

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2016 Cilt 59 Sayı 2

ISSN 1016-9164

April 2016 Volume 59 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 / <i>President</i>
Faruk İLGÜN	İkinci Başkan / <i>Vice President</i>
Murat ATEŞOĞULLARI	Yazman / <i>Secretary</i>
Halil İbrahim YİĞİT	Sayman / <i>Treasurer</i>
Ümit UZUNHASANOĞLU	Mesleki Uygulamalar Üyesi / <i>Member of Professional Activities</i>
Rengin KONUK	Sosyal İlişkiler Üyesi / <i>Member of Social Affairs</i>
Beril AÇIKGÖZ	Yayın Üyesi / <i>Member of Puplication</i>

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

Yazı İnceleme Kurulu / Editorial Board

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

Makale Gönderim Adresi

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

Corresponding Address

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

Yayın Türü	: Yaygın Süreli Yayın
Yayının Şekli	: 4 Aylık Türkçe - İngilizce
Yayın Sahibi	: TMMOB JMO Adına Hüseyin ALAN
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü	: Hüseyin ALAN
Yayının İdari Adresi	: Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara Tel: 0 312 432 30 85 Faks: 0 312 434 23 88
Baskı (Printed by)	: Afsaroğlu Matbaası Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı No: 87/7 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88
Baskı Tarihi	: Nisan 2016
Baskı Adedi	: 1000

TÜRKİYE JEOLojİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2016 Cilt 59 Sayı 2
April 2016 Volume 59 Issue 2

ISSN 1016-9164

İÇİNDEKİLER CONTENTS

Gürol SEYİTOĞLU, Bülent KAYPAK, Bahadır AKTUĞ, Esra GÜRBÜZ,
Korhan ESAT, Alper GÜRBÜZ

**A hypothesis for the alternative southern branch of the North Anatolian Fault Zone,
Northwest Turkey**

KB Türkiye’de Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun alternatif Güney Kol’u için bir hipotez..... 115

Fırat ŞENGÜN

**Kazdağ Masifi’nde (Biga Yarımadası) Yer Alan Meta-Ofiyolitik Kayaların TitaniQ Termometresi ve
Rutil İz Element Bileşimi**

*TitaniQ Thermometer and Trace Element Composition of Rutile in Meta-Ophiolitic Rocks From the
Kazdağ Massif, Biga Peninsula..... 131*

Uğur TEMİZ, Y. Ergun GÖKTEN

**10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) depremi ($M_w = 5.0$); ilgili yapılar ve tektonik ortam,
Orta Anadolu - Türkiye**

*10 January 2015 Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) earthquake ($M_w = 5.0$); implications about related
structures and tectonic environment, Central Anatolia - Turkey 155*

Doğan PERİNÇEK

Çetin Baraj Gövdesi ve Dolayının Jeolojisi ve Heyelan Araştırması

Geology and Landslide Investigations in and Around the Çetin Dam Site 167

Nazan YALÇIN ERİK

Şeyl Gazı; Jeolojik Özellikleri, Çevresel Etkileri ve Küresel Ekonomik Anlamı

Shale Gas; Geological Properties, Environmental Effects and Global Economic Meaning211

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

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

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

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

TÜRKİYE JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey



A hypothesis for the alternative southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Northwest Turkey

KB Türkiye’de Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun alternatif Güney Kol’u için bir hipotez

Gürol SEYİTOĞLU^{1*}, Bülent KAYPAK², Bahadır AKTUĞ², Esra GÜRBÜZ³, Korhan ESAT¹,
Alper GÜRBÜZ⁴

¹Ankara Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bl., Tektonik Araştırma Grubu, Tandoğan, Ankara
(e-mail: seyitoglu@ankara.edu.tr)

²Ankara Üniversitesi, Jeofizik Müh. Bl., Gölbaşı, Ankara

³Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bl., Aksaray

⁴Niğde Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bl., Niğde

* Corresponding author: Tel: 90 312 203 3370, Fax: 90 312 215 0487

ABSTRACT

This paper proposes an alternative route for the southern branch of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) using evidence from morphotectonic features, seismology, GPS and recently published Magnetotelluric and Transient Electromagnetic (MT) data. In this new route, the southern branch connects with the main branch of the NAFZ in Bolu via the Gölpaazarı pull-apart basin and Mudurnu. The slip distribution of the NAFZ as taken from GPS data indicates that the newly hypothesized route is the second most important branch of the NAFZ.

Keywords: Earthquake, GPS, Neotectonics, North Anatolian Fault Zone, Turkey

ÖZ

Bu makale morfolotektonik özellikleri, sismoloji, GPS ve MT verilerini kullanarak Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) güney kol'u için alternatif bir güzergah önermektedir. Bu yeni güzergahta güney kol, KAFZ'nun ana koluna Gölpaazarı çek-ayır havzası ve Mudurnu üzerinden geçerek Bolu'da bağlanmaktadır. GPS verilerinden hesaplanan KAFZ'nundaki kayma dağılımı, yeni önerilen güzergahın KAFZ'nun Marmara'daki ikinci önemli kolu olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, GPS, neotektonik, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Türkiye

INTRODUCTION

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) is composed of a series of right lateral strike-slip segments (Ketin, 1948) extending from eastern Anatolia to the northern Aegean Sea and it constitutes one of the main neotectonic elements in the eastern Mediterranean (McKenzie, 1972) (Figure 1a). The NAFZ has been active since the Late Miocene time and has an estimated offset of 25-85 km (Seymen, 1975; Şengör, 1979; Barka, 1992). This long term slip rate appears to agree with the current slip rate measured as 17-26 mm/yr by GPS data (Barka and Reilinger, 1997; Reilinger et al., 2006). The middle and easternmost parts of North Anatolian Fault Zone have been studied separately with GPS measurements, middle part (Yavaşoğlu et al., 2011), eastern part (Tatar et al., 2012) and Yedisu segment (Özener et al., 2010; Aktuğ et al., 2013a). Very recently, a complete GPS analysis of both the middle and easternmost parts of North Anatolian Fault Zone, including the continuous GPS stations, was given in (Aktuğ et al., 2015). The latter particularly deserves attention since it incorporates all the available GPS data used in earlier studies and presents a comparative analysis of GPS, inSAR and geological estimates in the literature.

The eastern sector of the NAFZ is limited to a narrow zone, but widens to the west (Şengör et al., 2005) where shear is distributed along three major branches (Figure 1b). The northern branch passes through Lake Sapanca, the İzmit Gulf, the Marmara Sea and the Saros Gulf. The middle

branch is separated from the Almacık flake and passes through Geyve - Pamukova, Lake İzmit, and the Gemlik Gulf before turning southwest in the Bandırma Gulf. The northeast end of the southern branch has previously been thought to diverge from the middle branch via Mekece before continuing southwest through Yenişehir, Bursa, south of Lake Ulubat, Mustafakemalpaşa and eventually turning southwest around Gönen (Figure 1b) (Şengör, 1979; Barka and Kadinsky-Cade, 1988; Koçyiğit, 1988; Barka and Kuşçu, 1996; Emre et al., 1997; Armijo et al., 1999; 2002; Yaltrak, 2002; Gürer et al., 2003; 2006; Şengör et al., 2005; Kurtuluş and Canbay, 2007; Yılmaz and Koral, 2007; Selim and Tüysüz, 2013; Le Pichon et al., 2014).

A recent active fault map of Turkey, however, considers that the southern branch is connected to the Eskişehir Fault Zone via active normal faulting between Bursa and İnegöl (Emre et al., 2011).

In contrast, the recognition of the Gölpazarı basin as a pull-apart system (see below), and recently published MT data (Figure 1c) (Kaya, 2010) suggest that the southern branch may extend east through the Gölpazarı pull-apart basin.

Here, we review the morphotectonic, seismic and MT data and propose a hypothesized new route for the southern branch (Figures 1 and 2a), ultimately representing a nearly 100 km shift of the southern branch of the NAFZ.

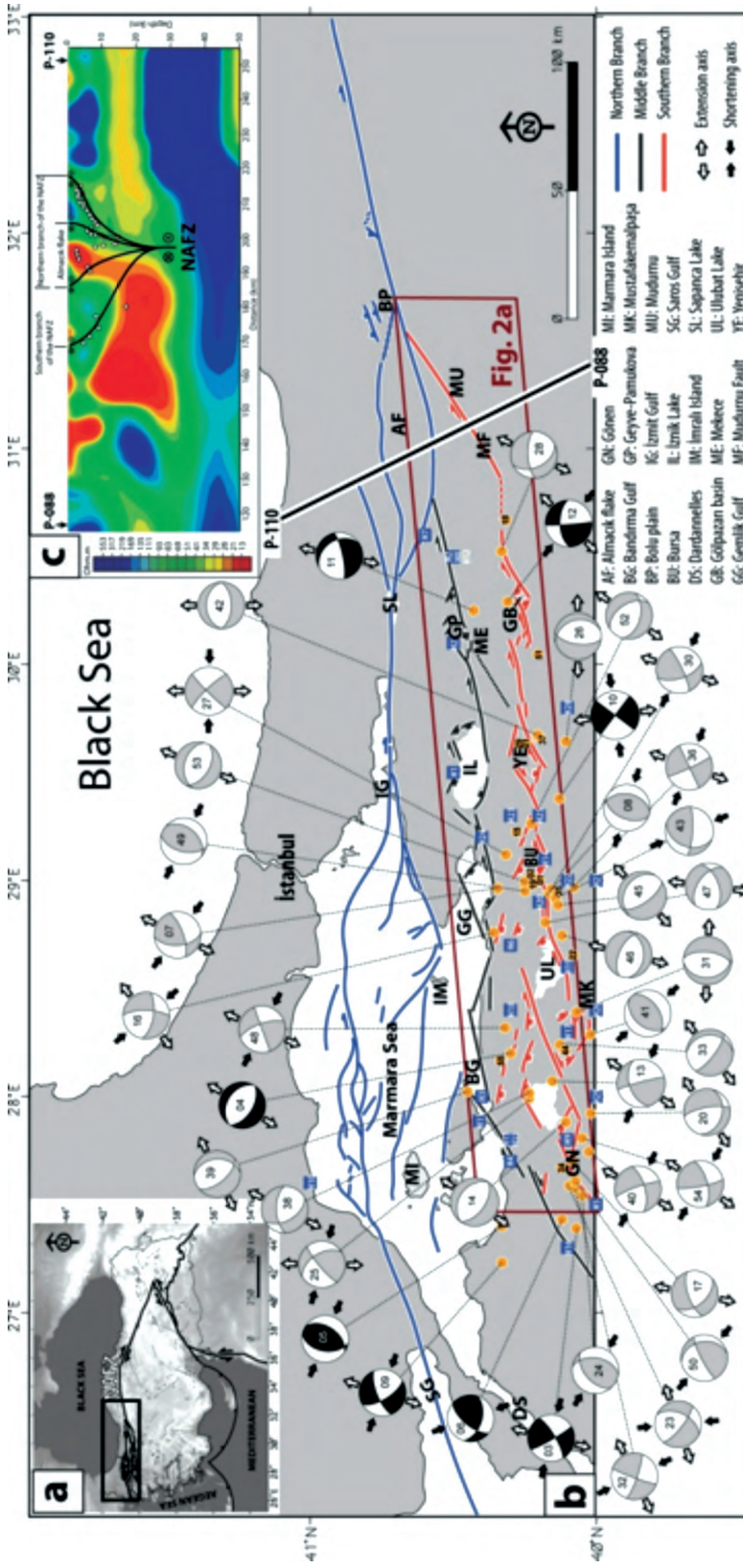


Figure 1. a) The position of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) in the neotectonic framework of Turkey. b) The NAFZ in northwest Turkey. Blue squares represent the historical seismicity (H). Yellow circles are epicenters of the instrumental period's earthquakes related to the southern branch. Focal mechanism solutions calculated in this paper are marked by grey, and previously published solutions are presented in black. See Table 1 for numbers. Black dotted line indicates the connection of the southern branch to the middle branch of the NAFZ in previous studies (see text). The line between P-088 and P-110 shows the location of MT (Magnetotelluric and Transient Electromagnetic) data from Kaya (2010). Fault lines after (Şengör, 1979; Barka and Kadinsky-Cade, 1988; Barka and Kuşçu, 1996; Emre et al., 1997; Armijo et al., 1999; 2002; Yalıtırak, 2002; Şengör et al., 2005; Kurtuluş and Canbay, 2007; Yılmaz and Koral, 2007; Selim and Tüysüz, 2013; Le Pichon et al., 2014). c) Re-evaluated MT section of Kaya (2010) indicating a well developed flower structure of the NAFZ.

Şekil 1. a) Türkiye'nin neotektonik çerçevesinde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (NAFZ) konumu. b) KB Türkiye'de KAFZ. Mavi kareler tarihsel depremleri göstermektedir (H). Sarı daireler Güney kol ile ilgili atesiz dönem depremlerin dış merkezlerini göstermektedir. Bu makalede oluşturulan odak mekanizması çözümleri gri ile daha önceki makalelerden alınmış siyah ile gösterilmiştir. Numaralar için Çizelge 1'e bakınız. Siyah noktalar hat, önceki çalışmalarda KAFZ'nun Orta kolunu Güney koluna bağlayan MT verilerinin konumunu göstermektedir. Fay hatları şu çalışmalardan alınmıştır (Şengör, 1979; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Barka ve Kuşçu, 1996; Emre vd., 1997; Armijo vd., 1999; 2002; Yalıtırak, 2002; Şengör vd., 2005; Kurtuluş ve Canbay, 2007; Yılmaz ve Koral, 2007; Selim ve Tüysüz, 2013; Le Pichon vd., 2014). c) Kaya (2010) a ait MT kesitinin yeniden değerlendirilmesi, KAFZ'nun iyi gelişmiş çiçek yapısını göstermektedir.

GÖLPAZARI PULL-APART BASIN

The Gölpazarı basin has previously been evaluated as a karstic depression (Ekmekçi and Nazik, 2004) and/or a graben (Çağlar and İşseven, 2004). However, recent publications (Önde and Gürbüz, 2010; Gürbüz and Seyitoğlu, 2014) describe Gölpazarı basin as a 12 km by 4.25 km ideal rhomboidal shaped pull-apart structure. The east northeast - west southwest trending right lateral strike-slip faults create a releasing offset that limits the northwest and southeast margins of the basin, whereas the northeast and southwest margins are bounded by normal faults (Figure 2b). The basin contains only Quaternary deposits ≥ 300 m thick, as reported by the State Hydraulic Works (Gürbüz and Seyitoğlu, 2014). The Gölpazarı pull-apart basin is the small-scale equivalent of the adjacent Yenişehir pull-apart system (Yılmaz and Koral, 2007; Gürbüz, 2010), suggesting it is located on the newly hypothesized route of the southern branch of the NAFZ as described in this paper.

THE ALTERNATIVE ROUTE OF THE SOUTHERN BRANCH

The overall structure of southern Marmara is composed of northeast trending right lateral strike-slip segments and northwest trending normal faults. They are components of large pull-apart structures in which Lakes Manyas and Ulubat, and the plains of Bursa, Yenişehir, and Gölpazarı are located (Figures 1 and 2a). The pull-apart structures decrease in size towards the east, probably due to the diminishing effect of extensional tectonics in western Turkey. Interestingly, this mimics the overall structure of NAFZ recognized by Şengör et al. (2005).

The Manyas-Karacabey Fault limits the eastern border of the Manyas pull-apart, showing

an 8.70 km right lateral displacement of the Koca stream north of Manyas (Figure 2c). Further to the NE, the Çapaz creek is diverted 5.70 km right-laterally, immediately to the south of Karacabey (Figure 2d). The Manyas-Karacabey Fault has not been recognized in previous studies (e.g. Selim and Tüysüz, 2013). The eastern border of the Ulubat pull-apart basin is limited by the Ulubat Fault (Emre et al., 1997), which corresponds a 2.6 km right lateral diversion of the Nilüfer stream at southwest of Bursa (Figure 2e). After the northwest - southeast trending Bursa normal fault (Emre et al., 1997), the southern branch continues northeast with the Yıldırım Fault having 1.22 km right lateral displacement on Kaplıkaya creek between Bursa and Kestel (Figure 2f). The southern branch then continues northeast through the western strike-slip boundary of the Yenişehir pull-apart basin (Yılmaz and Koral, 2007; Gürbüz, 2010) (Figure 2a). The strike-slip faults on the eastern border of this basin have a northeasterly trend. This direction is somewhat compatible with the suggestion of Barka and Kadinsky-Cade (1988) that the southern branch joins the middle branch via Mekece (Figures 1 and 2a, black dotted lines). However, our findings indicate that the strike-slip faults on the eastern border of the Yenişehir pull-apart basin bend from northeast to east northeast and are composed of several en-echelon segments that have right lateral diversions of the Göksu (3.25 km) and Çoklum creeks (0.48 km) (Figure 2g). Another example is the 2.93 km offset of the Sakarya River on Bayırköy Fault (Figure 2h). We are not certain, however, whether the deflections on the rivers/streams have been created by the fault segments or whether the rivers/streams follow the route of existing faults. The southern branch then moves southeast again, creating the western border of the Gölpazarı pull-apart basin (Figure

2a) which is an important structure indicating the location of the main strike-slip branch (see earlier). The southern branch builds a releasing bend towards the east, passes through Mudurnu, and connects to the main branch of the NAFZ just south of the Bolu plain (Figures 1b and 2a). Evidence for the existence of the Mudurnu Fault is clearly seen in the MT section of Kaya (2010, p. 238) and we suggest it connects to the main branch of the NAFZ in a flower structure (Figure 1c).

SEISMICITY

Historical records indicate this new route for the southern branch has an active seismic history except at its most eastern end (Figure 1b). According to data provided by Tan et al. (2008), several remarkable historical earthquakes occurred along the southern branch (see Table 1), some of which were strong and destructive. Among these, the AD 160 earthquake ($M_s = 7.1$) occurred between Yenice and Gönen, and the February 28, 1855 earthquake ($M_s = 7.1$) in Bursa caused extensive damage (Ambraseys, 2002; 2009).

Although historical earthquakes have large location errors, they are in agreement with recent instrumental seismicity (Figures 1b and 2a). Several more recent major earthquakes ($M \geq 6.0$) have also occurred along this branch of the NAFZ. The largest two events are the March 18, 1953 Yenice-Gönen earthquake ($M_s = 7.1$) and the October 6, 1964 Manyas earthquake ($M_s = 6.8$) (Ambraseys, 2002). Several moderate earthquakes ($5 \leq M < 6$) have also been documented in the region (Figure 1b). In order to refine the location of the southern branch, recent earthquakes with a magnitude lower than 5.0 have been relocated and analysed for fault plane solutions (Figure 1b and see Table 1).

We calculated relocation and fault plane solutions for several large earthquakes between 1982 and 2003 using bulletin data obtained from the International Seismological Centre (ISC) and for numerous small-scale earthquakes from 2004 to present using digital waveform data provided by Kandilli Observatory and the Earthquake Research Institute (KOERI).

After relocation, most events are compatible with the new southern branch (Figure 1b). Only a few earthquakes with large location errors are outside of the fault tracks due to lack of observation data or phase reading errors. All earthquakes were relocated with an average number of observations of ~ 49 . The mean station gap in azimuth is $\sim 73^\circ$ and calculated errors in horizontal and vertical directions are 0.6 and 0.3 km respectively. The average RMS (root mean square) residual is 0.24 s. All minimized location and origin time errors show that the seismicity of the region correlates with the active fault system.

Correlation between seismicity and local tectonics was investigated by looking at the fault plane solutions of selected earthquakes that occurred on the southern branch. We determined the individual focal mechanisms by using P-wave first motion polarities. In the Table, focal mechanisms with a high quality solution are listed, they all tend to have relatively high station distribution values (STDR column) (~ 0.57 in average). Average misfit for all solutions is 0.06. These results indicate that the focal mechanism solutions are reliable. The focal mechanism solutions on the new route for the southern branch show dominantly northwest - southeast compression and northeast - southwest extension directions. Other than a small minority of solutions, these dominant regional stress directions are compatible with the pull-apart nature of the right lateral strike slip motion for the new southern branch (Figure 1b).

27	31.01.2007	11:02:29.19	40.317	29.119	12.4	2.7 ^d	25	60	0.08	0.1	0.1	0.1	225/316	85/80	170/5	13	35	20	14	0.25	0.83	TS
28	30.04.2007	18:48:54.78	40.332	30.523	3.7	3.5 ^d	32	127	0.08	0.2	0.0	0.0	155/267	45/69	-30/-131	3	3	10	16	0.04	0.26	TS
29	07.05.2007	07:27:51.19	40.269	29.633	5.8	2.9 ^d	30	50	0.08	0.1	0.1	0.1	35/302	70/81	-170/-20	15	20	20	17	0.23	0.76	TS
30	13.06.2007	08:44:50.74	40.158	28.959	20.2	3.2 ^d	37	67	0.29	0.6	0.1	0.1	65/161	80/61	150/12	10	23	40	18	0.00	0.62	TS
31	22.06.2007	17:54:21.62	40.068	28.390	5.9	2.7 ^d	22	164	0.24	0.7	0.2	0.2	175/77	30/61	-100/-84	10	13	15	12	0.25	0.53	TS
32	21.07.2007	04:31:23.91	40.075	27.575	10.4	3.1 ^d	51	62	0.08	0.1	0.0	0.0	109/200	80/85	175/10	8	33	25	25	0.06	0.71	TS
33	22.08.2007	01:11:42.96	40.128	28.239	6.7	3.0 ^d	48	76	0.16	0.2	0.1	0.1	0/127	25/74	-40/-110	0	10	0	23	0.05	0.50	TS
34	10.09.2007	07:58:14.63	40.122	27.669	9.1	2.7 ^d	25	93	0.09	0.2	0.1	0.1	80/272	35/56	-100/-83	63	33	50	8	0.00	0.72	TS
35	03.12.2007	18:13:53.88	40.140	28.936	10.0	3.2 ^d	39	47	0.13	0.2	0.1	0.1	125/217	85/70	-20/-175	8	10	20	20	0.00	0.63	TS
36	28.01.2008	00:50:42.53	40.080	28.968	24.4	3.5 ^d	63	28	0.20	0.3	0.1	0.1	65/155	90/85	175/0	5	15	15	32	0.08	0.57	TS
37	04.02.2008	19:22:21.01	40.196	29.658	5.7	2.8 ^d	36	42	0.05	0.1	0.0	0.0	73/200	54/50	-53/-130	10	25	25	19	0.10	0.65	TS
38	17.03.2008	04:24:46.97	40.234	28.014	11.3	3.5 ^d	55	55	0.08	0.1	0.0	0.0	150/268	50/61	-40/-132	10	13	15	21	0.00	0.66	TS
39	13.06.2008	17:04:11.51	40.450	28.022	11.6	3.0 ^d	46	40	0.21	0.3	0.1	0.1	140/356	60/36	-110/-59	10	5	20	16	0.03	0.57	TS
40	10.07.2008	07:49:53.88	40.026	27.744	10.2	3.7 ^d	58	61	0.10	0.2	0.0	0.0	75/341	65/81	-170/-25	5	5	10	49	0.05	0.57	TS
41	14.10.2008	22:58:50.75	40.021	28.285	5.4	3.2 ^d	55	48	0.21	0.3	0.1	0.1	55/220	50/41	100/78	8	3	0	32	0.02	0.54	TS
42	09.11.2008	16:58:55.61	40.206	29.674	20.8	2.5 ^d	15	158	0.08	0.4	0.1	0.1	90/270	55/35	-90/-90	40	15	20	9	0.00	0.69	TS
43	26.01.2009	12:10:17.61	40.143	28.917	5.5	3.7 ^d	79	27	0.10	0.1	0.0	0.0	200/93	35/79	20/123	18	33	10	40	0.14	0.68	TS
44	18.02.2009	17:22:39.64	40.110	28.213	8.5	3.1 ^d	33	52	0.05	0.1	0.0	0.0	65/218	70/22	-80/-116	18	10	20	19	0.07	0.46	TS
45	08.03.2009	01:16:18.53	40.134	28.886	5.4	3.1 ^d	48	54	0.11	0.2	0.1	0.1	145/302	65/27	-80/-110	18	15	20	27	0.08	0.66	TS
46	25.04.2009	09:59:38.63	40.121	28.745	5.6	2.9 ^d	40	74	0.07	0.1	0.0	0.0	90/294	35/57	-110/-77	8	15	5	25	0.02	0.58	TS
47	20.06.2009	16:00:50.35	40.179	28.805	5.7	3.3 ^d	55	81	0.11	0.1	0.0	0.0	70/306	55/51	-130/-47	13	33	15	27	0.00	0.70	TS
48	01.08.2009	16:42:38.81	40.319	28.317	16.9	3.8 ^d	98	27	0.17	0.2	0.0	0.0	70/340	90/70	-160/0	5	10	15	47	0.05	0.65	TS
49	15.08.2009	02:11:58.86	40.250	28.951	4.6	3.4 ^d	64	26	0.14	0.2	0.0	0.0	40/195	40/53	110/74	10	5	10	31	0.06	0.56	TS
50	18.08.2009	19:06:24.81	40.073	27.606	8.6	3.1 ^d	48	137	0.08	0.1	0.0	0.0	243/350	80/30	118/20	23	23	10	19	0.09	0.62	TS
51	05.09.2009	12:18:44.77	40.204	30.046	7.1	3.2 ^d	19	136	0.07	0.3	0.1	0.1	135/271	30/67	130/70	8	10	10	11	0.00	0.35	TS
52	08.09.2010	20:51:55.64	40.229	29.262	5.9	3.2 ^d	44	80	0.14	0.2	0.1	0.1	105/327	50/48	-120/-59	8	13	10	25	0.05	0.65	TS
53	23.02.2011	05:06:26.92	40.251	28.993	5.7	3.1 ^d	52	61	0.09	0.1	0.0	0.0	120/285	50/41	-80/-102	15	23	15	22	0.04	0.69	TS
54	30.03.2011	17:07:20.12	40.050	27.807	9.8	3.9 ^d	111	22	0.16	0.2	0.0	0.0	75/169	65/81	170/25	3	10	10	62	0.01	0.62	TS
55	10.04.2011	18:51:17.91	40.337	28.164	7.0	3.2 ^d	77	46	0.09	0.1	0.0	0.0	120/249	15/80	-40/-102	8	10	5	36	0.00	0.48	TS

