol.(No), pages.

#### **(b) Proceedings and Abstracts:**

Ünal, E., Özkan, İ. ve Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. *ISRM Symposium: Eurock'92-Rock Characterization*, Chester, U.K., 14-17 September 1992, J.A.Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.  
Author(s), Date. Title of paper. Title of Symposium or Congress, Name of Editor(s), Name and Location of Publisher, Vol. (if any), pages



**(c) Books:**

Goodman, R.E., 1988. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, New York.  
Ketin, İ. ve Camitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:849.  
Author(s), Date. Name of Book. Name and Location of Publisher

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

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234. (yayınlanmamış). [Author(s), Date. Title of report. Name of Organization, Report No., Name of City (unpublished).]  
Sönmez, H., 1996. T.K.İ.-E.L.İ. Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 99 s (yayınlanmamış).  
Author, Date. Title of thesis. Type of Thesis (MSc or PhD), Name of University or Institution, City, Country (unpublished).

**(e) Personal Communications:**

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

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

ERD (Earthquake Research Department of Turkey), 2005. <http://www.gov.tr>, 3 April 2005.  
[Name of the Organization, Date. Web address, date of access to website.]  
Turkish references can also be given directly in Turkish. For such references please use Turkish characters.

**Mathematical Expressions**

Mathematical symbols and formulae should be typed. Equation numbers should appear in parentheses at the right-hand side of the equations and be numbered consecutively. For Greek or other non-Roman letters, identify the symbol in words in the left-hand margin just below the equation the first time it is used. In addition, the meaning of symbols used in equations should be given below the equations.

“Where is the shear strength,  $c$  is cohesion,  $\sigma$  is normal stress and,  $\phi$  is internal friction angle.” Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller character (e.g.  $I_d$ ,  $x_2$ ). 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  $CO_3^{2-}$  ( $Ca^{++}$  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 [tjb.jmo.org.tr](http://tjb.jmo.org.tr) or DergiPark Academics ([dergipark.gov.tr/tjb](http://dergipark.gov.tr/tjb))

### **EDITOR**

*Prof. Dr. Orhan TATAR*

*Phone : 0346-219 1010 / 1548*

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

## **SUBMITTING ARTICLES ADMITTED TO PUBLICATION**

In cases where authors' articles are admitted to publication, authors should copy on CD and send revised final copies of their articles including original printouts (texts, charts and tables) to Editor. Sheets should be printed of high quality. Texts, charts and illustrations should not be sent electronically (via internet). Articles should be issued in WORD. Authors' names, name and version of software program used, title of article and file name should be indicated on disk. All images, except for sheets, should be issued in Corel Draw. Besides, images should be sent in JPG format files provided to be not less than 300 DPI.

## **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.

## **REPRINTS**

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

## **COPYRIGHT**

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











# TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

*Geological Bulletin of Turkey*

Nisan 2018 Cilt 61 Sayı 2  
April 2018 Volume 61 Issue 2

**Gönenç Göçmengil, Zekiye Karacık , Ş. Can Genç**

**Volcano Stratigraphic Investigation of the Post-Collisional Middle Eocene Magmatism Around İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (NE, Turkey)**

*İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu (KD, Türkiye) Boyunca Gelişen Çarpışma Sonrası Orta Eosen Magmatizmasının Volkano-Stratigrafik Olarak Araştırılması ..... 131*

**Yunus Levent Ekinci**

**Application of Enhanced Local Wave Number Technique to the Total Field Magnetic Anomalies for Computing Model Parameters of Magnetized Geological Structures**

*Manyetize Olmuş Jeolojik Yapıların Model Parametrelerinin Belirlenebilmesi için Gelişmiş Lokal Dalga Sayısı Tekniğinin Toplam Alan Manyetik Anomalilere Uygulanması ..... 163*

**Ayten Çalık, Sevinç Kapan, R. Cüneyt Erenoğlu, Oya Erenoğlu, Cumali Yaşar, Emin Uğur Uluggerli**

**Biga Yarımadasında Jeodeğerler ve Jeoturizm Potansiyeli**

*Geoalue and Geoturism Potential of Biga Peninsula..... 175*

**Mehmet Furkan Şener**

**Akhüyük (Konya) Jeotermal Alanındaki Hidrotermal Akışkan Dolaşımı ve Traverten Oluşum Mekanizması, Orta Anadolu, Türkiye**

*Hydrothermal Fluid Circulation and Travertine Precipitation of Akhüyük (Konya) Geothermal Field, Central Anatolia, Turkey ..... 193*

**Taylan Sançar**

**Yüksekova Havzası'nın (Güneydoğu Türkiye) Yükselim Hızı Tarihçesi'nin Araştırılması**

*Investigation of Uplift Rate History of the Yüksekova Basin (Southeast Turkey) .....207*

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

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

### **Yazışma Adresi**

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

### **Corresponding Address**

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