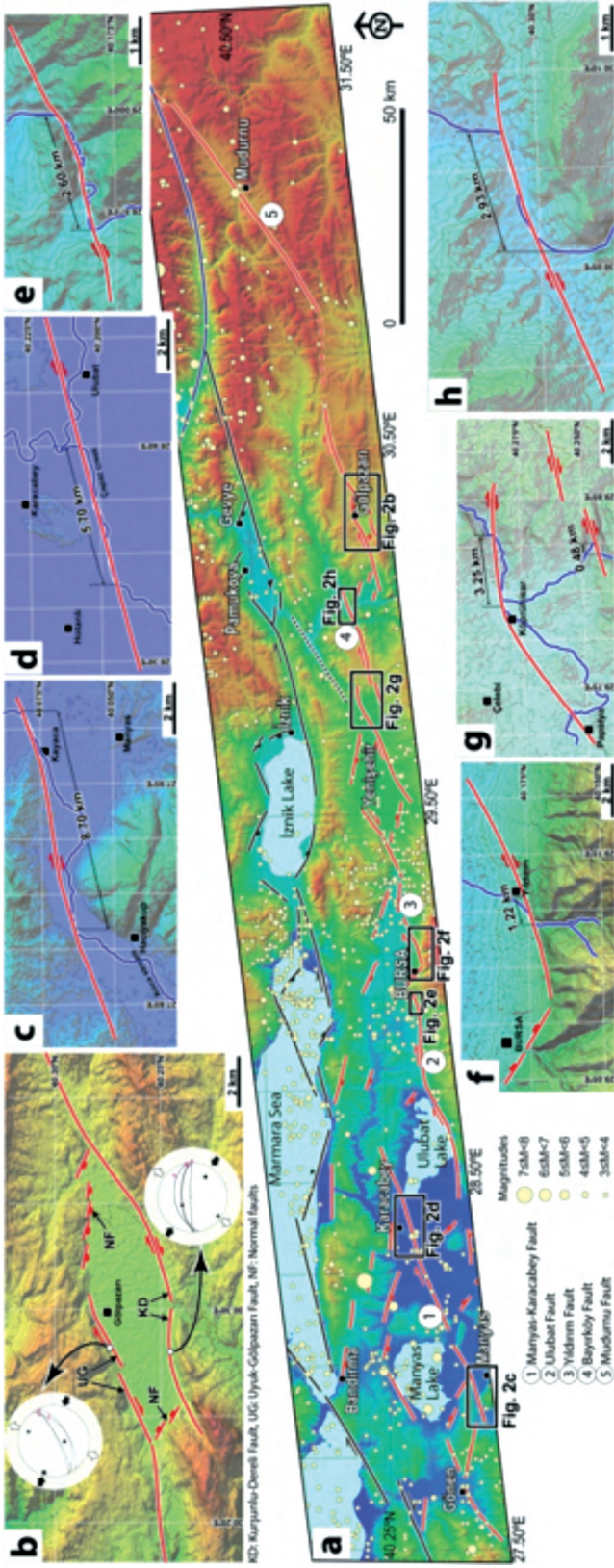


Figure 2. a) Details of the alternative route for the southern branch of the NAFZ and the seismic activity of southern branch, data from KOERI (1900-2011). The black dotted line indicates the connection of southern branch to the middle branch in previous studies. Numbers in circles indicate faults. b) Gölpazarı pull-apart basin (after Gürbüz and Seyitoğlu, 2014). Lower hemisphere equal area projections of the fault surfaces with striations are shown in circles. Black square, circle and triangle represents sigma 1, sigma 2 and sigma 3 respectively. c) An 8.70 km diversion of Koca stream on the Manyas – Karacabey Fault, at the north of Manyas. d) A 5.70 km right lateral displacement of Çapaz creek on the Manyas-Karacabey Fault at the south of Karacabey. e) A 2.6 km right lateral displacement of Niliüfer stream on the Ulubat Fault. f) A 1.22 km right lateral displacement of the Kaplıkaya creek on Yıldırım Fault, east of Bursa. g) The bending of the eastern marginal fault of the Yenişehir basin corresponds to the right lateral displacements on the Göksu and Çoklum creeks. h) A 2.93 km right lateral displacement on the Sakarya river along the Bayırköy Fault.

Şekil 2. a) KAFZ Güney kolu'nun alternatif güzergahının ayrıntıları ve Güney kol'ün sismik verisi KRDAE deprem kataloğundan alınmıştır (1900-2011). Siyah noktalı hat önceki çalışmalarda Güney kol ile Orta kol arasındaki bağlantıyı göstermektedir. b) Gölpazarı çukuru havzası (Gürbüz ve Seyitoğlu, 2014). Fay düzlemleri ve kayma çiziklerinin alt yarımküre eşit alan projeksiyonu dairelerde gösterilmiştir. Siyah kare, daire ve üçgen sırası ile sigma 1, sigma 2 ve sigma 3'ü göstermektedir. c) Manyas kuzeyinde, Manyas-Karacabey fayı üzerinde Koca çay'ın 8.70 km'lik sapma göstermesi. d) Karacabey güneyinde Manyas-Karacabey fayı üzerinde Çapaz dere'nin 5.70 km sağ yanal ötelenmesi. e) Ulubat fayı üzerinde Niliüfer Çayı'nın 2.6km sağ yanal yer değiştirmesi. f) Bursa doğusunda, Yıldırım fayı üzerinde Kaplıkaya deresinin 1.22km sağ yanal ötelenmesi. g) Yenişehir havzasının doğu kenar fayının bükülmesi Göksu ve Çoklum derelerinin sağ yanal yer değiştirmesine karşılık Bayırköy fayı boyunca Sakarya nehrinde 2.93km sağ yanal yer değiştirme.

GPS DATA

Slip partitioning in the Marmara region was previously examined by GPS data such that the computed slips rate range between 23 and 28 mm/yr and between 2.9 to 9.6 mm/yr for the northern and southern branches, respectively (Meade et al., 2002; Nyst and Thatcher, 2004; Reilinger et al., 2006; Aktuğ et al., 2009; Le Pichon and Kreemer, 2010). The majority of these studies consider only two simplified branches of the NAFZ in the Marmara region. Flerit et al. (2004) found slip rates using three branches resulting in slip rates of 17-20, 5 and 2-5 mm/yr for the northern, middle, and southern branches respectively. We employed block modeling to compute the slip rates along boundaries of the fault mapping of this study and earlier works. In this approach, rigid-body motions of each block parameterized by Euler vectors are simultaneously estimated by minimizing the misfit between the modeled and the observed velocities (McCaffrey, 2002; 2005). To account for elastic straining along block boundaries (Okada, 1985), the back slip approach (Matsu'ura et al., 1986) was applied for each fault segment with prescribed fault geometry (Aktuğ et al., 2013b). We assumed vertical faults in Marmara with locking depths of 15 km.

In order to examine slip distribution between the branches of the NAFZ, the Marmara region is divided into 5 blocks using previous fault

definitions (Figure 3a). In this case, the northern branch of the NAFZ has the largest slip values (11.7-13.7 mm/yr) except for the northern part of the Almacık flake. The middle branch has the second largest slip rates, ranging from 2.1 to 5.1 mm/yr. In this configuration, the southern branch is the least important structure with low slip values, (0.1-3.5 mm/yr) and the eastern segment of the southern branch has left-lateral slip rates that are inconsistent with the nature of the Yenişehir pull-apart basin and the entire right lateral nature of the NAFZ.

The newly proposed route of the southern branch in the Marmara region results in a better fit with the GPS velocities (Figure 3b). As shown in Figure 3b, the residuals in the southernmost block are much smaller than those in Figure 3a. The northern branch still has the highest slip rates (11.2-15.8 mm/yr), but the new slip rates indicate that the new southern route has the next highest slip rates, ranging between 1.0 and 3.7 mm/yr. Block modeling with the newly proposed route provides a lower RMS value than using the geometry given in previous studies (2.32 mm/yr versus 2.90 mm/yr). The results of the block modeling were further analyzed statistically to determine whether the improvement in RMS is significant. An F-ratio test of the variances of two different estimations reveals that such a difference in variances is statistically significant at a 95% confidence level.

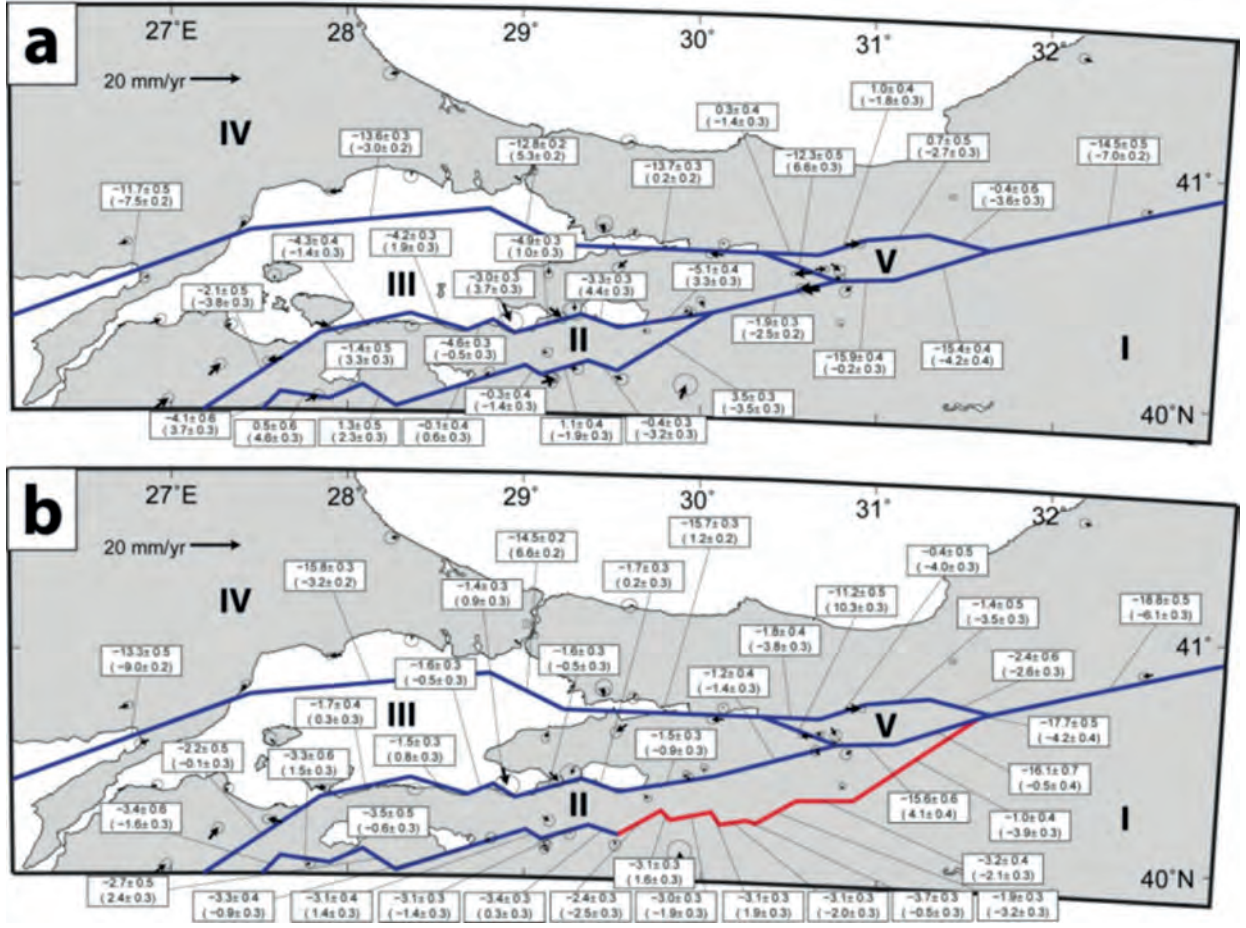


Figure 3. Slip distribution in the Marmara region. **a)** Block boundaries are determined by previous workers cited in Figure 1. **b)** Block boundaries are determined according to the new route of the southern branch of the NAFZ. The slip rates computed using the block model are shown in mm/yr. Top values without parentheses are strike-slip rates, positive being left-lateral. Numbers in parentheses are fault-normal slip rates, positive being closing. Error ellipses are at 95% confidence level.

Şekil 3. Marmara bölgesinde kayma dağılımı. **a)** Blok sınırları Şekil 1'de referans gösterilen önceki çalışmalara göre tanımlanmıştır. **b)** Blok sınırları KAFZ'nun Güney Kol'unun yeni güzergahına göre tanımlanmıştır. Kayma değerleri blok modele göre hesaplanmış olup, mm/yıl olarak gösterilmektedir. Parantez içinde olmayan üstteki değerler yanal kayma değerleridir, pozitif olanlar sol yanaldır. Parantez içindeki değerler faya dik kayma değerleridir, pozitif olanlar yaklaşmayı ifade eder. Hata elipsleri %95 güven düzeyinde gösterilmiştir.

CONCLUSIONS

The strike of fault segments and the locations of pull-apart basins in northwest Anatolia indicate northwest - southeast compression and northeast - southwest extension due to the right lateral strike-slip system which agrees with the majority of the focal mechanism solutions presented in this paper

(Figure 1b). Seismic activity on the western part of the southern branch is relatively higher than on the eastern part, however, the location of the Gölpaazarı pull-apart basin and the re-evaluated MT cross section on the eastern side reveal the location of an alternative route for the southern branch (Figure 4). This new definition better

explains the regional tectonics of the Gölpaazarı pull-apart basin and provides a better fit of block modelling to GPS data. Slip distribution among the three branches of the NAFZ in the Marmara region based on GPS data demonstrate that the new route for the southern branch is the second most important branch in the region in terms of slip distribution along the NAFZ.

The suggested hypothesis for a new alternative southern route of the NAFZ, evidenced by morphotectonic features, seismology, GPS and recently published MT data, should be tested in the field by detailed structural analyses and seismic reflection studies.

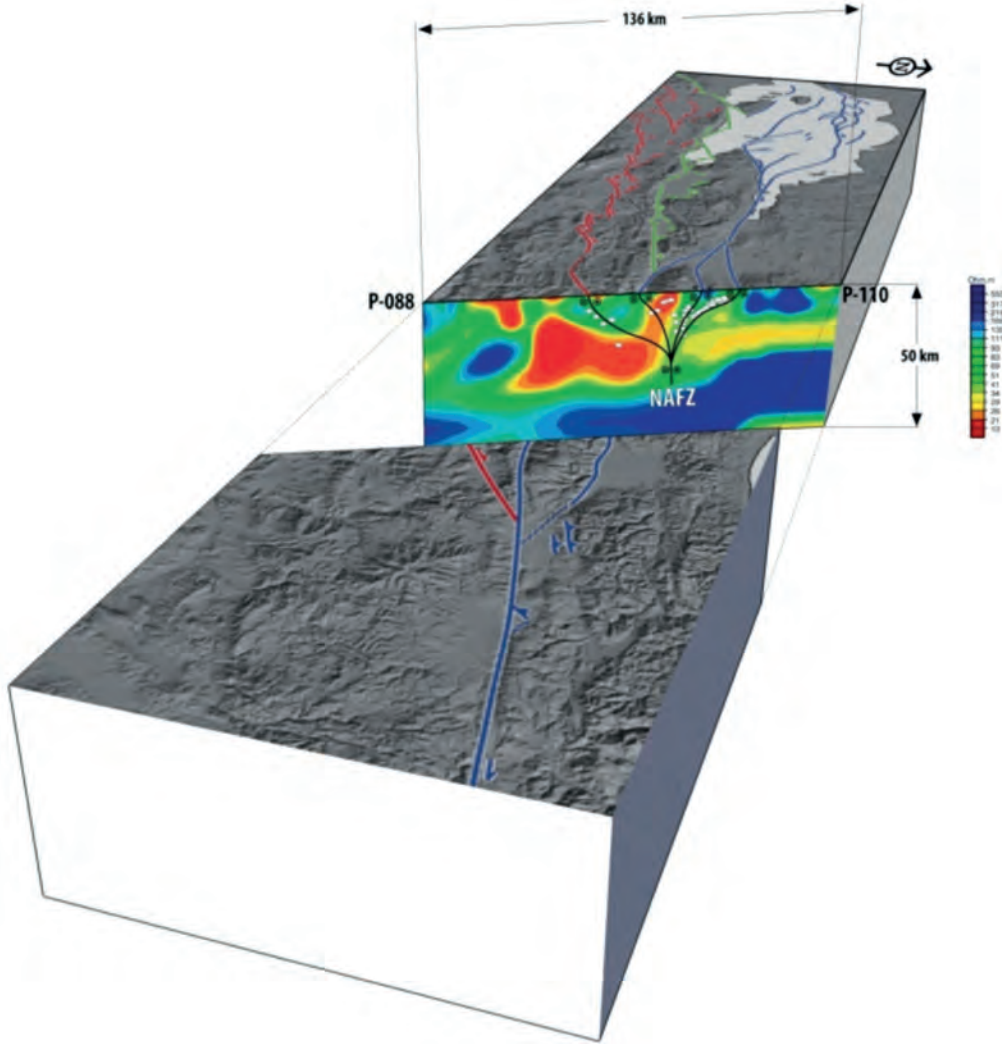


Figure 4. 3D perspective view of the three branched NAFZ in the Marmara region. The hypothesized southern branch is well correlated with the re-evaluated MT data of Kaya (2010).

Şekil 4. Marmara bölgesinde üç kollu KAFZ'nun üç boyutlu perspektif görünümü. Güney kol hipotezi, Kaya (2010)'nun yeniden yorumlanmış MT verisi ile uyum içindedir.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) doğuda dar bir makaslama zonu içinde yer alırken, batıda Bolu'dan itibaren geniş bir makaslama zonu içerisinde üç ana kola ayrılmaktadır (Şekil 1). Kuzey kol, Sapanca Gölü, İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve Saros Körfezi'nden geçer. Orta kol Almacık bloğundan ayrılarak Geyve-Pamukova, İznik Gölü, Gemlik Körfezini izler ve Bandırma Körfezinden GB'ya döner. Güney kol'un KD ucunun Orta kol'dan Mekece üzerinden ayrılarak GB'ya doğru Yenişehir, Bursa, Ulubat Gölü güneyinden Mustafakemalpaşa'yı izleyerek Gönen civarında GB'ya döndüğü bilinmektedir (Şekil 1) (Şengör, 1979; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Barka ve Kuşçu, 1996; Emre vd., 1997; Armijo vd., 1999; 2002; Yaltırak, 2002; Güner vd., 2003; 2006; Şengör vd., 2005; Kurtuluş ve Canbay, 2007; Yılmaz ve Koral, 2007; Selim ve Tüysüz, 2013; Le Pichon vd., 2014).

Yakın zamanda yayınlanan Türkiye diri fay haritasında ise Güney kol, Bursa ve İnegöl arasında diri normal faylarla Eskişehir Fay Zonu'na bağlanır (Emre vd. 2011).

Yukarıdaki güzergahlardan farklı olarak, Gölpaazarı havzasının bir çek-ayır havza olarak değerlendirilmesinden sonra (Önde ve Gürbüz 2010; Gürbüz ve Seyitoğlu, 2014), MT verilerinin de yayınlanması (Kaya, 2010) ile, KAFZ'nun Güney kolu alternatif güzergahının daha doğuya Gölpaazarı çek-ayır havzası ve Mudurnu üzerinden ana KAFZ'na Bolu'da bağlandığı yönündeki bir hipotez bu makalede öne sürülmektedir.

Güney Marmara'nın genel yapısı KD doğrultulu sağ yanal doğrultu atımlı faylar ile KB doğrultulu normal faylardan meydana gelmektedir. Bu yapılar büyük çek-ayır havza sistemlerinin elemanları olup, içlerinde Manyas

ve Ulubat göllerini, Bursa, Yenişehir ve Gölpaazarı ovalarını barındırmaktadır (Şekil 1 ve 2). KAFZ Güney kol'una ait alternatif güzergah ve ilişkili morfolojik veriler Şekil 2'de sunulmuştur. Ayrıca Mudurnu fayı güzergahını belirlemek için Kaya (2010) tarafından yayınlanan MT verisi yeniden yorumlanmıştır (Şekil 1 ve 2).

Önerilen Güney kol'un üzerindeki sismik etkinlik batıda doğuya göre daha fazladır. Sismik etkinlik verilerine yeniden konumlandırma işlemi yapılmış, ayrıca yeni odak mekanizma çözümleri elde edilmiştir (Şekil 1; Çizelge 1). Genel bölgesel gerilme dağılımı, sağ yanal doğrultu atımlı sistemin çek-ayır doğası ile uyumlu gözükmektedir.

KAFZ'nun kolları arasındaki kayma dağılımını incelemek için daha önceki fay tanımlamalarına uygun şekilde bir çalışma yapılmış ve burada Güney kol'un en düşük kayma değerlerine sahip olduğu ve doğu segmentinin sol yanal kayma değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 3a). Marmara bölgesinde yeni önerilen Güney kol güzergahına uygun biçimde yapılan çalışmaya göre (Şekil 3b) güney blokta rezidüeller Şekil 3a'ya göre daha düşüktür ve yeni Güney kol ikinci en büyük kayma değerine sahiptir (1.0-3.7 mm/yıl).

KAFZ'nun Biga Yarımadası-GGD Marmara bölgesi anakarası üzerindeki güzergahı hakkındaki bu hipotez arazide daha detaylı yapısal analizler ve sismik yansıma çalışmaları ile test edilmelidir.

REFERENCES

- Aktuğ, B., Nocquet, J.M., Cingöz, A., Parsons, B., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gürdal, M.A., Kılıçoğlu, A., Akdeniz, H., and Tekgül, A., 2009. Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS

- data: Limits to block-like behaviour. *Journal of Geophysical Research*, 114, B10404, doi: 10.1029/2008JB006000.
- Aktuğ, B., Dikmen, Ü., Doğru, A., Özener, H., 2013a. Slip rates near Karlıova Triple Junction by GPS Observations. *Journal of Geodynamics*, 67, 21-29.
- Aktuğ, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M.A., Özdemir, S., 2013b. Deformation of Central Anatolia: GPS Implications. *Journal of Geodynamics*, 67, 78-96.
- Aktuğ, B., Doğru, A., Özener, H., Peyret, M., 2015. Slip rates and locking depth variation along central and easternmost segments of North Anatolian Fault. *Geophysical Journal International*, 202, 2133-2149.
- Ambraseys, N.N., Jackson, J.A., 2000. Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International*, 141, F1-F6.
- Ambraseys, N., 2002. The seismic activity of the Marmara Sea Region over the last 2000 years. *Bulletin of Seismological Society America*, 92, 1-18.
- Ambraseys, N., 2009. Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900. Cambridge University Press.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A., Barka, A., 1999. Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: Timing and kinematics. *Geology*, 27, 267-270.
- Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G., Barka, A., 2002. Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: a clue to propagation processes of the North Anatolian Fault? *Terra Nova*, 14, 80-86.
- Barka, A., Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.
- Barka, A., Reilinger, R., 1997. Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Annali di Geofisica*, 40, 587-610.
- Barka, A., 1992. The North Anatolian Fault Zone. *Annales Tectonicae*, 6, 164-195.
- Barka, A.A., Kuşçu, İ., 1996. Extents of the North Anatolian fault in the İzmit, Gemlik and Bandırma bays. *Turkish Journal of Marine Sciences*, 2, 93-106.
- Çağlar, İ., İşseven, T., 2004. Two-dimensional geoelectrical structure of the Göynük geothermal area, northwest Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 134, 183-197.
- Ekmekçi, N., Nazik, L., 2004. Evolution of Gölpaazarı-Hüyük karst system (Bilecik-Turkey): Indications of morpho-tectonic controls. *International Journal of Speleology*, 33, 49-64.
- Ekström, G.A., England, P.C., 1989. Seismic strain rates in regions of distributed continental deformation. *Journal of Geophysical Research*, 94, 10231-10257.
- Emre, Ö., Erkal, T., Kazancı, N., Görmüş, S., Görür, N., Kuşçu, İ., Keçer, M., 1997. Morphotectonics of the southern Marmara region during the Neogene and Quaternary: TÜBİTAK Project Report YDABÇAG-426/G, 36-68.
- Emre, Ö., Doğan, A., Duman, T.Y., Özalp, S., 2011. Bursa (NK 35-12) quadrangle, active fault map series of Turkey: General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey, serial number 9, scale 1/250,000, 1 sheet.
- Eyidoğan, H., 1988. Rates of crustal deformation in western Turkey as deduced from major earthquakes. *Tectonophysics*, 148, 83-92.
- Flerit, F., Armijo, R., King, G., Meyer, B., 2004. The mechanical interaction between the propagating North Anatolian Fault and the back-arc extension in the Aegean. *Earth and Planetary Science Letters*, 224, 347-362.

- Guidoboni, E., Comastri, A., Traina, G., 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century. ING-SGA, Bologna 1: 504 p.
- Gürbüz, A., 2010, Geometric characteristics of pull-apart basins. *Lithosphere*, 2, 199-206.
- Gürbüz, E., Seyitoğlu, G., 2014. Quaternary development of the Gölpaazarı basin (NW Turkey). *Geological Bulletin of Turkey*, 57, 1-17.
- Gürer, Ö.F., Kaymakçı, N., Çakır, Ş., Özburan, M. 2003. Neotectonics of the southeast Marmara region, NW Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 1041-1051.
- Gürer, Ö.F., Sangu, E., Özburan, M. 2006. Neotectonics of the SW Marmara region, NW Anatolia, Turkey. *Geological Magazine*, 143, 1-13.
- Kaya, C., 2010. Deep crustal structure of northwestern part of Turkey. *Tectonophysics*, 489, 227-239.
- Ketin, İ., 1948. Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dozennimus. *Geologische Rundschau*, 36, 77-83.
- Kondorskaya, N.V., Ulomov, V.I., 1999. Special catalogue of earthquakes of the Northern Eurasia from ancient times through 1995 (SECNE). Joint Institute of Physics of the Earth (JIPE), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
- Koçyiğit A. 1988. Tectonic setting of the Geyve Basin: Age and total displacement of the Geyve Fault Zone. *METU Journal of Pure and Applied Sciences*, 21, 81-104.
- Kurtuluş, C., Canbay, M.M., 2007. Tracing the middle strand of the North Anatolian Fault Zone through the southern Sea of Marmara based on seismic reflection studies. *Geo-Marine Letters*, 27, 27-40.
- Le Pichon, X., 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.
- Le Pichon, X., İmren, C., Rangin, C., Şengör, A.M.C., Siyako, M., 2014. The south Marmara Fault. *International Journal of Earth Sciences*, 103, 219-231.
- Matsu'ura, M., Jackson, D.D., and Cheng, A., 1986. Dislocation model for aseismic crustal deformation at Hollister, California. *Journal of Geophysical Research*, 91(B12), 2661-2674.
- McCaffrey, R., 2002. Crustal block rotations and plate coupling, *in* Stein, S., and Freymueller, J.T., eds., *Plate Boundary Zones American Geophysical Union Geodynamics Series 30*, pp. 101-122. doi:10.1029/030GD06.
- McCaffrey, R., 2005. Block kinematics of the Pacific-North America plate boundary in the southwestern United States from inversion of GPS, seismological, and geologic data. *Journal of Geophysical Research*, 110(B7), B07401, doi: 10.1029/2004JB003307.
- McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- Meade, J. B., Hager, B. H., McClusky, S.C., Reilinger, R.E., Ergintav, S., Lenk, O., Barka, A., Özener, H., 2002. Estimates of seismic potential in the Marmara sea region from block models of secular deformation constrained by Global Positioning System Measurements. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 208-215.
- Nyst, M., Thatcher, W., 2004. New constrains on the active tectonic deformation of the Aegean. *Journal of Geophysical Research*, 109, B11406, doi: 10.1029/2003JB002830.
- Okada, Y., 1985. Surface deformation due shear and tensile faults in a halfspace. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75, 1135-1154.
- Önde, E., Gürbüz, A., 2010. Morphotectonic setting of the Gölpaazarı pull-apart basin: Implications on the region between the North Anatolian and Eskişehir fault zones, NW Turkey. *Geophysical Research Abstracts 12*, EGU2010-944-2.

- Özener, H., Arpat, E., Ergintav, S., Doğru, A., Çakmak, R., Turgut, B., Doğan, U., 2010. Kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone. *Journal of Geodynamics*, 49, 141–150.
- Papazachos, B., Kiratzi, A., Papadimitriou, E., 1991. Regional focal mechanisms for earthquakes in the Aegean Area. *Pure and Applied Geophysics*, 136, 407–420.
- 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., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. and Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa - Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411, doi: 10.1029/2005JB004051.
- Selim, H.H., Tüysüz, O., 2013. The Bursa-Gönen depression, NW Turkey: a complex basin developed on the North Anatolian Fault. *Geological Magazine*, 150, 801-821.
- Seymen, İ. 1975. Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği: Dr. Eng., İstanbul Tek. Univ., Maden Fak., 192 pp.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Koçak, D., Altınok, Y., 1981. A historical earthquake catalogue for Turkey and its surrounding—2100 BC to 1900: TÜBİTAK Project Report TBAG-341.
- Şengör, A.M.C., 1979. The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society London*, 136, 269-282.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., and Rangin, C., 2005. The North Anatolian Fault: A New Look: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, doi: 10.1146/annurev.earth.32.101802.120415.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., and Yörük, A., 2008. The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 405-418.
- Tatar, O., Poyraz, F., Gürsoy H., Çakır, Z., Ergintav, S. Akpınar, Z., Koçbulut, F., Sezen, F., Türk, T., Hastaoğlu, K.Ö., Polat, A., Mesci, B.L., Gürsoy, Ö., Ayazlı İ.E., Çakmak, R., Belgen, A Yavaşoğlu, A., 2012, Crustal deformation and kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Zone (Turkey) from GPS measurements. *Tectonophysics*, 518–521, 55–62
- Yaltırak, C., 2002. Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings. *Marine Geology*, 190, 493-529.
- Yavaşoğlu, H., Tarı, E., Tüysüz, O., Çakır, Z., Ergintav, S., 2011. Determining and modelling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault (Turkey) using geodetic measurements. *Journal of Geodynamics*, 51, 339–343.
- Yılmaz, M., Koral, H., 2007. Neotectonic features and geological development of the Yenişehir basin (Bursa). *İstanbul Yerbilimleri Dergisi* 20, 21-32.
-
- Makale Geliş Tarihi : 4 Şubat 2016
Kabul Tarihi : 18 Mart 2016
- Received* : 4 February 2016
Accepted : 18 March 2016



Kazdağ Masifi'nde (Biga Yarımadası) Yer Alan Meta-Ofiyolitik Kayaların TitaniQ Termometresi ve Rutil İz Element Bileşimi

*TitaniQ Thermometer and Trace Element Composition of Rutile in Meta-Ophiolitic Rocks From
the Kazdağ Massif, Biga Peninsula*

Fırat ŞENGÜN

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 17100,
Çanakkale, Türkiye (e-posta: firatsengun@comu.edu.tr)*

ÖZ

Ofiyolitik meta-gabrolar Biga Yarımadası'nın güneyinde Kazdağ Masifi'nde yüzlek vermektedir. Meta-gabrolar içerisindeki rutil ve kuvars minerallerinin iz element bileşimleri LA-ICP-MS ile saptanmıştır. Hem matriks içerisinde hem de granat içerisinde kapanım olarak bulunan rutil tanelerinin Zr içeriği 176 ile 428 ppm arasında değişmekte ve ortalama Zr içeriği ise 335 ppm'dir. Rutil taneleri genellikle homojen Zr dağılımına sahiptir. Kazdağ Masifi'nde incelenen örnekler içerisindeki rutil taneleri subkondritik Nb/Ta (11-23) ve Zr/Hf (20-33) değerleriyle karakterize olmaktadır. Nb/Ta ve Zr/Hf pozitif korelasyon göstermekte ve bu da muhtemelen silikat parçalanmasından kaynaklanmaktadır. Nb/Ta ve Zr/Hf oranları Ta ve Hf içeriklerindeki azalmayla artma eğilimi sunmaktadır. Rutil tanelerinin çekirdekleri genellikle düşük Nb/Ta (17-18) oranlarıyla karakterize olurken kenar kesimleri göreceli olarak daha yüksek Nb/Ta (19-23) oranlarına sahiptir. Rutilin iz element analizleri rutil kristallerinin metamorfik akışkanlardan itibaren geliştiğini göstermektedir.

Kuvarsın Ti içeriği rutilin Zr içeriğine göre geliştirilen termometreyle birlikte kullanıldığında kuvars ve rutilin birlikte bulunduğu kayalarda basınç-sıcaklık hesabı yapılabilmektedir. Ofiyolitik meta-gabroların basınç-sıcaklık koşulları kuvarsın Ti içeriğine ve rutilin Zr içeriğine göre hesaplanmıştır. Kuvarsın Ti içeriği 28 ile 42 ppm arasında değişmekte ve ortalama 36 ppm'dir. Basınç-sıcaklık diyagramında kuvarsın Ti eş değer eğrileri ile rutilin Zr eş değer eğrileri karşılaştırıldığında elde edilen sıcaklık değeri ~ 660 °C, basınç değeri ise ~ 10 kbar'dır. Meta-ofiyolitik kayaların basınç-sıcaklık koşulları bu kayaların Kazdağ Masifi içerisinde daha yüksek basınçlı ayrı bir tektonik dilim olduğunu ifade etmektedir. Amfibolit fasiyesi metamorfizması Neo-Tetis okyanusunun İzmir-Ankara kolunun kuzeye doğru Sakarya Zonu altına dalmasından kaynaklanmaktadır. Metamorfizmanın hemen ardından Kazdağ Masifi'nin orta-yüksek dereceli metamorfik kayaları kendi içerisinde çarpışma sırasında güneye doğru sıkışmayla birbiri üzerine bindirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metamorfizma, Rutil, Kuvars, Termobarometre, Meta-gabro

ABSTRACT

Ophiolitic meta-gabbros are exposed on the Kazdağ Massif located in the southern part of the Biga Peninsula. Trace element composition of rutile and quartz was determined for metagabbros from the Kazdağ Massif by LA-ICP-MS. The Zr content of both matrix rutiles and rutile inclusions in garnet range from 176 to 428 ppm (average 335 ppm). Rutile grains usually have a homogeneous Zr distribution. The rutile grains from studied samples in the Kazdağ Massif are dominated by subchondritic Nb/Ta (11-23) and Zr/Hf ratios (20-33). Nb/Ta and Zr/Hf show positive correlation, which is probably produced by silicate fractionation. The Nb/Ta and Zr/Hf ratios increase with a decrease in Ta and Hf contents. The core of rutile grains are generally characterized by low Nb/Ta ratios of 17-18 whereas the rims exhibit relatively high Nb/Ta ratios of 19-23. Trace element analyses in rutile suggest that these rutile grains were grown from metamorphic fluids.

Ti-in-quartz can be used as a thermobarometer when used in combination with Zr-in-rutile thermometer. P-T conditions of ophiolitic meta-gabbros were calculated by Ti content of quartz and Zr content of rutile, which are in equilibrium with each other. Ti contents of quartz are ranging between 28 and 42 ppm (average 36 ppm). A P-T estimate can be obtained from the intersection of the Ti-in-quartz isopleths with the Zr-in-rutile isopleths, which yield ~ 660 °C and 10 kbar. The P-T conditions of meta-ophiolitic rocks suggest that they occur as a different separate higher-pressure tectonic slice in the Kazdağ Massif. Amphibolite-facies metamorphism resulted from northward subduction of the İzmir-Ankara branch of the Neo-Tethyan Ocean under the Sakarya Zone. Metamorphism was followed by internal imbrication of the Kazdağ Massif resulting from southerly directed compression during the collision.

Key words: Metamorphism, Rutile, Quartz, Thermobarometer, Meta-gabbro

GİRİŞ

Kuarsın (SiO_2) magmatik, metamorfik, hidrotermal ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunması, kuarsın geniş bir basınç-sıcaklık (P-T) aralığında duraylı kalabildiğini göstermektedir. Kuarsın iz element jeokimyası kayaların kristalleşme koşulları hakkında önemli bilgiler vermektedir. Kuarsın ve rutilin (TiO_2) birlikte kristalizasyonu sırasında titanyumun (Ti) kuarsın silisyumu (Si) ile yer değiştirmesi basınç ve sıcaklığa bağlıdır ve bu da tek mineralli kuarsın Ti içeriğine bağlı TitaniQ termometresinin gelişmesine neden olmuştur (Wark ve Watson, 2006; Thomas vd. 2010). Kuarsın Ti içeriğinin basınç ve sıcaklığa bağımlılığı, kuarsla birlikte gelişen başka bir mineral termometresiyle (rutilin Zr içeriğine bağlı termometre) birleştirildiğinde

termobarometre olarak ya da bağımsız olarak kuars kristalizasyonunun basınç ve sıcaklığının hesaplanmasında kullanılabilir (Thomas vd. 2010, 2015). Benzer şekilde kuars ve zirkonla birlikte dengede olan rutilin kristal kafesine sıcaklığa bağımlı zirkonyumun (Zr) dahil olması tek mineralli termometrenin (rutilin Zr içeriğine bağlı termometre) gelişmesini sağlamıştır (Zack vd. 2004; Watson vd. 2006; Ferry ve Watson, 2007; Tomkins vd. 2007). TitaniQ ve rutil termometreleri tek mineralli termometreler olup yaygın olarak orta-yüksek dereceli metamorfik kayaların metamorfizma sıcaklıklarının ve basınçlarının sınırlandırılmasında kullanılmaktadır (örn. Spear vd. 2006; Zhang vd. 2009; Meyer vd. 2011; Ewing vd. 2013; Gao vd. 2014).

Rutil aksesuar mineral olarak okyanusal ve kıtasal yitim zonlarındaki orta-yüksek dereceli metamorfik kayalarda yaygın olarak bulunmakta ve basınç-sıcaklık koşullarıyla ilişkili ana metamorfik reaksiyonlara katılmaktadır (örn. Foley vd. 2002; Zack vd. 2002; Meinhold, 2010; Ding vd. 2013). Rutil yüksek alan gücüne sahip elementleri taşıyan başlıca titanyum içeren faz olup yitim zonu sistemlerindeki kayaların içerisinde yer alan Nb, Ta ve Ti'un büyük bölümünü kapsamaktadır (Brenan vd. 1994; Green, 1995; Foley vd. 2000; Rudnick vd. 2000; Ding vd. 2013). Rutil aynı zamanda yapısında geniş oranda V, Cr, Fe, Al, Sn, Sb ve W gibi iz elementleri barındırmaktadır (örn. Graham ve Morris, 1973; Deer vd. 1992; Zack vd. 2002). Rutilin Nb/Ta oranları yitim zonu metamorfizması boyunca kabuk-manto ayırımının jeokimyasal olarak izlenmesinde kullanılmaktadır (Schmidt vd. 2008; 2009; Meinhold, 2010).

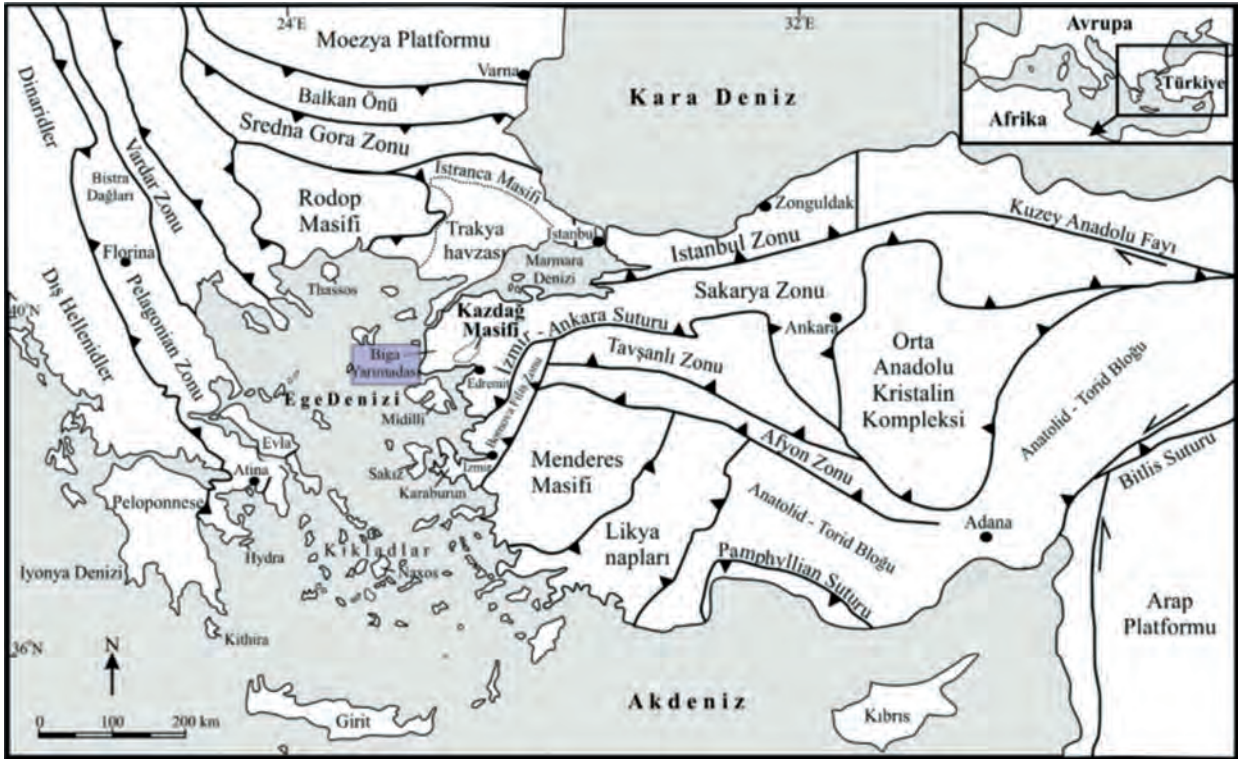
Önceki çalışmalarda Kazdağ Masifi'nin metamorfik istifi gnays, amfibolit, mermer ve meta-ofiyolitik kayalardan oluşan metamorfik kompleks olarak tanımlanmıştır (Okay vd. 1996, 2006; Duru vd. 2004). Bununla birlikte metamorfik kayaların içyapısı, kontak ilişkileri ve kökenleri halen tartışma halindedir. Meta-ofiyolitlerin metamorfik evrimleri ve tektonik yerleşimleri ile ilgili problemler ise henüz çözülmemiştir.

Bu çalışmada TitaniQ termometresi meta-ofiyolitik kayaların basınç-sıcaklık koşullarının hesaplanması için meta-ofiyolitik

kayaların içinde yayılım sunan meta-gabrolara uygulanmıştır. TitaniQ termometresi rutil ve zirkonla dengede bulunan kuvars mineralinin iz element konsantrasyonlarından elde edilen basınç-sıcaklık değerlerinin yitim zonu sistemleri için ne kadar güvenilir olduğunun belirlenebilmesi ve klasik yöntemlerle hesaplanan basınç-sıcaklık değerleriyle karşılaştırılabilmesi için incelenmiştir. Ayrıca rutil jeokimyası ile yitime uğramış okyanusal kabuğun iz element davranışı ve yitim zonu süreçlerindeki metamorfik evrimi değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın amacı orta-yüksek dereceli metamorfik kayalardan elde edilen rutillerden yitime uğramış okyanusal kabuğun metamorfik evrimi ile ilgili önemli bilgiler sağlamak ve TitaniQ termometresiyle Kazdağ Masifi'nde yüzlek veren meta-ofiyolitik kayaların basınç-sıcaklık koşullarının hesaplanarak metamorfik evriminin ortaya çıkarılmasıdır.

JEOLJİK YERLEŞİM

Türkiye yaygın olarak Mesozoyik ve Senozoyik sırasında Tetis okyanusal havzaların kapanan kollarını temsil eden ofiyolitik suture zonlarıyla ayrılmış tektonik zonlardan oluşmaktadır (Şekil 1) (örn. Şengör ve Yılmaz 1981; Okay ve Tüysüz 1999; Moix vd. 2008). Bunlar kuzeyden güneye doğru Sakarya Zonu (Okay, 1984), İzmir-Ankara Zonu (Şengör ve Yılmaz, 1981), Tavşanlı Zonu (Okay, 1986), Afyon Zonu (Okay, 1984), ve Menderes Masifidir (Dürr vd. 1978).

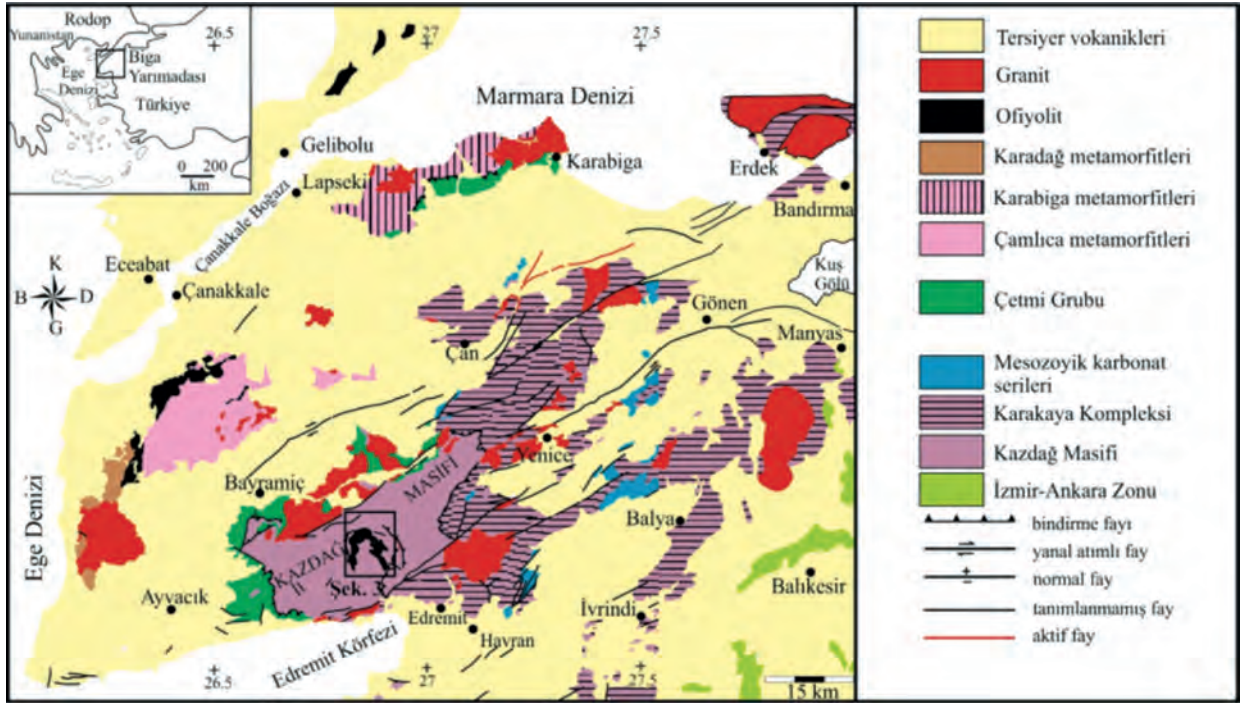


Şekil 1. Ana tektonik birimleri ve bunları sınırlayan sutureları gösteren Doğu Akdeniz'in tektonik haritası (Okay vd. 2006; Meinhold vd. 2010)'san değiştirilmiştir).

Figure 1. Tectonic map of the Eastern Mediterranean region indicating the major geotectonic units and the bounding sutures (modified from Okay et al. 2006; Meinhold et al. 2010).

Kuzeybatı Anadolu farklı tektonik birimlerin, farklı kökende ve yaşta kıtasal parçaların ve okyanusal topluluklarının bulunduğu bir bölgedir (Okay ve Satır, 2000; Beccaletto ve Jenny, 2004; Şengün vd. 2011; Aysal vd. 2012). Kazdağ Masifi kuzeybatı Anadolu'da Sakarya Zonu içerisinde Biga Yarımadası'nın güney kesiminde yer almaktadır (Şekil 2). Kazdağ Masifi KD-GB yönünde uzanan ve kuzeydoğu yönünde dalımlı bir antiform oluşturmaktadır. Bu antiformun çekirdeğindeki ileri derecede metamorfik temel kayaları tipik bir gnays domu görünümündedir. Bu ileri derecede metamorfik çekirdek, önce daha zayıf dereceli metamorfik bir Paleozoik ve daha sonra da metamorfizma nitelikleri daha da düşük

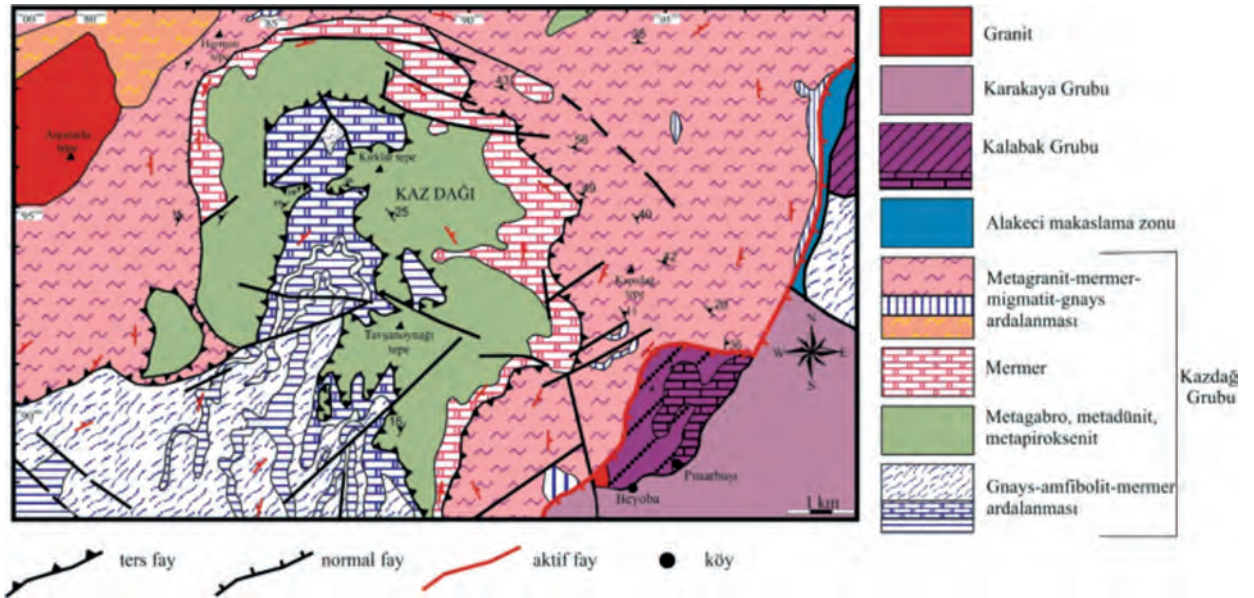
olan Erken Mesozoyik yaşlı birimler tarafından örtülür. Kazdağ Masifi üç tektonostratigrafik topluluktan oluşmaktadır (Şekil 3). Bunlar; i) Kazdağ Masifinin amfibolit-granulit fasiyesinde metamorfik çekirdeğini oluşturan; Kazdağ Grubu, ii) Yeşil şist fasiyesinde metamorfik, küçük metaofiyolit dilim ve mercikleri içeren ve Devoniyen yaşlı metagranitoidlerle kesilen bir metavolkanik – metasedimenter istiften oluşan Kalabak Grubu, iii) İçerisinde yaygın Permiyen blokları da içeren çok geniş litolojik ve yapısal karaktere sahip Triyas yaşlı kalın volkanik – çökel düzenli ve karmaşık topluluk; Karakaya Grubu (Yiğitbaş vd. 2014).



Şekil 2. Biga Yarımadası'nın genelleştirilmiş jeoloji haritası (MTA 2012'den değiştirilmiştir).
Figure 2. Generalized geological map of the Biga Peninsula (modified from MTA 2012).

Kazdağ Masifi'nde yüzlek veren meta-ofiyolitik kayalar antiformun çekirdeğinde bulunmakta ve mermerce zengin bir istif tarafından çevrelenmektedir. Mermerce zengin istif üstü doğru felsik gnays, migmatit, mermer ve amfibolit ardalanmasına geçmektedir (Bingöl, 1969; Picket ve Robertson, 1996; Okay ve Satır, 2000; Duru vd. 2004; Erdoğan vd. 2013). Tipik bir okyanusal kabuğu temsil eden meta-ofiyolitik kayalar meta-

ultramafik kayalardan, koyu yeşil renkli, bantlı meta-gabrolardan oluşmaktadır (Şekil 3). Meta-ultramafik kayalar baskın olarak masif meta-piroksenitlerden ve kısmen serpantinitleşmiş meta-dünitlerden oluşmaktadır. Meta-gabrolar genel olarak foliasyonlu ve ilksel dokusu yaygın bir şekilde korunmuştur. Bu birim mermer-gnays istifi tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir (Duru vd. 2004; Yiğitbaş vd. 2014).



Şekil 3. Kazdağ Masifi'nde yüzlek veren meta-ofiyolitik kayaların ayrıntılı jeoloji haritası (Duru vd. 2004'den değiştirilmiştir).

Figure 3. Detailed geological map of the meta-ophiolitic rocks in the Kazdağ Massif (modified from Duru et al. 2004).

Kazdağ Masifi'nin metamorfik kayaları Alpin orojenezi sırasında sıkışma rejimi altında amfibolit-granulit fasiyesi metamorfizmasına uğramıştır ve metamorfik kayalara granitlerin yerleşmesi eşlik etmiştir (Okay ve Satır, 2000; Erdoğan vd. 2013). Kazdağ Masifi'ndeki felsik gnayslardan ve amfibolitlerden tek zirkon Pb evaporasyon yoluyla elde edilen yaşlar sırasıyla 308 ± 16 My ve 329 ± 5 My vermiştir (Okay ve Satır, 2000). Bununla birlikte Alpin üzerlemesini ile ilgili olarak Kazdağ Masifi'ndeki iki gnays örneğinden K-Ar mika yaşları 26 ± 3 My ve 27 ± 3 My vermiştir (Bingöl, 1969). Okay ve Satır (2000) gnays örneklerinden sırasıyla elde edilen Rb/Sr muskovit ve biyotit yaşlarının $24-20$ My ve $20-18$ My toplandığını ifade etmişlerdir. Yakın zamanda metagranit örneklerinden elde edilen U-Pb zirkon yaşları 24.8 ± 4.6 My ve 28 ± 10 My olarak saptanmıştır. Bu yaşlar Alpin orojenezi sırasında Kazdağ Masifi'nde meydana gelen migmatitik

metamorfizmanın yaşı olarak yorumlanmıştır (Erdoğan vd. 2013). Bu izotopik veriler Kazdağ Masifi'ndeki orta dereceli metamorfizmanın Karbonifer ve Geç Oligosen sırasında olduğunu göstermektedir (Okay vd. 1996; Okay ve Satır, 2000, Erdoğan vd. 2013; Yiğitbaş vd. 2014). Kazdağ Masifi'nin batı kenarında bulunan Alakeçi milonit zonundan 17-14 My arasında değişen apatit iz yaşları elde edilmiştir. Bu yaşlar Kazdağ Masifi'nin yüzeylemesiyle bağlantılıdır (Cavazza vd. 2009). Kazdağ Masifi litoloji ve metamorfizma zamanı bakımından Yunanistan'da bulunan Rodop Masifi ile karşılaştırılmıştır (örn. Beccalotto ve Jenny, 2004; Okay vd. 1996; Okay ve Satır, 2000)

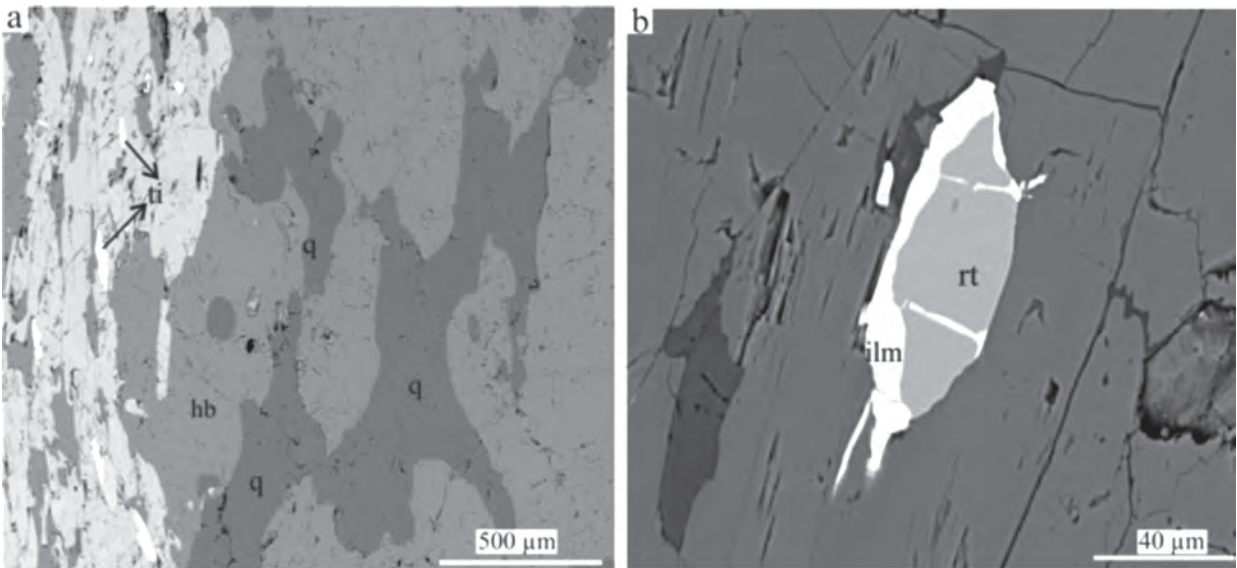
Kazdağ Masifi'nin orta dereceli metamorfik kayaları Permo-Triyasik Karakaya Kompleksi tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Karakaya Kompleksi Paleotetis okyanusunun kapanmasını işaret eden düşük

dereceli metamorfik kayalardan, sedimanter kayalardan, yığışım kompleksi, okyanus için yay/yay önü birimlerden oluşmaktadır (Okay vd. 1996; Okay ve Göncüoğlu, 2004). Bununla birlikte sedimanter kayalar ve okyanus adası bazalt tipli volkanik bloklar düşük basınç-düşük sıcaklık koşullarından etkilenmiştir (Tetiker vd. 2015).

PETROGRAFI

Meta-ofiyolitik kayalar içerisinde baskın litolojiyi oluşturan meta-gabrolar rutil, zirkon ve kuvars mineralleri içermektedir. Meta-gabroların ana mineral bileşimi plajiyoklas (~ 40 %), hornblend (~ 30 %), klinopirotksen (~ 15 %), ortopirotksen (~ 5 %) ve biyotitten (~ 5) oluşmaktadır. Aksesuar mineralleri olarak granat, epidot, klorit, Ca-amfibol, kuvars, rutil, titanit, zirkon, apatit ve ilmenit içermektedir (Şekil 4). Bütün meta-gabro örnekleri poiklitik ve nematoblastik doku göstermektedir. Porfiroblastik granatlar

kuvars, epidot ve zirkon kapanımları (inklüzyon) içermektedir. Kuvars taneleri gri, sarı renkte ve öz şekilsiz olarak hem matriks içerisinde hem de granat içerisinde kapanım olarak gözlenmektedir (Şekil 4a). Matriks içerisinde gözlenen kuvars tanelerinin boyları 200-350 µm arasında değişmektedir. Inklüzyon olarak bulunan kuvars tanelerinin boyları ise 30-50 µm arasındadır. Rutil tanelerinde herhangi bir kapanımın varlığı saptanmamıştır. Rutil taneleri ya matriks içerisinde ayrı taneler şeklinde (80-90 µm) ya da klinopirotksen ve granat içerisinde kapanım olarak (<20 µm) bulunmaktadır. Çoğunlukla koyu kahve renkli olan rutil tanelerinin etrafında ilmenit büyümeleri gelişmiştir (Şekil 4b). Bazı rutil tanelerinin etrafında ise geri dönüşümü gösteren titanit gözlenmektedir. Granatın klorit-epidot-amfibol topluluğu tarafından ornatılması ve rutilin titanit tarafından çevrelenmesi yeşilşist fasiyesi kayalarına dereceli bir geri dönüşümü göstermektedir.



Şekil 4. Dokusal ilişkileri gösteren elektron mikroskobu görüntüleri, a) matriks içerisinde bulunan kuvars (q) mineralleri, b) rutilin kenar kesimlerinde bulunan ilmenit (ilm) oluşumları.

Figure 4. Back scattered electron (BSE) images showing the textural relationships, a) quartz (q) grains occurring in the matrix, b) rutile is surrounded by ilmenite (ilm) rim.

ÖRNEK HAZIRLAMA VE ANALİTİK YÖNTEM

Örnek Hazırlama

İz element analizleri için örnekler 50 µm kalınlığında parlatılmış ince kesit (1184, 1202) ve epoksi içine gömülmüş rutil taneleri (1130, 1301) şeklinde hazırlanmıştır. Lazer aşındırma analizleri için analiz yapılacak noktaların belirlenebilmesi için fotoğraflar çekilmiştir. Çekilen bu fotoğraflar lazer aşındırma cihazının örnek yerleştirme haznesi içerisindeki örneklerle yönlendirilmesi yapılmıştır. Bununla birlikte meta-gabrolar içerisindeki rutil taneleri (1130, 1301) kırma, eleme, ağır sıvı, manyetik ayırıcı ve binoküler mikroskop altında ayırma ile zenginleştirilmiştir. Bu rutil taneleri iz element analizleri için epoksi içerisine gömülmüş ve parlatılmıştır. Rutil tanelerinin epoksi içerisindeki konumlarının saptanabilmesi için alttan ve üstten aydınlatmalı mikroskopta görüntüleri çekilmiştir. Görüntü ve mineral (BSE) analizleri Göteborg Üniversitesi'nde Hitachi S-3400N taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak rutil-kuvars içerisindeki kapanımları tanımlamak ve iz element analizleri için en uygun analiz yerlerini seçmek amacıyla yapılmıştır. Elektron mikroskobunda görüntüleme sırasında analiz koşulları 20kV ve 6.04 nA olarak ayarlanmıştır. Örnekler BSE-SEM analizleri öncesinde karbonla kaplanmıştır. Analizden sonra ise 1µm alüminyum oksit (Al₂O₃) tozuyla karbonla kaplanmış örneğin karbonunun çıkarılması ve daha sonra örneğin ultrasonik temizleme banyosunda 5 dakika kalıp tamamen temizlenmesi sağlanmıştır. En son olarak örnek lazer aşındırma cihazının örnek yerleştirme haznesine yerleştirmeden önce etanolla ıslatılmış bir peçeteye örneğin yüzeyinin tamamen temizlenmesi yapılmıştır.

LA-ICP-MS Analizleri

Rutil ve kuvars iz element analizleri Göteborg Üniversitesi'nin (İsveç) yer bilimleri bölümünde bulunan epoksi içine gömülmüş rutiller ve parlatılmış ince kesitler üzerinde yapılmıştır. Bütün örnekler Agilent 8800 QQQ dört kutuplu ICP-MS'e monte edilmiş New Wave NWR 213 LA (laser ablation) ile analiz edilmiştir. Sistemde taşıyıcı gaz olarak He-Ar gazı kullanılmıştır. Helyum gazı örneklerin bulunduğu örnek tutucudan lazer ile aşındırılmış örnek partiküllerini taşır ve taşıyıcı gaz olarak Argon ve hassasiyeti artırmak için ilave gaz olarak Nitrojen ile karışarak ICP-MS'in ısı kaynağına doğru akar. Helyum aşındırma kabına yaklaşık olarak dakikada 1 ml hızla akar. Helyum aynı zamanda aşınma yüzeyinde birikmeyi önleyerek hassasiyeti artırır ve partiküllerin boyu nedeniyle parçalanmayı azaltır (Eggins vd. 1998).

Analizden önce hem parlatılmış ince kesitler hem de epoksi içine gömülmüş rutiller örnek tutucu içerisinde yerleştirilmiştir. Rutilin iz elementleri ~7.7 J/cm² lazer enerjisinde 12 µm çapında lazer ışını kullanılarak analiz edilmiştir. Bu sırada tekrarlama oranı 5 Hz olarak ayarlanmıştır. Her bir analiz noktası için 60 saniye aralıklarla sinyaller kaydedilmiştir. İlk 20 saniye lazerin ısınması sırasında geri planın analiz edilmesi için kullanılmıştır. İzleyen 30 saniyelik bekleme süresinde lazerin rutili aşındırmasıyla örneğin analiz edilmesi için kullanılmıştır. Son 10 saniye ise temizleme için kullanılmıştır. ²⁷Al, ⁵¹V, ⁵³Cr, ⁵⁷Fe, ¹⁷⁸Hf, ¹⁸¹Ta, ²³²Th (10 ms bekleme süresi), ⁴⁹Ti, ⁹³Nb (5 ms bekleme süresi) ve ⁹⁰Zr, ²³⁸U (30 ms bekleme süresi) elementleri rutil içerisindeki iz element konsantrasyonlarının belirlenebilmesi için seçilmiştir. Her analiz bloğu iki adet R10 rutil standart analizi ve iki adet NIST SRM 610 cam standardı analizinden oluşmaktadır. Her onbeş rutil analizinden sonra dört standart analizi yapılmıştır. ⁴⁹Ti olarak ölçülen titanyum (Ti) bütün

analizler için iç standart elementi olarak ve ⁹⁰Zr rutil içerisindeki Zr konsantrasyonunu saptamak için kullanılmıştır. Cam referans materyali NIST SRM 610 (Jochum vd. 2006) ve R10 rutil standardı (Luvizotto vd. 2009) dış kalibrasyonu oluşturmaktadır. Kuvarsın iz element analizleri ise ~ 30 J/cm² lazer enerjisinde 50 µm çapında lazer ışını kullanılarak analiz edilmiştir. Tekrarlanma oranı ise 4 Hz olarak kalibre edilmiştir. Toplam analiz zamanı 50 saniye olarak belirlenmiştir. İlk 10 saniye lazer aşındırmasından önce lazerin ısınması sırasında geri planın analiz edilmesi için kullanılmıştır. Sonraki 30 saniyelik sürede ise lazerin kuvarsa aşındırmasıyla örneğin analiz edilmesi için kullanılmıştır. Son 10 saniye ise cihazın bir sonraki analize hazır olabilmesi amacıyla temizleme için ayrılmıştır. ⁷Li (09 ms bekleme süresi), ²³Na (11 ms bekleme süresi), ²⁴Mg, ²⁷Al, ²⁸Si, ⁴⁸Ti, ⁴⁹Ti (12 ms bekleme süresi), ⁵⁵Mn, ⁵⁶Fe, ⁵⁷Fe, ⁷¹Ga, ⁷²Ge (13 ms bekleme süresi) elementleri kuvars içerisindeki iz element konsantrasyonlarının belirlenebilmesi için cihaza tanımlanmıştır. Birinci standard olarak iki adet NIST SRM 610 (Jochum vd. 2006) cam standardı kullanılmıştır. İkinci standard olarak iki adet BCR-2G (doğal bazaltik cam standardı) (Wilson, 1997) seçilmiştir. Standardlar her 10 analizden sonra tekrar analiz edilmiştir. ²⁸Si bütün analizler için iç standart element olarak kullanılmıştır. Beş farklı Ti izotopu (⁴⁶⁻⁵⁰Ti) vardır. Kuvarsın matriksi lazere maruz kaldığında bir saçılma meydana gelir. Bu saçılma sırasında Ti izotoplarında bir karışma olur ve Si izotoplarının oksitlerine dağılır. Bu durumdan en az ⁴⁹Ti izotopu etkilenmektedir. Bu yüzden analizlerde ⁴⁹Ti izotopu değerleri kullanılmıştır. Element konsantrasyonları GLITTER 4.4.4 programı kullanarak saptanmıştır (On-line olarak analiz sırasında LA-ICPMS için veri düzeltmesi, van Achterbergh et al. 2000). Bu program ⁷Li, ²³Na, ²⁸Si, ⁴⁸Ti, ⁴⁹Ti, ⁵¹V, ⁵³Cr, ⁵⁵Mn, ⁵⁶Fe, ⁵⁷Fe, ⁷¹Ga, ⁷²Ge, ⁹⁰Zr, ⁹³Nb, ⁹⁵Mo, ¹¹⁸Sn, ¹²¹Sb,

¹⁷⁸Hf, ¹⁸¹Ta, ¹⁸²W, ²⁰⁸Pb, ²³²Th, ²³⁸U izotoplarının ölçülmesine dayalıdır. Veri düzeltmesi sırasında titanyum içeriği 100 wt% TiO₂ ve silisyum içeriği ise 100 wt% SiO₂ olarak kabul edilmiştir.

ANALİZ SONUÇLARI

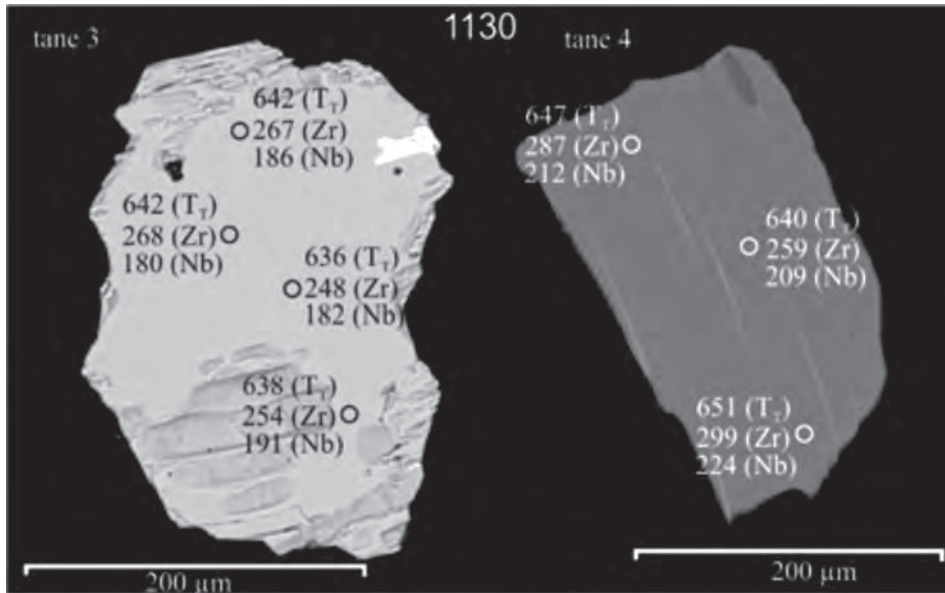
Rutilin İz Element Bileşimi

Rutil tanelerinin iz element konsantrasyonları Çizelge 1'de verilmektedir. Analiz edilen örneklerde dokusal olarak üç farklı tipte rutil bulunmaktadır. Örneklerde (1184, 1202) en yaygın olanı matriks içerisinde bulunan rutil olup bu rutilin tane boyu 80 µm ile 90 µm arasında değişmektedir. Rutil kapanım olarak granat (tane boyu 20-40 µm) ve klinopiroksen (tane boyu 10-20 µm) içerisinde bulunur. Ayrıca ofiyolitik meta-gabrolardan (1130, 1301) ayırt edilen büyük rutil tanelerinin boyutları 100 µm ile 300 µm arasındadır. Meta-gabrolar içerisinde dokusal olarak farklı rutil tipleri ve içerdiği Zr konsantrasyonları Çizelge 2 de özetlenmiştir. Bütün porfiroblastik granat taneleri küçük çatlaklar içerir ve bu çatlaklarda klorit, epidot, biyotit gibi ikincil mineraller bulunmaktadır. Bu çatlaklar geri dönüşüm sırasında iz elementlerin iletilmesi için olası yolları oluşturmaktadır. 1130 nolu örnekten ayırt edilen rutil tanelerinin Zr ve Hf içerikleri sırasıyla 176-352 ppm ve 8-14 ppm arasında değişmektedir. Nb ve Ta içerikleri ise sırasıyla 120-363 ppm ve 8-28 ppm arasında değerlere sahiptir. 1184 nolu örnek içerisindeki Zr ve Hf konsantrasyonları sırasıyla 289-428 ppm ve 10-18 ppm arasındadır. Nb ve Ta içerikleri ise sırasıyla 748-811 ppm ve 39-49 ppm arasındadır. 1202 nolu örneğin Zr ve Hf içerikleri sırasıyla 250-302 ppm ve 9-11 ppm arasında değişmektedir. Nb ve Ta konsantrasyonları sırasıyla 721-779 ppm ve 62-73 ppm arasındadır. 1301 nolu örnekten ayırt edilen rutil tanelerinin Zr ve Hf içerikleri sırasıyla

176-399 ppm ve 8-15 ppm arasında değerlere sahiptir. Rutil içerisindeki Nb ve Ta içerikleri sırasıyla 125-336 ppm ve 7-18 ppm arasındadır. Meta-gabro örnekleri içerisindeki rutil tanelerinin V ve Cr içerikleri 704-1238 ppm ve 1131-3620 ppm arasında değişmektedir. Buna karşın 1202 nolu örnekteki rutil tanesi en yüksek Fe içeriğine (6816 ppm) sahiptir.

Rutil tanelerinin geri saçınımlı elektron mikroskobu (BSE) görüntüleri rutiller içerisinde sistematik bir bileşimsel zonlanmanın olmadığını göstermektedir. Rutil taneleri üzerinde birden

fazla nokta analizleri yapılmıştır ve bu analizlerde genellikle Zr dağılımı homojendir (Şekil 5). Bununla birlikte rutillerin bazı yerlerinde, kenar kesimleri Zr'ca daha zengindir (Şekil 5a, b). Zr'ca zengin fazlar rutil tanelerinde Zr konsantrasyonlarının değişmesine neden olmaktadır. Önceden var olan ilmenit gibi Zr'ca zengin mineralin rutil tarafından yer değiştirmesi rutil içerisinde Zr'ca zengin fazların oluşumunu açıklayabilmektedir (Austrheim vd. 2008; Meyer vd. 2011).



Şekil 5. Çoklu analiz için kullanılan 1130 nolu örnekteki rutil tanelerinin (tane 3 ve tane 4) elektron mikroskobu görüntüleri, a, b) rutil taneleri homojen Zr içeriğine sahiptir fakat kenar kesimlerinde az da olsa Zr zenginleşmektedir. Rutil içerisinde ilmenit oluşumları bulunmaktadır. Daireler analiz yapılan yerleri göstermektedir. Rakamlar °C cinsinden sıcaklığı göstermekte ve Zr-Nb içerikleri ppm cinsinden verilmektedir. Hesaplanan sıcaklıklar Zr'un rutil içerisinde homojen dağılımını göstermekte ve 636-651 °C arasında değişmektedir.

Figure 5. BSE images of rutile from sample 1130 (grain 3 and grain 4) used for multiple measurements, a, b) Rutile grain with homogeneous Zr content throughout the grain but the rim is slightly enriched in Zr content. Ilmenite needles occur in rutile. Circles mark the location of the spots analysed. The numbers give T_r in °C and the contents of Zr and Nb in ppm. Calculated temperatures vary from 636 to 651 °C indicating a homogenous distribution of Zr-in-rutile.

Çizelge 1. Rutilin LA-ICPMS ile saptanan iz element konsantrasyonları ve rutil değerleriyle hesaplanan sıcaklıklar
Table 1. LA-ICPMS trace element concentrations and estimated temperatures of rutile by Zr-in-rutile thermometry

Element (ppm) Örnek no	Tane no	V	Cr	Fe	W	Zr	Nb	Hf	Ta	Nb/Ta	Zr/Hf	T1	T2	T3	T4
1130	3	903	3162	1869	21	267	186	8	8	23	32	704	633	634	637
	3	903	2988	1655	19	268	180	9	9	20	30	704	633	634	637
	3	914	2854	1642	18	248	182	8	11	17	30	695	627	628	632
	3	927	2770	1885	29	254	191	8	11	17	31	698	629	630	633
	2	1013	2914	2013	41	305	218	10	11	19	30	721	644	645	647
	1	971	3282	1954	24	313	216	10	12	18	32	725	646	647	650
	5	1129	2349	2525	69	314	326	10	26	13	33	725	646	647	650
	4	843	2287	1433	21	287	212	14	11	19	20	713	639	640	643
	4	848	2282	2631	26	259	209	12	11	18	23	700	631	632	635
	4	876	2383	1710	24	299	224	12	12	19	26	718	642	643	646
	14	938	3472	2030	29	292	216	11	12	18	27	715	640	641	644
	14	940	3525	2729	27	302	202	10	11	18	30	720	643	644	647
	11	949	2688	2959	32	266	228	9	12	19	29	704	633	634	637
	10	957	2710	2294	25	286	234	10	14	16	27	713	639	640	642
	9	1238	2188	1662	51	176	363	8	28	13	23	651	601	602	606
	8	876	1777	1253	56	237	228	9	18	13	26	689	624	625	628
	13	919	2745	1376	17	285	120	9	8	15	32	712	638	639	642
	12	1069	1674	2182	20	274	223	8	18	12	33	707	635	636	639
15	1027	3620	2017	36	352	200	12	14	14	30	739	656	656	659	
											Ort	708	636	637	640
1184	21	1140	1167	2911	22	323	811	11	45	18	29	728	648	649	652
	22	793	2169	1485	212	289	765	12	49	16	24	714	639	640	643
	23	1126	1171	2525	10	428	748	18	40	19	24	764	672	673	675
	25	1297	1226	1041	33	327	796	10	41	19	33	741	657	658	660
	26	704	1892	1516	41	378	802	16	46	17	24	748	662	662	664
	27	817	1658	1467	30	321	759	10	40	19	32	753	665	665	667
	30	813	2140	1476	32	420	754	14	39	19	30	762	671	671	673
												Ort	745	659	660
1202	45	1104	3437	6816	85	302	779	11	73	11	27	720	643	644	647
	46	710	3355	2464	93	250	721	9	62	12	27	695	628	629	632
	47	926	2878	2620	66	278	748	10	64	12	28	709	636	637	640
	48	758	3216	2854	69	274	760	11	69	11	25	707	635	636	639
												Ort	708	635	636
1301	50	1213	1380	1784	25	381	176	13	8	22	30	750	662	663	665
	51	939	1444	2065	57	176	258	9	17	15	20	650	601	602	606
	52	959	2396	2883	31	333	336	14	18	19	23	732	651	652	654
	53	1191	1590	2099	103	301	248	10	18	14	30	719	643	644	646
	54	889	2932	2533	15	209	125	8	7	18	26	673	614	615	619
	55	836	1131	2820	19	340	226	15	18	13	23	735	653	654	656
	56	1119	1917	2158	44	236	210	10	10	21	24	689	623	625	628
	57	943	2368	2049	35	399	306	13	16	19	31	755	666	667	669
											Ort	717	641	642	643

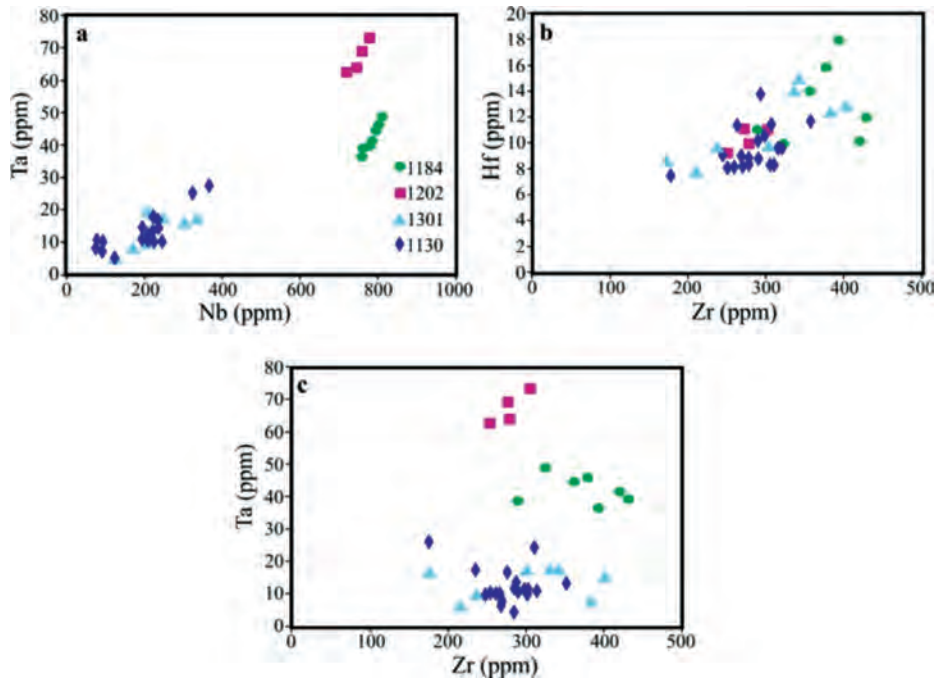
1, 2, 3, 4 sıcaklıklar sırasıyla Zack vd. (2004), Watson vd. (2006), Ferry ve Watson (2007), ve 9 kbar basınçta Tomkins vd. (2007)

Çizelge 2. Dokusal olarak farklı tipte bulunan rutil tanelerinin Zr konsantrasyonları

Table 2. Zr concentrations in different textural positions of rutile grains.

Örnek	1184	1202
	Zr (ppm)	Zr (ppm)
Rt _{matris}	357	250
	378	274
	391	
Rt _{kapım} (granat)	420	302
	428	278
Rt _{kapım} (klinopiroksen)	289	
	323	

Element oranlarının ve içeriklerinin yayılımı örnekten örneğe değişmektedir. Nb ve Ta elementlerindeki değişim Zr ve Hf elementlerindeki değişime oranla daha belirgindir. Nb ve Ta pozitif korelasyon sunmaktadır (Şekil 6a). Zr ve Hf ise daha az belirgin pozitif korelasyon göstermektedir (Şekil 6b). Diğer yandan Ta ve Zr iki örnekte (1202, 1130) pozitif korelasyon gösterirken 1184 nolu örnek ise negatif korelasyon sunmaktadır (Şekil 6c). 1301 nolu örnek ise saçılmıştır.

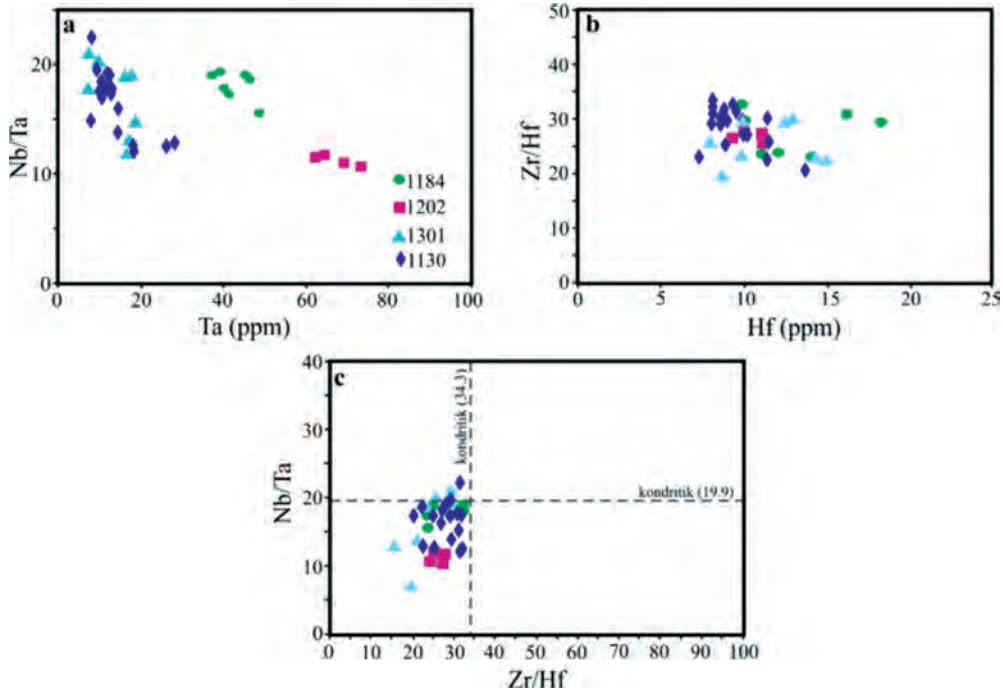


Şekil 6. Kazdağ Masifi'ndeki ofiyolitik meta-gabrolar içerisindeki rutilerin yüksek alan gücüne sahip konsantrasyonlarının değişimini gösteren diyagramlar. Noktalar her bir analizi ifade etmektedir. a, b) kuvvetli pozitif korelasyonu gösteren Nb-Ta diyagramı, b) daha az belirgin pozitif korelasyonu gösteren Zr-Hf diyagramı, c) bir örnek dışında (1202) negatif korelasyonu gösteren Zr-Ta diyagramı.

Figure 6. Results for HFSE concentrations of rutile from ophiolitic meta-gabbros in the Kazdağ Massif. Points refer to individual analyses. a) Nb versus Ta indicating a strong positive correlation, b) Zr versus Hf also show positive correlation, but less distinctly, c) Zr versus Ta showing negative correlation except one sample (1202).

Ta ve Hf konsantrasyonlarında azalma gözlenirken Nb/Ta ve Zr/Hf oranları artış göstermektedir (Şekil 7a, b). Rutil bileşimleri genellikle 11-19 arasında değişen subkondritik Nb/Ta değerlerine (kondritik değer 19.9, Münker vd. 2003) ve 20-33 arasında değişen Zr/Hf değerlerine (kondritik değer 34.3 ± 0.3 , Münker vd. 2003) sahiptir (Şekil 7c). Bununla birlikte 1301 nolu ve 1130 nolu örnekten iki rutil tanesi suprakondritik Nb/Ta ve Zr/Hf değerlerine sahiptir.

Rutil tanelerinin Zr içerikleri 176 ppm ile 428 ppm arasında değişmektedir. Rutil sıcaklıkları Zack vd. (2004), Watson vd. (2006), Ferry ve Watson (2007), ve Tomkins vd. (2007) tarafından geliştirilen Zr içeriklerine bağlı rutil termometreleriyle hesaplanmıştır. Zack vd. (2004) tarafından önerilen kalibrasyon 708-745 °C (ortalama 720 °C) rutil sıcaklıkları vermektedir. Bu sıcaklık değerleri diğer kalibrasyonlarla elde edilen sıcaklık değerlerinden daha yüksektir. Watson vd. (2006) tarafından önerilen kalibrasyon



Şekil 7. Element oranlarını gösteren diyagramlar. Noktalar her bir analizi ifade etmektedir. a) Ta-Nb/Ta diyagramı, b) Hf-Zr/Hf diyagramı, c) Zr/Hf-Nb/Ta diyagramı. Rutilin Nb/Ta ve Zr/Hf oranları genellikle subkondritiktir. Kesikli çizgiler Nb/Ta ve Zr/Hf için kondritik değerleri ifade etmektedir (Münker vd. 2003).

Figure 7. Element ratio plots. Points represent individual analyses. (A) Ta versus Nb/Ta. (B) Hf versus Zr/Hf. (C) Zr/Hf versus Nb/Ta diagram. Generally Nb/Ta and Zr/Hf of rutile are subchondritic. Dashed lines refer to chondritic values for Nb/Ta and Zr/Hf (Münker et al. 2003).

Rutil Termometresi ve Klasik Jeotermobarometre

Ofiyolitik meta-gabroların Zr konsantrasyonları ve bununla ilişkili olarak rutil termometresinden elde edilen sıcaklıklar Çizelge 1'de verilmektedir.

kullanılarak hesaplanan sıcaklıklar 635 °C ile 659 °C arasında (ortalama 643 °C) değişmektedir. Ferry ve Watson (2007) kalibrasyonu ile elde edilen rutil sıcaklıkları 636-660 °C (ortalama 644 °C) arasındadır. Watson vd. (2006) ve Ferry ve

Watson (2007) termometrelerinden hesaplanan sıcaklıklar birbirine benzerdir. Tomkins vd. (2007) tarafından önerilen rutil termometresi ise basınca bağımlıdır. Bu kalibrasyonda basınç değeri olarak daha önce klasik yöntemlerle hesaplanmış olan basınç değeri kullanılmıştır. Buna göre granat-biyotit Fe-Mg değişim termometresi (Ferry ve Spear, 1978) ve granat-plajyoklas-hornblend-kuars jeobarometresiyle (Kohn ve Spear, 1990) meta-gabrolar için basınç-sıcaklık değerleri 9 kbar ve 665 ± 25 °C olarak hesaplanmıştır (Şengün ve Zack, 2016). 9 kbar basınçta Tomkins vd. (2007) tarafından önerilen rutil termometresi 639-662 °C (ortalama 646 °C) arasında değişen sıcaklıklar vermiştir.

Kuars Termometresi

Kuarsın iz element analizleri ve TitaniQ termometresiyle hesaplanan sıcaklık değerleri Çizelge 3 de verilmiştir. 1184 nolu örnek içerisindeki kuarsın Ti içeriği 36-42 ppm arasında değişmektedir. Buna karşın 1202 nolu örnekteki kuarsın Ti içeriği ise 28 ppm ile 35 ppm arasındadır. Kuarsın kristalizasyon sıcaklıkları kuarsın Ti içeriğine göre geliştirilen TitaniQ termometresiyle hesaplanmıştır. Bu termometrede her fazdaki rutil dengesi ve Ti aktivitesini dikkate alınmaktadır. Kuars sıcaklıkları Wark ve Watson (2006) tarafından geliştirilen kuars termometresine göre 623-645 °C (ortalama 634 °C) arasında değişmektedir. Bu sıcaklık değerleri kuarsın kristalizasyon sıcaklıklarını ifade etmektedir. Bununla birlikte Thomas vd. (2010) tarafından geliştirilen kalibrasyon basıncın kuars içerisindeki Ti üzerine etkisini dikkate almıştır. Buna göre ofiyolitik meta-gabroların basınç-sıcaklık değerleri sınırlandırılmaktadır (Şekil 8). Ortalama Zr ve Ti değerleri sırasıyla 335 ppm ve 36 ppm dir. Şekil 8'de kuarsın Ti içerikleri ve rutilin Zr içeriklerine ait eş değer eğrileri basınç-

sıcaklık diyagramına aktarılmıştır. Ofiyolitik meta-gabro örneklerinin basınç-sıcaklık değerleri kuarsın Ti içeriğine ait eş değer eğrisi ile rutilin Zr içeriğine ait eş değer eğrisinin kesişmesinden elde edilmiştir. Buna göre Thomas vd. (2010) kalibrasyonu kullanılarak hazırlanan basınç-sıcaklık diyagramında ofiyolitik meta-gabroların kristalizasyon koşulları 10 kbar ve 660 °C olarak saptanmıştır.

Çizelge 3. Kuarsın LA-ICPMS ile saptanan iz element konsantrasyonları ve Ti değerleriyle hesaplanan sıcaklıklar

Table 3. LA-ICPMS trace element concentrations and estimated temperatures of quartz by Ti-in-quartz thermometry

Element (ppm)	Tane no	Li	Na	Mg	Al	Ti	Mn	Fe	T1 (°C)
	Örnek no								
	1184	5	22	20	27	41	1	16	650
		3	20	13	43	36	3	61	638
		5	9	16	46	38	1	7	643
		4	9	27	54	39	1	19	646
		3	12	12	31	40	1	4	648
		4	8	22	98	42	1	40	653
		4	14	28	26	38	1	32	643
		4	15	19	61	36	1	54	638
		3	8	14	50	39	1	22	646
									Ort 645
	1202	4	9	7	78	30	1	90	621
		5	22	7	39	33	2	91	624
		5	11	2	67	32	1	60	627
		4	7	9	42	28	2	84	608
		5	8	6	47	34	3	51	633
		7	9	1	32	35	1	61	624
									Ort 623

1 Sıcaklıklar Wark ve Watson (2006) kalibrasyonuna göre hesaplanmıştır

TARTIŞMA

Rutilin İz Element Bileşimi

Rutil içerisindeki Nb ve Ta toplam kayanın Nb ve Ta içeriklerinin büyük bir kısmını oluşturmakta ve rutilin Nb/Ta oranı toplam kayanın Nb/Ta oranıyla benzerdir. Ofiyolitik meta-gabro örnekleri içerisindeki rutil taneleri yüksek oranda Nb (180-811 ppm), Ta (8-73 ppm), Zr (176-428 ppm), Hf (8-18 ppm) ve W (10-103 ppm) gibi yüksek alan gücüne sahip element içeriklerine sahiptir. Aynı zamanda V (704-1238 ppm) ve Cr (1131-3620 ppm) gibi yüksek oranda geçiş metal elementleri içerirler. Diğer iz elementleri ise ya düşük konsantrasyonda ya da sınır değerlerin altındadır. Bununla birlikte 1202 nolu örnek içerisindeki bir rutil tanesi en yüksek Fe içeriğine (6816 ppm) sahiptir. Yüksek Fe içeriği olasılıkla rutil içerisinde bulunan ince ilmenit şeklinde mineral kapanımlarından ya da demir oksit lamellerinden kaynaklanmaktadır. 1184 ve 1202 nolu meta-gabro örnekleri en yüksek Nb ve Ta içeriklerine sahiptir. Buna karşın 1130 ve 1301 nolu meta-gabro örnekleri ise en düşük Nb ve Ta konsantrasyonları içermektedir (Çizelge 1, Şekil 6a). Bu da daha yüksek Ti içerikli minerallerin benzer iyon yarıçapı ve Nb, Ta ve Ti'un benzer değerliğe sahip olması nedeniyle Nb, Ta elementlerinin davranışı üzerine daha büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Hornig ve Hess, 2000; Schmidt vd. 2004).

Rutil tanelerinin kenar ve çekirdeklerindeki Nb/Ta oranları bir örnekte birbirinden farklıdır. 1130 nolu örnekteki rutil tanelerinin çekirdekleri genellikle daha düşük Nb/Ta oranlarıyla (17-18) karakterize olurken kenar kesimleri göreceli olarak daha yüksek Nb/Ta oranlarına (19-23) sahiptir. Rutil tanelerinin daha yüksek Nb/Ta oranlarına sahip kenar kesimlerinde Nb ve Ta'un zenginleşmesi biyotit gibi sulu minerallerin bozulmasından kaynaklanabilmektedir (Stepanov ve Hermann,

2013). Deneysel verilere dayanarak rutil içindeki Nb ve Ta'un bölünme katsayılarında D_{Nb} daima yitim süreçlerinde D_{Ta} 'dan daha düşüktür (Schmidt vd. 2004; Klemme vd. 2005). Deneysel çalışmalar rutil ve akışkan/ergiyik arasında Nb ve Ta'un ayrılmasının $D_{Nb/Ta} > 1$ 'den büyük olduğunu göstermektedir (örn. Brenan vd. 1994; Stalder vd. 1998; Xiong vd. 2005; Xiao vd. 2006). Eğer rutil ergiyik ile dengedeysse bu rutilin başlangıçtaki büyümesinde düşük Nb/Ta oranlarına neden olmaktadır (Schmidt vd. 2009). Bu yüzden Nb/Ta farklılaşması rutilin gelişimi sırasında rutil içerisindeki Nb ve Ta'un birbiriyle uyumunu belirtmektedir. Bu durum yitim zonlarındaki metamorfik dehidrasyon sırasında Nb/Ta farklılaşmasının temel sonucu olabilmektedir. Akışkan hareketliliği akışkan ve rutil arasında Nb ve Ta'un ayrılmasında etkili rol oynamaktadır.

Nb/Ta ve Zr/Hf pozitif korelasyon sunmaktadır. Kıtasal kabuk, volkanik kayalar, okyanus bazaltları ve ada yayları subkondritik Nb/Ta oranlarıyla karakterize olmaktadır (Green, 1995; Rudnick vd. 2000; Foley vd. 2002; Schmidt vd. 2009). Subkondritik Nb/Ta oranları orta-yüksek dereceli metamorfik bölgelerdeki (örn. Meyer vd. 2011; Luvizotto ve Zack, 2009; Ewing vd. 2013) ve yüksek basınç metamorfik bölgelerindeki rutillerde bulunmaktadır (Xiao vd. 2006; John vd. 2011; Huang vd. 2012). Nb/Ta ve Zr/Hf oranları Ta ve Hf içeriklerindeki azalmayla artma eğilimi göstermektedir (Şekil 7a, b). Bu nedenle Ta içeriği azalırken Nb/Ta oranının artması yitim zonlarındaki metamorfik dehidrasyonun rutil Nb/Ta ayrılmasında üzerine etkisine bağlanabilmektedir (Schmidt vd. 2009; Gao vd. 2014). Dehidrasyon metamorfizması yitim süreçlerinde rutil oluşumu için yaygın bir mekanizmadır. Nb ve Ta aynı oksidasyon evresine ve benzer iyon yarıçaplarına sahip olduklarından dolayı kabuk-manto ayrılma sisteminde

jeokimyasal süreçler sırasında birleşik olarak bulunurlar. Bununla birlikte kütlelerinde önemli bir fark vardır ve bu da jeokimyasal süreçler sırasında Nb/Ta ayırılmasının potansiyel nedenini oluşturmaktadır.

Rutilin iz element analizleri rutil tanelerinin metamorfik akışkanlardan itibaren geliştiğini göstermektedir. Yitim zonlarında üç tip jeoakışkan vardır. Bunlar; sulu ergiyik, sulu çözelti ve süper kritik akışkandır. Bunlar iz elementlerin çözünmesinde ve taşınmasında farklı roller oynamaktadır (Hermann vd. 2006; Zheng vd. 2011). Genellikle hafif nadir toprak elementleri ve orta nadir toprak elementleri gibi suda çözülmeyen uyumsuz iz elementler sulu ergiyik vasıtasıyla düşük iyonlu litofil elementlerle birlikte çözülebilmekte ve taşınabilmektedir. Düşük iyonlu litofil elementleri gibi suda çözülebilir uyumsuz iz elementler sulu çözeltiler içinde hareketlidir. Ağır nadir toprak elementleri ve yüksek alan gücüne sahip elementler gibi uyumsuz elementler yitim zonlarında amfibolit-yüksek basınç metamorfizma koşulları altında süperkritik akışkanla çözülebilmekte ve taşınabilmektedir (örn. Tatsumi ve Nakamura, 1986; Scambelluri vd. 2001; John vd. 2004; Hermann vd. 2006; Xia vd. 2010; Zheng vd. 2011; Gao vd. 2014). Ayrıca okyanusal kabuğun yitimi ve yüzeylenmesi sırasında farklı bileşimde metamorfik akışkanlardan rutil gelişebilmektedir. Bunun nedeni ise sulu minerallerin bozulması ve sulu minerallerin bozulması da orta-yüksek dereceli metamorfik kayalarda sulu çözeltiler için baskın bir kaynak oluşturmaktadır.

Basınç-Sıcaklık Koşulları

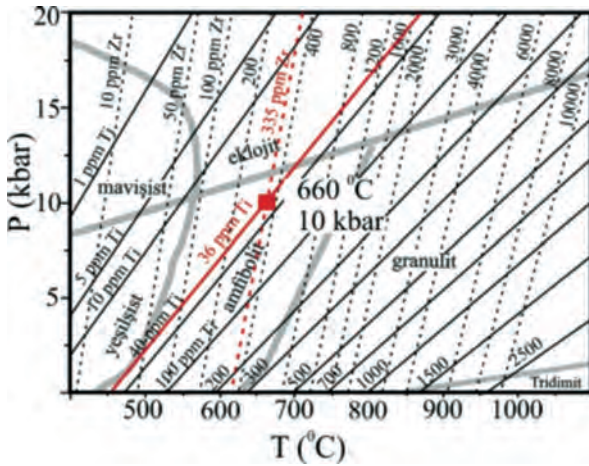
Kazdağ Masifi'nde yüzlek veren meta-ofiyolitik kayaların basınç-sıcaklık koşulları klasik jeotermobarometre kullanılarak 9 kbar ve

665±25 °C olarak saptanmıştır (Şengün ve Zack, 2016). Bununla birlikte zirkon termometresi klasik termometrelerle karşılaştırıldığında meta-ofiyolitik kayalar için daha kesin sıcaklık değerleri vermektedir. Sıcaklık hesaplamaları için zirkon termometresiyle ilgili Zack vd. (2004), Watson vd. (2006), Ferry ve Watson (2007), ve Tomkins vd. (2007) tarafından geliştirilen dört farklı kalibrasyon uygulanmıştır. Deneysel ve rutil-kuvars-zirkon topluluğuna sahip doğal örnekler dayalı olarak uygulanan bütün kalibrasyonlar Zack vd. (2004) kalibrasyonu dışında benzer sıcaklık aralıkları vermiştir (Şekil 9). Zack vd. (2004) tarafından geliştirilen rutil termometresi 708-745 °C arasında değişen rutil sıcaklıkları vermektedir. Bu sıcaklıklar diğer kalibrasyonlarla hesaplanan sıcaklık değerlerinden daha yüksektir (örn. Miller vd. 2007; Baldwin ve Brown, 2008; Meyer vd. 2011). Bu çalışmada bu kalibrasyonla hesaplanan sıcaklıklar bu gözlemi desteklemektedir. Daha sonra Watson vd. (2006), Ferry ve Watson (2007) ve Tomkins vd. (2007) tarafından geliştirilen termometreler daha geniş sıcaklık ve basınç aralıklarında daha doğru değerler vermektedir. Watson vd. (2006) rutil termometresi temel olarak deneysel ve doğal sonuçlara dayalıdır. Watson vd. (2006) tarafından önerilen kalibrasyon kullanılarak hesaplanan sıcaklıklar 635-659 °C arasında değişmektedir. Diğer yandan Ferry ve Watson (2007) deneysel çalışmalarında silika aktivitesinin rolünü tanımlamıştır. Rutil içerisindeki Zr konsantrasyonu sadece sıcaklığa bağımlı değildir aynı zamanda SiO₂'nin aktivitesine karşı son derece hassastır. Ferry ve Watson (2007) kalibrasyonu 636-660 °C sıcaklık değerleri vermektedir. Watson vd. (2006) ve Ferry ve Watson (2007) tarafından yapılan deneysel çalışmalar 10 kbar'lık benzer basınç koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden iki kalibrasyondan elde edilen sıcaklık sonuçları birbirleriyle benzerdir. Tomkins vd. (2007) tarafından önerilen

kaibrasyon basınç faktörünün de dikkate alındığı bir rutil termometresidir. Bu yüzden Tomkins vd. (2007) tarafından önerilen rutil termometresi orta-yüksek dereceli metamorfik kayalar için güvenilir bir termometredir ve klasik termometrelerden daha doğru sıcaklık değerleri vermektedir (örn. Spear vd. 2006; Miller vd. 2007; Luvizotto ve Zack, 2009). Ayrıca basınç düzeltmesinin önemi sadece daha yüksek basınçta metamorfizmaya uğramış kayalar için değil aynı zamanda daha düşük basınçta metamorfizmaya uğramış kayalar içinde ihmal edilmemelidir. 9 kbar basınçta Tomkins vd. (2007) tarafından önerilen rutil termometresi ofiyolitik meta-gabrolar için 639-662 °C (ortalama 646 °C) arasında değişen sıcaklıklar vermiştir.

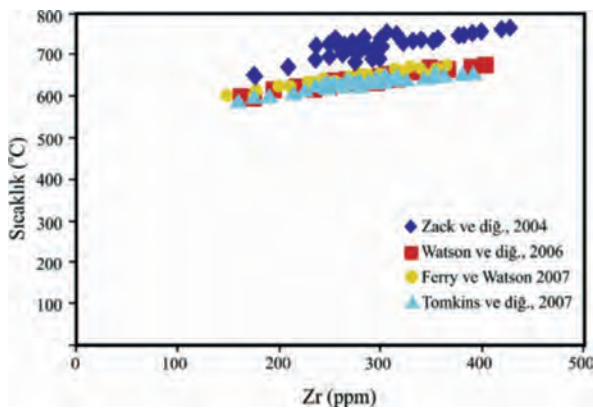
Çoğu metamorfik kaya kuvars ve rutil mineralleri içermektedir. Bu yüzden kuvarsın Ti içeriğinin basınç-sıcaklığa olan bağımlılığı rutil içerisindeki Zr'un basınç-sıcaklığa olan bağımlılığıyla birleştirildiğinde orta-yüksek dereceli metamorfik kayaların basınç-sıcaklığı hesaplanabilmektedir. Diğer yandan TitaniQ termometresinin basınca olan bağımlılığı meta-gabrolar için sağlam bir barometre oluşturmaktadır. Meta-ofiyolitik kayaların basınç-sıcaklık koşulları rutil içeren iki meta-gabro örneğindeki (1130 ve 1202 nolu örnekler) rutillerin Zr içerikleriyle aynı örneklerden elde edilen kuvarsın Ti analizleriyle saptanmıştır (Şekil 8). Meta-gabroların basınç-sıcaklık diyagramında kuvarsın Ti içeriği ile rutilin Zr içeriği eş değer eğrisi olarak aktarılmıştır. Kuvars ve rutil kristallerinin her ikisinin de maksimum metamorfizma koşullarında denge olduğu varsayılırsa eş değer eğrilerinin kesiştiği nokta ortalama basınç-sıcaklık değerlerini vermektedir. Buna göre Kazdağ Masifi'nde yüzlek veren meta-ofiyolitik kayalar için hesaplanan maksimum basınç-sıcaklık koşulları 10 kbar ve 660 °C olarak saptanmıştır. Bu basınç-sıcaklık koşulları Tomkins vd. (2007)

tarafından geliştirilen rutil termometresiyle ve klasik termometreyle elde edilen basınç-sıcaklık koşullarıyla uyumludur. TitaniQ termometresi diğer bütün termometrelere oranla daha sınırlı ve kesin sonuçlar vermektedir. Diğer yandan meta-ofiyolitik kayaların çevresinde bulunan felsik gnaysların klasik yöntemlerle hesaplanan basınç-sıcaklık koşulları 5 ± 1 kbar ve 640 ± 50 °C olarak saptanmıştır (Okay ve Satır, 2000). Bu basınç-sıcaklık koşulları Kazdağ Masifi'nde yüzlek veren metamorfik kayaların amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirdiğini göstermektedir. Rutil termometresi ve TitaniQ termometresiyle hesaplanan sıcaklık değerleri meta-ofiyolitik kayaların çevresinde bulunan orta-yüksek dereceli metamorfik kayaların klasik yöntemlerle hesaplanan sıcaklık değerleriyle uyumludur. Bununla birlikte ofiyolitik meta-gabroların basınç değerleri bu kayaların çevresinde bulunan orta-yüksek dereceli metamorfik kayaların basıncından daha yüksektir. Bu da meta-ofiyolitik kayaların Kazdağ Masifi içerisinde ayrı bir tektonik dilim olduğunu ve basınç hesaplamalarına göre yaklaşık 35 km de amfibolit fasiyesi metamorfizması geçirdiğini işaret etmektedir. Halbuki Kazdağ Masifi'nde yüzlek veren metamorfik kayalar yaklaşık 20 km de amfibolit fasiyesi metamorfizması geçirmiştir. Metamorfizma Neo-Tetis okyanusunun İzmir-Ankara kolunun kuzeye Sakarya Zonu altına dalmasından kaynaklanmaktadır. Metamorfizmanın hemen arkasından Kazdağ Masifi'nin orta-yüksek dereceli metamorfik kayaları kendi içerisinde çarpışma sırasında güneye doğru sıkışmayla birbiri üzerine bindirmiştir. Birbiri üzerine bindirmeler sırasında meta-ofiyolitik kayalar ayrı bir tektonik dilim olarak yerleşmiştir. Sakarya Zonu'nun Anatolid-Torid Bloğuyla çarpışması ve Kazdağ Masifi'nin içsel olarak birbiri üzerine bindirmeli yapı oluşturması kabukta gelişen bir kalınlaşmaya neden olmuştur.



Şekil 8. Kuvarşın Ti ve rutilin Zr içeriğine bağlı eş değer eğrilerinin Kazdağ Masifi'ndeki ofiyolitik meta-gabrolar için termobarometre olarak kullanılmasını gösteren diyagram. Yaklaşık metamorfik fasiyeler Spear (1993) ve Philpotts (1990) dan alınmıştır.

Figure 8. *Ti-in-quartz and Zr-in-rutile isopleths for usage as a thermobarometer to ophiolitic meta-gabbros in the Kazdağ Massif. Approximate metamorphic facies are generalized from Spear (1993) and Philpotts (1990).*



Şekil 9. Çeşitli kalibrasyonlar kullanarak rutil termometresiyle hesaplanan sıcaklık değişimlerinde gözlenen farklılık.

Figure 9. *Difference in calculated temperature range of the Zr-in-rutile thermometer using various calibrations.*

SONUÇLAR

Kuzeybatı Türkiye'de meta-ofiyolitik kayalar Biga Yarımadası'nın güney kesiminde yer alan Kazdağ Masifi'nde yüzlek vermektedir. Meta-ofiyolitik kayaların içerisinde baskın litolojiyi oluşturan meta-gabrolardan ayırt edilen rutil taneleri subkondritik Nb/Ta ve Zr/Hf oranlarıyla karakterize olmaktadır. Nb/Ta ve Zr/Hf oranları Nb ve Ta içeriklerinin azalmasıyla birlikte artmaktadır. Bu durum metamorfik dehidrasyonun rutilin Nb/Ta ayrışması üzerinde etkili olduğunu işaret etmektedir. Rutilin iz element analizleri rutilin metamorfik akışkanlardan itibaren geliştiğini ifade etmektedir. Yüksek Nb/Ta oranına sahip sulu akışkanlar yitimi uğramış okyanusal kabuğun yüzeylemesi sırasında biyotitin bozulması nedeniyle metamorfik dehidrasyon nedeniyle oluşmuştur. Diğer yandan rutil tanelerinin kenar kesimlerinde Nb ve Ta zenginleşmesi az da olsa Nb/Ta oranının artmasıyla sonuçlanmaktadır. Rutilin kenar kesimlerinde Nb ve Ta zenginleşmesi metamorfik akışkanlar içerisindeki suda çözölemeyen uyumsuz iz elementlerin yerel olarak zenginleşmesini göstermektedir. Bu iz elementlerin yüzeyleme sırasında süperkritik akışkanlardan ayrılan fazların ürünü olabilmektedir.

Kazdağ Masifi'nde yüzlek veren meta-ofiyolitik kayaların basınç ve sıcaklık koşullarının belirlenebilmesi için TitaniQ ve rutil termometresi kuvarş, rutil ve zirkon içeren meta-gabrolara uygulanmıştır. Sıcaklık hesaplamaları için dört farklı rutil termometresi kullanılmıştır. Basınç faktörünün etkili olduğu Tomkins vd. (2007) kalibrasyonu sadece metamorfizma sıcaklıklarının hesaplanması için seçilmiş en iyi termometredir. Kazdağ Masifi'nde yüzlek veren meta-ofiyolitik kayaların metamorfizma sıcaklığı Tomkins vd. (2007) tarafından önerilen rutil termometresi ile 9 kbar basınçta 639-662 °C (ortalama 646 °C) arasında değişen sıcaklıklar vermiştir.

Klasik yöntemlerle hesaplanan basınç değeri bu termometrede sıcaklık hesabında kullanılmıştır. Rutil termometresiyle TitaniQ termometresi birleştirildiğinde ofiyolitik meta-gabroların basınç-sıcaklık koşulları hesaplanmıştır. Kuvarsın Ti içeriğinin eş değer eğrileri ile rutilin Zr içeriğinin eş değer eğrileri karşılaştırıldığında elde edilen maksimum basınç-sıcaklık koşulları 10 kbar ve 660 °C olarak belirlenmiştir. TitaniQ termometresi kuvars ve rutil içeren orta-yüksek dereceli metamorfik kayaların basınç-sıcaklık koşullarının saptanabilmesi için güvenilir ve ideal bir termobarometredir. Meta-ofiyolitik kayaların basınç-sıcaklık koşulları bu kayaların Kazdağ Masifi içerisinde daha yüksek basınçlı ayrı bir tektonik dilim olduğunu ve yaklaşık 35 km de amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirdiğini ifade etmektedir. Metamorfizma Neo-Tetis okyanusuna ait İzmir-Ankara kolunun kuzeye doğru Sakarya Zonu altına dalması nedeniyle meydana gelmiştir. Bu da K-G yönlü bir sıkışmaya ve Kazdağ Masifi'nin içyapısının birbiri üzerine bindirmesine neden olmuştur. Birbiri üzerine bindirme muhtemelen Kazdağ Masifi'nin yüzeylenmesi ve kalınlaşmasının ana nedeni olmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma 114Y834 nolu TÜBİTAK projesi ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından FBA-2014-67 nolu proje ile desteklenmiştir. LA-ICPMS analizleri ve bu analizlerin yorumlanmasında yardımlarından dolayı Dr. Thomas Zack'a teşekkür ederim.

EXTENDED SUMMARY

In northwest Turkey, The Kazdağ Massif lies in the Sakarya Zone and is located in the south of the Biga

Peninsula. The Kazdağ Massif structurally forms a NE-SW – plunging anticlinorium of medium to high-grade metamorphic rocks representing the deepest section of continental crust exposed in northwest Turkey (Schuiling 1959; Bingöl 1969; Okay et al. 1991; Okay and Satır 2000; Duru et al. 2004). The medium-grade metamorphic basement rocks of the Kazdağ Massif are mainly composed of felsic gneisses, amphibolite, marble and meta-ophiolitic rocks at the basal – middle part of the massif, and metagranite associated migmatite, amphibolite, and marble intercalations at the top (e.g. Okay et al. 1991; Duru et al. 2004; Erdoğan et al. 2013; Yiğitbaş et al. 2014). The meta-ophiolitic rocks of the Kazdağ Massif occur in the core of the anticlinorium enveloped by a marble-rich sequence, which passes up to felsic gneisses with migmatite, marble and amphibolite (Bingöl 1969; Pickett and Robertson 1996; Okay and Satır 2000; Duru et al. 2004; Erdoğan et al. 2013). The meta-ophiolitic rocks, a typical oceanic assemblage, consist of meta-ultramafic rocks and dark-green coloured, banded meta-gabbro. The meta-ultramafic rocks are dominated by massive meta-pyroxenite and meta-dunite that is partly serpentinized. The meta-gabbros are generally foliated and their primary texture is widely preserved. This unit is tectonically overlain by a marble-gneiss sequence (Duru et al. 2004; Yiğitbaş et al. 2014).

Trace element composition of rutile and quartz was determined for meta-gabbros from the meta-ophiolitic rocks in the Kazdağ Massif by LA-ICP-MS. Rutile (TiO₂) is an important accessory mineral in a variety of magmatic and metamorphic rocks and commonly found in medium to high-grade metamorphic rocks from oceanic and continental subduction zones. Rutile is also a major titanium-bearing phase that carries the high field strength elements (HFSE's)

and dominates the Nb, Ta and Ti budgets of many rocks in subduction zone systems. Rutile occurs as three different textural types in the studied samples. The most frequent type in samples (1184, 1202) is matrix rutile with a grain size between 80 and 90 μm . Rutile occurs as an inclusion in garnet (grain size of rutile: 20 – 40 μm) and in clinopyroxene (grain size of rutile: 10 – 20 μm). Moreover, larger crystals separated from meta-gabbros (1130, 1301) with a grain size between 100 - 300 μm form intergrowths with ilmenite. The Zr contents of both matrix rutiles and rutile inclusions in garnet range from 176 to 428 ppm (average 335 ppm). The Hf contents range between 8 and 18. The Nb and Ta concentrations vary from 120 to 811 and from 7 to 73, respectively. The propagation in concentrations and element ratios changes from sample to sample, which is more pronounced for Nb and Ta elements than Zr and Hf elements. Nb and Ta exhibit a strong positive correlation (Figure 6a). Zr and Hf also indicate a positive correlation, but less distinct (Figure 6b). On the other hand, Ta and Zr show a poor correlation (1184), although three samples (1202, 1130, 1301) indicated a positive correlation (Figure 6c).

Nb/Ta ratios for rutile rims and cores are different from one another in one sample. The cores of rutile grains from sample 1130 are generally characterized by low Nb/Ta ratios of 17-18 whereas the rims exhibit relatively high Nb/Ta ratios of 19-23. The enrichment of Nb and Ta with slightly high Nb/Ta ratios in the rims of rutile may result from breakdown of hydrous minerals such as biotite (Stepanov and Hermann, 2013).

Nb/Ta and Zr/Hf show positive correlation, which is probably produced by silicate fractionation (Münker et al. 2003; Weyer et al. 2003; Schmidt et al. 2009). Subchondritic Nb/Ta ratios occur in rutile from both medium

to high-grade metamorphic regions (e.g. Meyer et al. 2011; Luvizotto and Zack 2009; Ewing et al. 2013) and HP metamorphic regions (Xiao et al. 2006; John et al. 2011; Huang et al. 2012). Rutile compositions mostly display subchondritic Nb/Ta values (chondritic value 19.9, Münker et al. 2003) with a range of 11-19 and Zr/Hf values (chondritic value 34.3 ± 0.3 , Münker et al. 2003) range between 20 and 33 (Fig. 7c). However, two rutile grains from sample 1301 and sample 1130 have suprachondritic Nb/Ta and Zr/Hf values. Nb/Ta and Zr/Hf ratios increase with a decrease in Ta and Hf contents (Figure 7a, b). Accordingly, the increase in Nb/Ta ratios with the decreased Ta content can be linked to the effect of metamorphic dehydration at subduction zones on rutile Nb/Ta differentiation (Schmidt et al. 2009; Gao et al. 2014). Dehydration metamorphism is a common mechanism for rutile formation in subduction processes. Nb and Ta have the same oxidation state and similar ionic radii (Meinhold, 2010) and thus would remain tightly coupled during geochemical processes in the crust-mantle differentiation system. However, there is a significant difference in their mass, which may be a potential cause for Nb/Ta differentiation during geochemical processes.

The widespread occurrence of quartz in igneous, metamorphic, hydrothermal and sedimentary rocks attests to its stability over a wide range of P-T conditions. The pressure dependence of the TitaniQ thermometer makes it potentially perfect barometer for ophiolitic meta-gabbros. The ophiolitic meta-gabbros contain rutile and quartz, thus P-T dependencies of Ti-in-quartz can be combined with P-T dependencies of Zr-in-rutile to estimate pressure and temperature of crystallization. Ti contents of quartz are ranging between 28 and 42 ppm (average 36 ppm). A P-T diagram of ophiolitic meta-gabbro samples

with the range of Ti-in-quartz and Zr-in-rutile values plotted as isopleths. A P-T estimate can be obtained from the intersection of the Ti-in-quartz isopleths with the Zr-in-rutile isopleths, which yielded metamorphism conditions of ~ 660 °C and 10 kbar (Figure 8). TitaniQ thermobarometer is a trustworthy thermobarometry for medium to high-grade metamorphic rocks, which gives more reliable pressure and temperature. The P-T conditions of meta-ophiolitic rocks suggest that they occur as a different separate higher-pressure tectonic slice in the Kazdağ metamorphic sequence. Amphibolite-facies metamorphism resulted from northward subduction of the İzmir-Ankara branch of the Neo-Tethyan Ocean under the Sakarya Zone. Metamorphism was followed by internal imbrication of the Kazdağ metamorphic sequence resulting from southerly directed compression during the collision.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Austrheim, H., Putnis, C.V., Engvik, A.K. ve Putnis, A., 2008. Zircon coronas around Fe-Ti oxides: a physical reference frame for metamorphic and metasomatic reactions. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 156, 517–527.
- Aysal, N., Ustaömer, T., Öngen, S., Keskin, M., Köksal, S., Peytcheva, I. ve Fanning, M., 2012. Origin of the Early-Middle Devonian Magmatism in the Sakarya Zone, Nw Turkey: Geochronology, Geochemistry and Isotope Systematics. *Journal of Asian Earth Sciences* 45, 201–222.
- Baldwin, J.A. ve Brown, M., 2008. Age and duration of ultrahigh-temperature metamorphism in the Anápolis Itauçu Complex, Southern Brasília Belt, central Brazil – constraints from U-Pb geochronology, mineral rare earth element chemistry and trace element thermometry. *Journal of Metamorphic Geology* 26, 213–233.
- Beccaletto, L. ve Jenny, C., 2004. Geology and Correlation of the Ezine Zone: A Rhodope Fragment in NW Turkey? *Turkish Journal of Earth Sciences* 13, 145–176.
- Bingöl, E. 1969. Kazdağ Masifi'nin Merkezi ve GD Kesiminin Jeolojisi. *MTA Dergisi* 72, 110–123.
- Brenan, J.M., Shaw, H.F., Phinney, D.L. ve Ryerson, F.J., 1994. Rutile-aqueous fluid partitioning of Nb, Ta, Hf, Zr, U and Th: implications for high field strength element depletions in island-arc basalts. *Earth and Planetary Science Letters* 128, 327–339.
- Cavazza, W., Okay, A.I. ve Zattin, M., 2009. Rapid early-middle Exhumation of the Kazdağ Massif (western Anatolia). *International Journal of Earth Sciences* 98, 1935–1947.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1992. *An Introduction to Rock-Forming Minerals*. Longman Group, Harlow, UK.
- Ding, X., Hu, Y.H., Zhang, H., Li, C.Y., Ling, M.X. ve Sun, W.D., 2013. Major Nb/Ta fractionation recorded in garnet amphibolite facies metagabbro. *Journal of Geology* 121, 255–274.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş, F. ve Kar, H., 2004. New Results on the Lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 13, 177–186.
- Dürr, S., Alther, R., Keller, J., Okrusch, M. ve Seidel, E., 1978. The median Aegean crystalline belt: Stratigraphy, structure, metamorphism, magmatism. In: Closs, H., Roeder, D., Schmidt, K., (eds) *Alps, Appenines and Hellenides*: Stuttgart, Scheweizerbart, pp. 455–476.
- Eggins, S., Kinsley, L. ve Shelley, J., 1998. Deposition and element fractionation processes during atmospheric pressure laser sampling for analysis by ICP-MS. *Applied Surface Science* 127, 278–286.
- Erdoğan, B., Akay, E., Hasözbeke, A., Satır, M. ve Siebel, W., 2013. Stratigraphy and tectonic evolution of the Kazdağ Masif (NW Anatolia) based on field studies and radiometric ages. *International Geology Review* 55, 2060–2082.
- Ewing, T.A., Herman, J. ve Rubatto, D., 2013. The robustness of the Zr-in-rutile and Ti-in-zircon thermometers during high-temperature metamorphism (Ivrea-Verbano zone, northern Italy). *Contribution to Mineralogy and Petrology* 165, 757–779.
- Ferry, J.M. ve Spear, F.S., 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 66, 113–117.

- Ferry, J.M. ve Watson, E.B., 2007. New thermodynamic models and revised calibrations for the Ti-in-zircon and Zr-in-rutile thermometers. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 154, 429–437.
- Foley, S., Tiepolo, M., Vannucci, R., 2002. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones. *Nature* 417: 837–840.
- Foley, S.F., Barth, M.G. ve Jenner, G.A., 2000. Rutile/melt partition coefficients for trace elements and assessment of the influence of rutile on the trace element characteristics of subduction zone magmas. *Geochimica Cosmochimica Acta* 64, 933–938.
- Gao, X.Y., Zheng, F.Y., Xia, X.P. ve Chen, Y.P., 2014. U-Pb ages and trace element of metamorphic rutile from ultrahigh-pressure quartzite in the Sulu orogen. *Geochimica Cosmochimica Acta* 143, 87–114.
- Graham, J. ve Morris, R.C., 1973. Tungsten- and antimony substituted rutile. *Mineralogical Magazine* 39, 470–473.
- Green, T.H., 1995. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust–mantle system. *Chemical Geology* 120, 347–359.
- Hermann, J., Spandler, C., Hack, A. ve Korsakov, A., 2006. Aqueous fluids and hydrous melts in high-pressure and ultra-high pressure rocks: implications for element transfer in subduction zones. *Lithos* 92, 399–417.
- Hornig, W.S. ve Hess, P.C., 2000. Partition coefficients of Nb and Ta between rutile and anhydrous haplogranite melts. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 138, 176–185.
- Huang, J., Xiao, Y.L., Gao, Y.J., Hou, Z.H. ve Wu, W., 2012 Nb–Ta fractionation induced by fluid-rock interaction in subduction-zones: constraints from UHP eclogite- and vein-hosted rutile from the Dabie orogen, Central-Eastern China. *Journal of Metamorphic Geology* 30, 821–842.
- Jochum, K.P. ve Nehring, F., 2006. NIST 610: GeoReM preferred values (11/2006). GeoReM <http://georem.mpch-mainz.gwdg.de>.
- John, T., Scherer, E.E., Haase, K. ve Schenk, V., 2004. Trace element fractionation during fluid-induced eclogitization in a subducting slab: trace element and Lu-Hf-Sm-Nd isotope systematics. *Earth and Planetary Science Letters* 227, 441–456.
- John, T., Klemm, R., Klemme, S., Pfander, J., Hoffmann, J. ve Gao, J., 2011. Nb–Ta fractionation by partial melting at the titanite–rutile transition. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 161, 35–45.
- Klemme, S., Prowatke, S., Hametner, K., Gunther, D., 2005. Partitioning of trace elements between rutile and silicate melts: Implications for subduction zones. *Geochimica Cosmochimica Acta* 69, 2361–2371.
- Kohn, M.J. ve Spear, F.S., 1990. Two new geobarometers for garnet amphibolites with applications to southeastern Vermont. *American Mineralogist* 75, 89–96.
- Luvizotto, G.L. ve Zack, T., 2009. Nb and Zr behavior in rutile during high-grade metamorphism and retrogression: An example from the Ivrea–Verbano Zone. *Chemical Geology* 261, 303–317.
- Luvizotto, G.L., Zack, T., Meyer, H.P., Ludwig, T., Triebold, S., Kronz, A., Munker, C., Stockli, D.F., Prowatke, S., Klemme, S., Jacob, D.E. ve Eynatten, H., 2009. Rutile crystals as potential trace element and isotope mineral standards for microanalysis. *Chemical Geology* 261, 346–369.
- Meinhold, G., 2010. Rutile and its applications in earth sciences. *Earth Science Review* 102, 1–28.
- Meinhold, G., Kostopoulos, D., Frei, D., Himmerkus, F. ve Reischmann, T., 2010. U-Pb LA-SF-ICP-MS zircon geochronology of the Serbo-Macedonian Massif, Greece: Palaeotectonic constraints for Gondwana-derived terranes in the Eastern Mediterranean. *International Journal of Earth Sciences* 99, 813–832.
- Meyer, M., John, T., Brandt, S. ve Klemm, R., 2011. Trace element composition of rutile and the application of Zr-in-rutile thermometry to UHT metamorphism (Epupa Complex, NW Namibia). *Lithos* 126, 388–401.
- Miller, C., Zanetti, A. ve Thoni, M., 2007. Eclogitization of gabbroic rocks: Redistribution of trace elements and Zr in rutile thermometry in an Eo-Alpine subduction zone (Eastern Alps). *Chemical Geology* 239, 96–123.
- Moix, P., Beccalotto, L., Kozur, H., Hochard, C., Rosselet, F. ve Stampfli, G.M., 2008. A new classification of the Turkish terranes and sutures and its implication for the paleotectonic history of the region. *Tectonophysics* 451, 7–39.

- Münker, C., Pfänder, J.A., Weyer, S., Büchl, A., Kleine, T. ve Mezger, K., 2003. Evolution of planetary cores and the Earth–Moon system from Nb/Ta systematic. *Science* 301, 84–87.
- MTA, 2012. General and economic geology of the Biga Peninsula. Special Publication Series, 28, p 326 (in Turkish).
- Okay, A.I., 1984. Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. In: Robertson, A.H.F., Dixon, J.E., (eds) *The geological evolution of the eastern Mediterranean*. Geological Society of Special Publication No:17, 455–466.
- Okay, A.I., 1986. High-pressure/low-temperature metamorphic rocks of Turkey: Geological Society of America Memoir 164, 333–347.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand B, Jolivet L, Horváth F, Séranne M (eds) *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society Special Publications No: 156, 475–515.
- Okay, A.I. ve Satır, M., 2000. Coeval plutonism ve metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in Northwest Turkey. *Geological Magazine* 137, 495-516.
- Okay, A.I. ve Göncüoğlu, M.C., 2004. The Karakaya Complex: A Review of Data and Concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences* 13, 77-95.
- Okay, A.I., Satır, M. ve Siebel, W., 2006. Pre-Alpide and Mesozoic orogenic events in the Eastern Mediterranean region. Geological Society of Special Publication No:32, 389-405
- Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz, S., 1996. Paleo-and Neotethyan events in northwest Turkey. In: Yin, A., Harrison, M., (eds) *Tectonics of Asia*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 420-441.
- Philpotts, A.R., 1990. Principles of igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Pickett, E.A., Robertson, A.H.F. ve Dixon, J.E., 1996. The Karakaya Complex, NW Turkey: A Palaeo Tethyan Accretionary Complex, Geology of the Black Sea Region. Geological Society of Special Publication No: 153, 995-1009.
- Rudnick, R.L., Barth, M., Horn, I. ve McDonough, W.F., 2000. Rutile-bearing refractory eclogites: missing link between continents and depleted mantle. *Science* 287, 278–281.
- Scambelluri, M., Bottazzi, P., Trommsdorff, V., Vannucci, R., Hermann, J., Gomez-Pugnaire, M.T. ve Lopez-Sanchez-Vizcaino, V., 2001. Incompatible element-rich fluids released by antigorite breakdown in deeply subducted mantle. *Earth and Planetary Science Letters* 192, 457–470.
- Schmidt, M.W., Dardon, A., Chazot, G. ve Vannucci, R., 2004. The dependence of Nb and Ta rutile–melt partitioning on melt composition and Nb/Ta fractionation during subduction processes. *Earth and Planetary Science Letters* 226, 415–432.
- Schmidt, A., Weyer, S., Mezger, K., Scherer, E.E., Xiao, Y.L., Hoefs, J. ve Brey, G.P., 2008. Rapid eclogitisation of the Dabie-Sulu UHP terrane: constraints from Lu–Hf garnet geochronology. *Earth and Planetary Science Letters* 273, 203–213.
- Schmidt A, Weyer S, John T, Brey GP (2009) HFSE systematics of rutile-bearing eclogites: new insights into subduction zone processes and implications for the earth's HFSE budget. *Geochim Cosmochim Acta* 73: 455–468
- Spear, F.S., 1993. Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths. Mineralogical Society of America Washington.
- Spear, F.S., Wark, D.A. ve Cheney, J.T., 2006. Zr-in-rutile thermometry in blueschists from Sifnos, Greece. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 152, 375–385.
- Stalder, R., Foley, S.F., Brey, G.P. ve Horn, I., 1998. Mineral-aqueous fluid partitioning of trace elements at 900–1200 C and 3.0–5.7 GPa: new experimental data for garnet, clinopyroxene, and rutile, and implications for mantle metasomatism. *Geochimica Cosmochimica Acta* 62, 1781–1801.
- Stepanov, A.S. ve Hermann, J., 2013. Fractionation of Nb and Ta by biotite and phengite: implications for the “missing Nb paradox”. *Geology* 41, 303–306.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Şengün, F. ve Zack, T., 2016. Trace element composition of rutile and Zr-in-rutile thermometry in meta-ophiolitic rocks from the Kazdağ Massif, NW Turkey. *Mineralogy and Petrology*, DOI 10.1007/s00710-016-0433-7.

- Şengün, F., Yigitbas, E. ve Tunç, İ.O., 2011. Geology and Tectonic Emplacement of Eclogite and Blueschist, Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 20, 273-285.
- Tatsumi, Y. ve Nakamura, N., 1986. Composition of aqueous fluid from serpentine in the subducted lithosphere. *Geochemical Journal* 20, 191-196.
- Tetiker, S., Yalçın, H., Bozkaya, Ö. ve Göncüoğlu, M. C., 2015. Diagenetic to Low-Grade Metamorphic Evolution of the Karakaya Complex in northern Turkey based on phyllosilicate mineralogy. *Mineralogy and Petrology*, 109, 201-215.
- Thomas, J.B., Watson, E.B., Spear, F.S. ve Wark, D.A., 2015. Titanite recrystallized: experimental confirmation of the original Ti-in-quartz calibrations. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 169, 27.
- Thomas, J.B., Watson, E.B., Spear, F.S., Shemella, F.S., Nayak, S.K. ve Lanzarotti, A., 2010. Titanite under pressure: the effect of pressure and temperature on the solubility of Ti in quartz. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 160, 743-759.
- Tomkins, H.S., Powell, R. ve Ellis, D.J., 2007. The pressure dependence of the zirconium-in-rutile thermometer. *Journal of Metamorphic Geology* 25, 703-713.
- Wark, D.A. ve Watson, E.B., 2006. The Titanite: a Titanium-in-quartz geothermometer. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 152, 743-754.
- Watson, E.B., Wark, D.A. ve Thomas, J.B., 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 151, 413-433.
- Weyer, S., Muenker, C. ve Mezger, K., 2003. Nb/Ta, Zr/Hf and REE in the depleted mantle: implications for the differentiation history of the crust-mantle system. *Earth and Planetary Science Letters* 205, 309-324.
- Wilson, S.A., 1997. The collection, preparation, and testing of USGS reference material BCR-2, Columbia River, Basalt: U.S. Geological Survey Open-File Report 98.
- Xia, Q.X., Zheng, Y.F. ve Hu, Z.C., 2010. Trace elements in zircon and coexisting minerals from low-T/UHP metagranite in the Dabie orogen: implications for action of supercritical fluid during continental subduction-zone metamorphism. *Lithos* 114, 385-412.
- Xiao, Y.L., Sun, W.D., Hoefs, J., Simon, K., Zhang, Z.M., Li, S.G. ve Hofmann, A.W., 2006. Making continental crust through slab melting: constraints from niobium-tantalum fractionation in UHP metamorphic rutile. *Geochimica Cosmochimica Acta* 70, 4770-4782.
- Xiong, X.L., Adam, J. ve Green, T.H., 2005. Rutile stability and rutile/melt HFSE partitioning during partial melting of hydrous basalt: implications for TTG genesis. *Chemical Geology* 218, 339-359.
- Van Achtebergh, E., Ryan, C.G. ve Griffin, W.L., 2000. GLITTER (Version 3.0, On-line Interactive Data Reduction for LA-ICPMS). Maquarie Research Ltd.
- Yiğitbaş, E., Şengün, F. ve Tunç, İ.O., 2014. Pre-Neogene tectonic units in the Biga Peninsula and an approach to geodynamic evolution of region. TUBITAK project (110Y281).
- Zack, T., Kronz, A., Foley, S.F. ve Rivers, T., 2002. Trace element abundances in rutiles from eclogites and associated garnet mica schists. *Chemical Geology* 184, 97-122.
- Zack, T., Moraes, R. ve Kronz, A., 2004. Temperature dependence of Zr in rutile: empirical calibration of a rutile thermometer. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 148, 471-488.
- Zhang, J.X., Yu, S., Meng, F.C. ve Li, J.P., 2009. Paired high-pressure granulite and eclogite in collision orogens and their geodynamic implications. *Acta Petrologica Sinica* 25: 2050-2066 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y.F., Xia, Q.X., Chen, R.X. ve Gao, X.Y., 2011. Partial melting, fluid supercriticality and element mobility in ultrahigh-pressure metamorphic rocks during continental collision. *Earth Science Reviews* 107, 342-374.

Makale Geliş Tarihi : 23 Şubat 2016
Kabul Tarihi : 21 Mart 2016

Received : 23 February 2016
Accepted : 21 March 2016



10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) depremi ($M_w = 5.0$); ilgili yapılar ve tektonik ortam, Orta Anadolu - Türkiye

10 January 2015 Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) earthquake ($M_w = 5.0$); implications about related structures and tectonic environment, Central Anatolia - Turkey

Uğur TEMİZ¹, Y. Ergun GÖKTEN²

¹Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 66100, Yozgat
(e-posta: ugur.temiz@bozok.edu.tr)

²Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tektonik Araştırma Grubu,
06100, Tandoğan/Ankara (e-posta: gokten@eng.ankara.edu.tr)

ÖZ

Sismik etkinlik bakımından sakin bir bölge olarak bilinen Orta Anadolu'da 10 Ocak 2016 günü, yerel saat ile 19.40'da merkez üssü Kırşehir ili Çiçekdağı ilçesi Hacıduraklı köyü olan 5.0 (M_w) büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Depremin odak mekanizması çözümü, sağ yanal doğrultu atımlı bir faylanmayı göstermektedir. Bu depremin, odak mekanizması çözümü ile uyumlu olan ve iki yapısal segmentten oluşan ve sağ yanal doğrultu atımlı Manahözü Fayının BKB-DGD uzanımlı segmenti ile ilişkili olarak meydana geldiğini göstermektedir. Manahözü Fayı aktif bir fay olup bölgenin son dönem yapısal olarak şekillenmesinde rol oynayan önemli yapılardan biridir. Kırşehir ve yakın civarındaki önemli jeolojik yapılardan bir diğeri ise, sağ yanal doğrultu atımlı ve KB-GD uzanımlı Seyfe Fay Zonu'dur. Bu aktif yapılar arasındaki etkileşim Seyfe çek-ayır havzasının oluşmasına neden olmuştur. Ayrıca, Manahözü deresinin kuzeyindeki yükselimin Manahözü Fayı ve Yerköy Fay Zonu arasındaki birleşme nedeniyle olabileceğini düşündürmektedir. Aktif bir yapı olan Manahözü Fayının KB-GD uzanımlı segmenti de gelecekte deprem üretme potansiyeline sahip bir yapı olarak durmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) depremi, Kırşehir, Manahözü Fayı, Seyfe çek-ayır havzası, Seyfe Fay Zonu, Yerköy Fay Zonu

ABSTRACT

An earthquake, a moment magnitude of 5.0 (M_w), occurred on 10 January 2016 at 19.40 local with its epicenter, Hacıduraklı, the village of Çiçekdağı, Kırşehir in Central Anatolia that was known as a

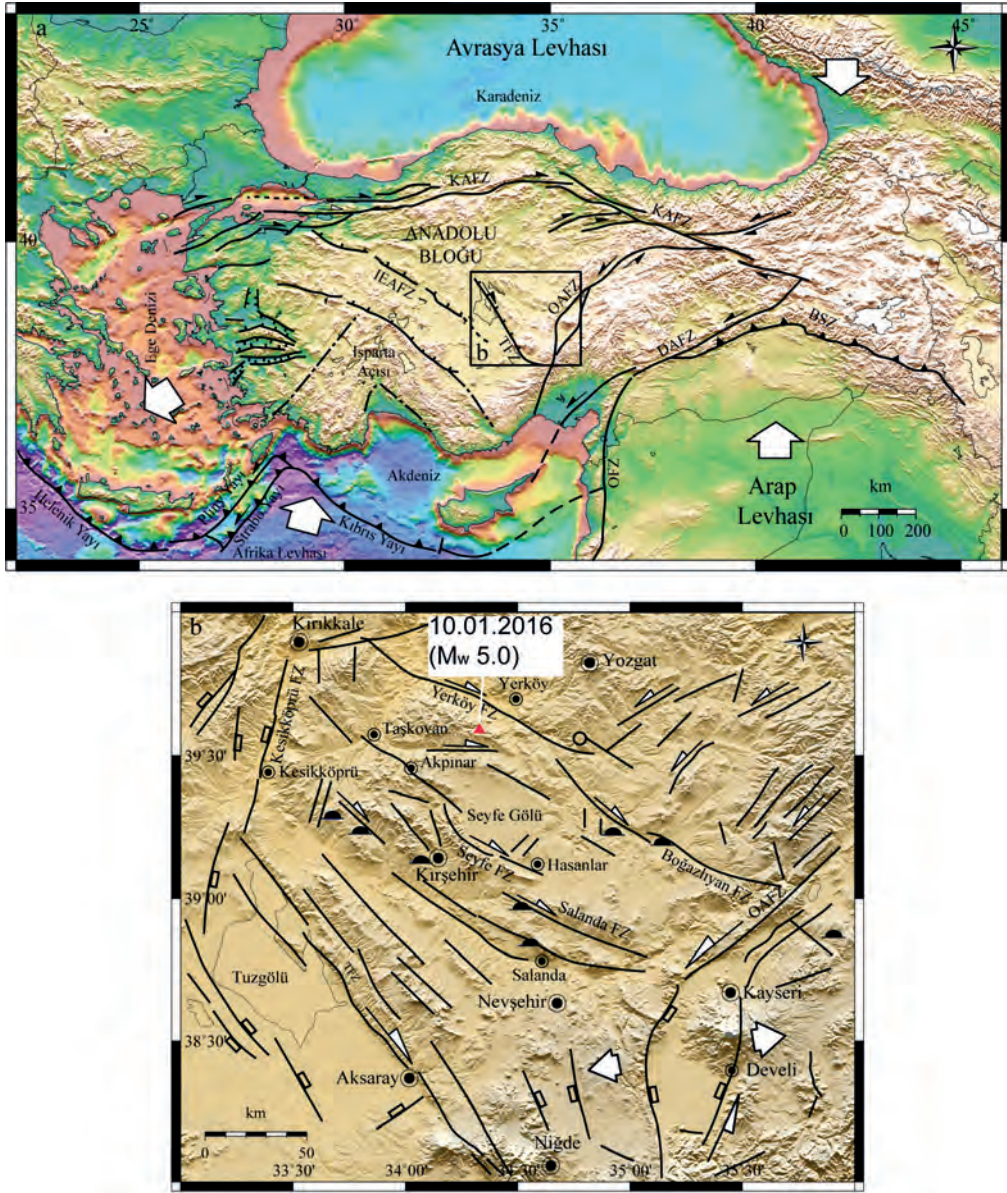
seismically quiet region. Its focal mechanism solution showed a right-lateral strike-slip faulting. This indicated that the earthquake occurred in WNW-ESE trend segment of Manahözü Fault that was right-lateral strike-slip fault, consisted of two structural segments and complied with the focal mechanism of the earthquake. Manahözü Fault is active and one of the most important structures that play a role in shaping the region. Seyfe Fault Zone NW-SE trend right-lateral strike-slip fault is one of the most significant geological structures in Kırşehir and its near surroundings. The interaction between these active structures caused the occurrence of Seyfe pull-apart basin. Besides, it is thought that the rise in the northern part of the Manahözü fault may occur due to the convergence between Manahözü Fault and Yerköy Fault Zone. NW-SE trend segment of Manahözü Fault, an active structure, is also evaluated as a structure that has a potential to create earthquakes in future.

Keywords: *Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) Earthquake, Kırşehir, Manahözü Fault, Seyfe Fault Zone, Seyfe pull-apart basins, Yerköy Fault Zone*

GİRİŞ

Afet ve Acil Durum Başkanlığı (AFAD), Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB) verilerine göre 10 Ocak 2016 günü, yerel saat ile 19.40'da merkez üssü Kırşehir ili Çiçekdağı ilçesi Hacıduraklı köyü olan bir deprem meydana gelmiştir (Şekil 1). DDB verilerine bağlı olarak bu depremin koordinatı, 39.5640K, 34.3580D, odak derinliği 13.60 km ve büyüklüğü ise 5.0 (M_w) olarak saptanmıştır (Çizelge 1). Ana şoktan hemen önce $M_w=3.6$ ve $M_L=2.4$ büyüklerinde bölgede iki adet öncü deprem meydana gelmiştir. Ana şok (deprem) sonrasında ise büyüklükleri 1.1 ile 3.5 arasında değişen 45 adet artçı deprem uzun bir

süre devam etmiştir (Şekil 2). Deprem; Kırşehir, Yozgat, Kırıkkale ve Ankara illeri ile çevresindeki alanlarda hissedilmiştir (KRDAE-BDTİM). Bu deprem, dış merkezine yaklaşık 13 km uzaklıktaki Yerköy ilçesinde yer alan 4 katlı bir binanın da ağır hasar görmesine neden olmuştur. Depremden hemen sonra tahliye edilen bina daha sonra yıkılmıştır. Bunun dışında İncirli köy camisi ve lojmanında da hasar meydana gelmiştir. Depreme bağlı olarak bir yüzey kırığı tespit edilmemiştir. Bu çalışmada Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) depremine kaynaklık ettiği düşünülen Manahözü Fayı ile Seyfe Gölü çöküntüsü kontrol eden Seyfe Fay Zonu arasındaki ilişki ve bölgesel ölçekteki anlamı değerlendirilmiştir.



Şekil 1. (a) Türkiye ve yakın çevresinin tektonik bölümleri ve ana tektonik hatları: Kısaltmalar: KAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ, Doğu Anadolu Fay Zonu; OFZ, Ölü deniz Fay Zonu; BSZ, Bitlis Sütur Zonu TFZ; Tuzgölü Fay Zonu; OAFZ, Orta Anadolu Fay Zonu; IEAFZ, İnönü-Eskişehir-Akşehir Fay Zonu, EGS, Ege Graben Sistemi, (b) Orta Anadolu bölgesindeki ana tektonik yapılar (Koçyiğit, 2003; Temiz 2004; Temiz vd. 2009 düzenlenmiştir.)

Figure 1. (a) Tectonic divisions and distribution of major lineaments in Turkey and adjoining regions. The abbreviations are: KAFZ, North Anatolian Fault Zone; DAFZ, East Anatolian Fault Zone; OFS, Dead Sea Fault System; BSZ, Bitlis Suture Zone TFZ; Salt Lake Fault Zone; OAFZ, Central Anatolian Fault Zone; IEAFZ, Inönü-Eskişehir-Akşehir Fault Zone, EGS, Aegean Graben System, (b) Simplified map showing major structural elements of Central Anatolia (modified from Koçyiğit 2003; Temiz 2004; Temiz et al., 2009).

Çizelge 1. 10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) depreminin kaynak parametreleri.

Table 1. Source parameters of January 10, 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) earthquake.

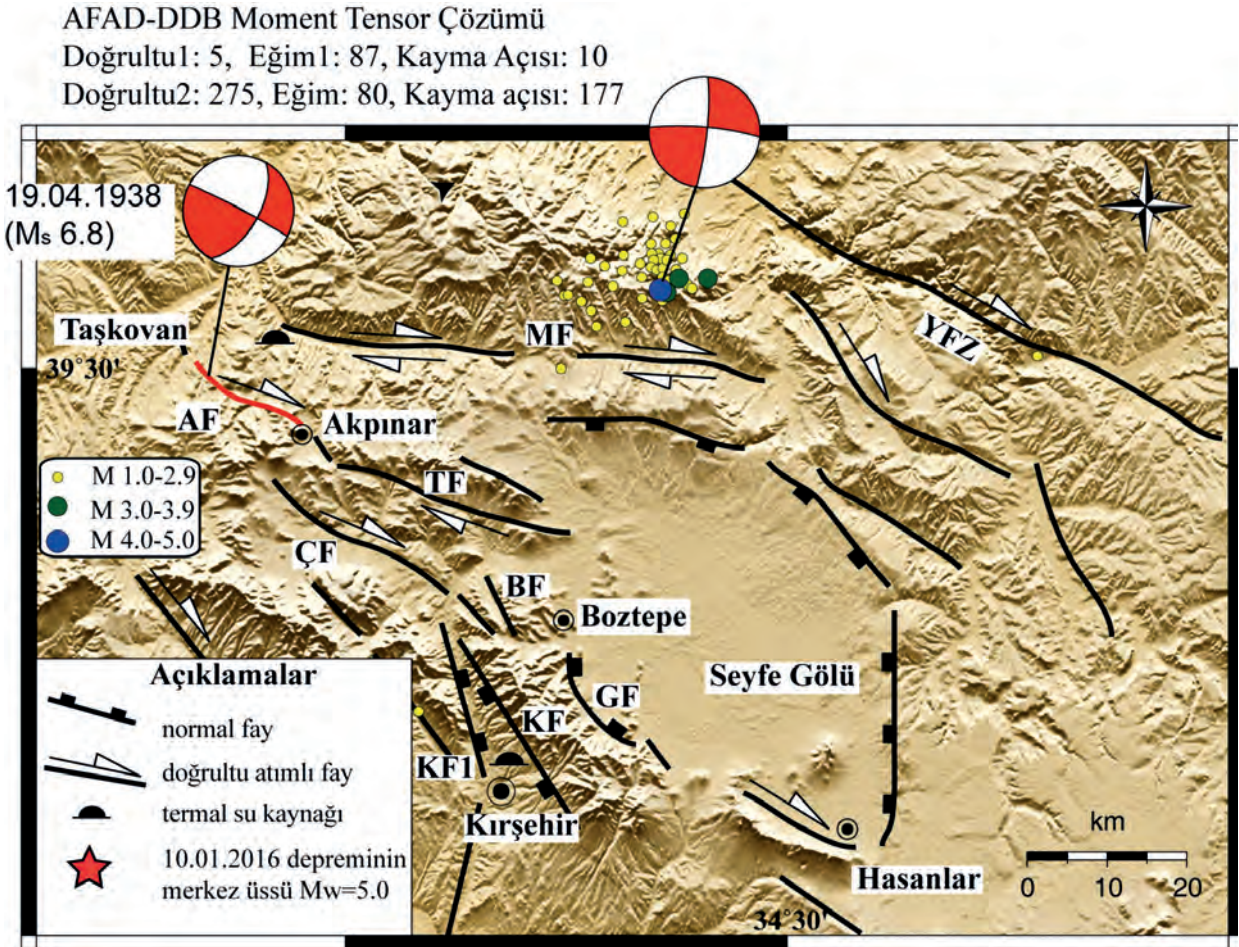
Tarih	Saat (GMT)	Enlem (K)	Boylam (D)	h (km)	(M _w)	S1(°)	D1(°)	R1(°)	S2(°)	D2(°)	R2(°)	FK	Kaynak
10 Ocak 2016	19:40	39.5640	34.3580	13.60	5.0	5	87	10	275	80	177	SY	T.C. BAŞBAKANLIK AFAD DEPREM DAİRESİ BAŞKANLIĞI
		39.5970	34.3363	8.6	4.9	273	79	-176	182	86	-11	SY	B.Ü. KANDİLLİ RASATHANESİ ve DAE. BÖLGESEL DEPREM -TSUNAMİ İZLEME ve DEĞERLENDİRME MERKEZİ

Çizelgede kullanılan kısaltmalar: **h:** derinlik, **M_w:** Moment büyüklüğü, **S:** Doğrultu, **D:** Eğim, **R:** Rake, **FK:**Fay Karakteri, **SY:** Sağ yanal doğrultu atımlı fay.

KIRŞEHİR İLİ VE ÇEVRESİNİN SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ

Anadolu mikro-plakası içerisinde yer alan Kırşehir bölgesi, neotektonik sınıflama içerisinde Kayseri-Sivas neotektonik bölgesi içerisinde yer alır (Koçyiğit, 2003). Bu bölge, Tuz Gölü ve Kesikköprü Faylarının doğusunda kalan bir alan olup, (Koçyiğit, 2003) (Şekil 1b) K-Gyönlü sıkışma rejiminin etkisi altında gelişen KB-GD ve KD-GB uzanımlı doğrultu atımlı faylarla karakterize olmaktadır. Çalışma alanındaki bu neotektonik bölgenin özelliklerini temsil eden en önemli tektonik yapı Seyfe Fay Zonu'dur (Koçyiğit, 2003; Temiz, 2004) (Şekil 2). Seyfe Fay Zonu çalışma alanının güneydoğusunda Hasanlar'dan başlayıp, kuzeybatısında Taşkovan'a kadar uzanan ve Seyfe Gölü çöküntüsünü sınırlayan birbirine paralel olarak uzanan faylardan oluşur (Şekil 2). Yaklaşık 120 km uzunluğa sahip olan Seyfe Fay Zonu, sağ yanal doğrultu atımlı aktif bir yapıdır. 19 Nisan 1938 depremi, Seyfe Fay Zonu'nun kuzeybatısında yer alan Akpınar'dan Taşkovan'a

kadar uzanan yaklaşık 14 km uzunluğa sahip olan Akpınar Fay segmentinde (Arni, 1938; Parejas ve Pamir, 1939) meydana gelmiştir (Şekil 2). Akpınar ilçesinin kuzeydoğusunda ise, BKB ve DKD uzanıma sahip olan Seyfe Fay Zonu ile ilişkisi net olmayan ve sıcak su çıkışı ve alüvyal yelpaze oluşumları ile karakteristik olan sağ yanal doğrultu atımlı Manahözü Fayı bulunmaktadır (Şekil 2). Batıda, Akpınar ve İshahocalı ilçeleri ile doğuda Tosunburnu ve Çoğun köyleri arasında belirgin morfolojik ve çizgisellikler gösteren yaklaşık 20-25 km uzunluğa sahip birbirine koşut olan KB-GD uzanımlı, sağ yanal doğrultu atımlı Tosunburnu ve Çoğun Fayları yer alır. Çoğun Köyü'nün doğusundan başlayan ve Boztepe ilçesinin batısına kadar uzanan, sağ yanal doğrultu atımlı ve normal atım bileşeni olan Boztepe Fayı bulunur (Şekil 2). Bu fayın güneydoğuya devamı olan ve Kervansaray dağı'nın doğu yamacında büküm yapan ve normal fay karakteri taşıyan yaklaşık 18 km uzunluğundaki Gümüşkumbet Fayı yer alır. Kervansaray dağı'nın batı yamacında

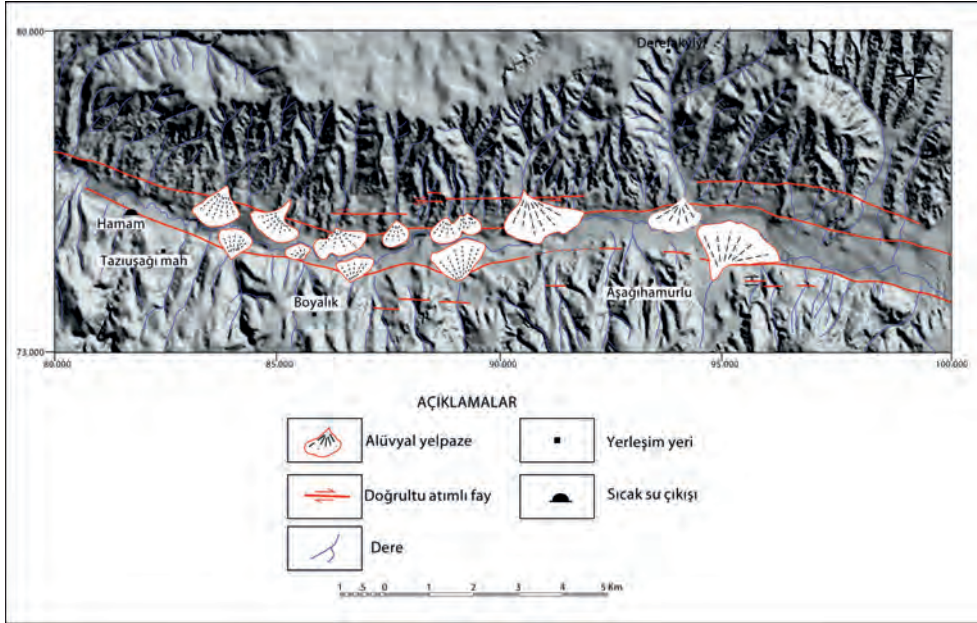


Şekil 2. Sayısal yükseklik modeli. Seyfe Fay Zonu'nda yaklaşık KB-GD ve N-S uzanımlı normal ve doğrultu atımlı faylar ve 10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağ ve 18 Nisan 1938 Akpınar depremlerinin odak mekanizması çözümleri, Kısaltmalar: MF: Manahözü fayı, AF: Akpınar fayı, TF: Tosunburnu fayı, ÇF: Çoğun fayı, BF: Boztepe fayı, GF: Gümüşkümbet fayı, KF: Kırşehir fayı, KF1: Karıncalı fayı, YFZ: Yerköy Fay Zonu (Temiz 2004; Temiz vd. 2009; Temiz ve Gökten, 2011 düzenlenmiştir).

Figure 2. Digital elevation model. Approximately NW-SE and N-S trending normal and strike-slip faults are located in Seyfe Fault Zone and focal mechanism solutions of January 10, 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağ and April 18, 1938 Akpınar the earthquakes, The abbreviations are: MF: Manahözü fault, AF: Akpınar fault, TF: Tosunburnu fault, ÇF: Çoğun fault, BF: Boztepe fault, GF: Gümüşkümbet fault, KF: Kırşehir fault, KF1: Karıncalı fault, YFZ: Yerköy Fault Zone (modified from Temiz 2004; Temiz et al., 2009; Temiz ve Gökten 2011).

ise, Gümüşkümbet Fayına koşut olarak bulunan, Kırşehir çöküntü alanı ile daha batıda Karıncalı köyünün içinde bulunduğu çöküntü alanlarını sınırlayan KB-GD gidişli Kırşehir ve Karıncalı Fayları bulunmaktadır. Bu faylar sağ yanal doğrultu atımlı Seyfe Fay Zonu içerisinde sentetik faylar olarak tanımlanmışlardır (Temiz, 2004). Çalışma alanındaki diğer önemli yapı ise, Yerköy Fay Zonudur (Şekil 2). Bu fay zonu Yerköy ve Şefaatli ilçeleri arasında uzanan yaklaşık olarak 30 km uzunluğa sahip KB-GD uzanımlı olup, sağ yanal doğrultu atımlı bir fay karakterindedir (Koçyiğit, 2003). Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) depremiyle ilişkili olduğu düşünülen Manahözü Fayı çalışma alanının kuzeyinde, Akpınar ilçesinin kuzeydoğusunda yer alan ve Manahözü deresine paralel uzanan BKB-DGD uzanımlı 20 km uzunluğundaki sağ yanal doğrultu atımlı fay olup, Manahözü Fayı olarak isimlendirilmiştir (Temiz, 2004). Bu fay, BKB-DGD uzanımlı olup, Dulkadirli ve Bahçepınar

köyleri arasında kesimi de Manahözü Fayının uzantısı olarak gösterilmiştir. Bu gösterimle birlikte fayın toplam uzunluğu yaklaşık 46 km olarak ölçülmüştür (Temiz vd. 2009). Seyfe Gölü çevresindeki fayların konumları dikkate alındığında Manahözü Fayı yapısal olarak iki farklı segmentten oluştuğu düşünülmektedir. Bu segmentlerden ilki BKB-DGD uzanımlı diğeri ise KB-GD uzanımlıdır. Manahözü Fayının BKB-DGD bölümünde çok iyi gelişmiş alüvyal yelpaze oluşumları mevcuttur (Şekil 3). Bu alüvyal yelpaze oluşumları Manahözü deresini içine alan vadinin kuzey ve güney kesimlerinde yer alır. Bu alüvyal yelpazelerin faya bağlı olarak gelişen yamulmalarına göre Manahözü Fayı, sağ yanal doğrultu atımlı fay olarak tanımlanmıştır (Temiz, 2004). Manahözü Fayı aktif bir faydır. Bunun en önemli kanıtı, fayın batı ucunda yer alan Tazıuşağı Mahallesi’nde “Hamam” olarak isimlendirilen yerde aktif tektoniğe bağlı olarak sıcak su çıkışlarının gözlenmesidir (Temiz, 2004).



Şekil 3. Manahözü Fay’ının batı kesiminde gelişen alüvyal yelpaze oluşumunun sayısal arazi modeli üzerindeki görünümü.

Figure 3. The developing alluvial fan is located in the western part of Manahözü fault, on view digital elevation model.

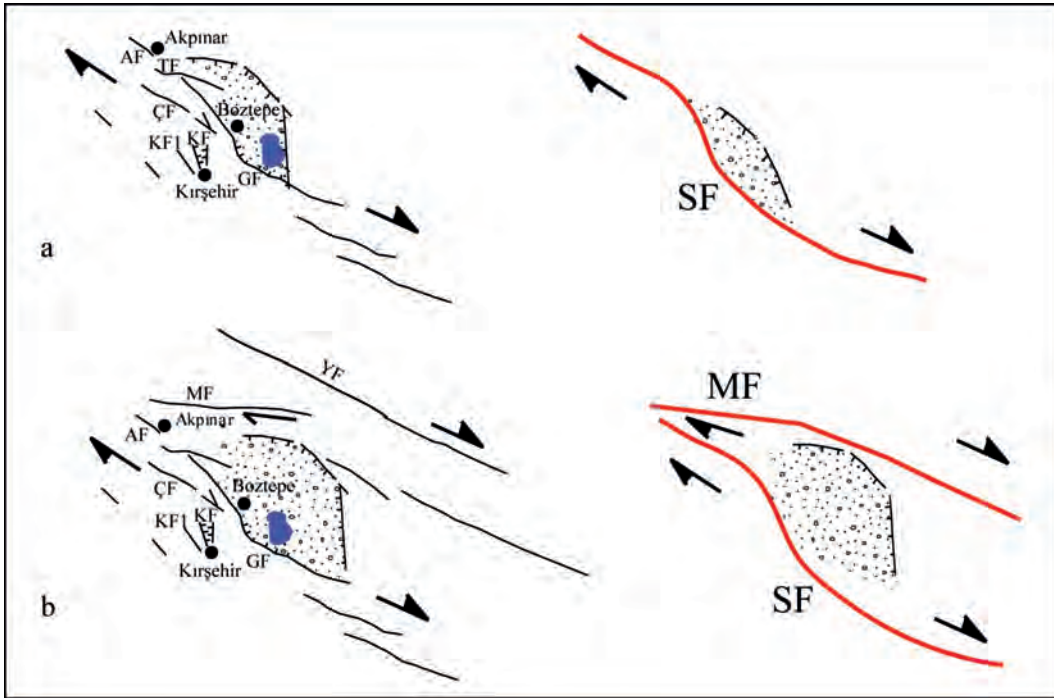
TARTIŞMA ve YORUM

Orta Anadolu bölgesinde yapılan çalışmalara göre bölgenin K-G yönlü sıkışmalı bir tektonik rejimin etkisi altında olduğu belirtilmiştir (Koçyiğit, 2003). Seyfe Gölü çöküntüsünü denetleyen Seyfe Fay Zonu'nun kuzeybatı ucundaki Akpınar fay segmenti 19 Nisan 1938'de kırılarak $M_s=6.8$ büyüklüğünde bir deprem oluşturmuştur. Arazi gözlemleri (Arni, 1938; Parejas ve Pamir, 1939) ve depremin odak mekanizması çözümleri sağ yanal doğrultu atımlı faylanmaya ve yaklaşık olarak KKB-GGD doğrultulu bir sıkışma rejimine işaret etmektedir (Jackson ve McKenzie, 1984; Canitez ve Büyükaşkoğlu, 1984). 10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) depreminin odak mekanizması çözümü ise, KB-GD doğrultulu sıkışma ve KD-GB doğrultulu genişleme ile yönleri ile doğrultu atımlı faylanmayı göstermektedir (AFAD-DDB) (Şekil 2). 1938 Akpınar depreminin odak mekanizması çözümü bölgede etkin olan gerilme yönüne uygun bir durum sergilerken, 10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağı depreminin gerilme yönüyle kısmen bir uyum sağlamaktadır (Şekil 2). 10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağı depreminin odak mekanizması çözümünde de görüldüğü gibi doğrultulardan biri yaklaşık olarak K-G doğrultulu iken, diğer doğrultu yaklaşık BKB-DGD olarak belirlenmiştir (Şekil 2; Çizelge 1). Depremin sağ yanal bir doğrultu atım veren çözümü arazide fay üzerindeki alüvyal yelpaze çarpımlarıyla da uyum içerisindedir (Şekil 3). Bu BKB-DGD uzanım, depremin merkez üssünün yaklaşık 6 km güneyindeki sağ yanal doğrultu atımlı Manahözü Fayının doğrultusu ile paraleldir. Ayrıca büyüklükleri $M_w=3.6$ öncü depremle ile $M_w=3.8$, $M_w=3.5$ olan artçı depremlerinde belirli bir hat üzerinde sıralanmaları da yine Manahözü Fayının doğrultusu ile uyumludur (Şekil 2). Manahözü Fayı ile Seyfe Fay Zonu arasındaki ilişki bakımından değerlendirildiğinde Manahözü

Fayının, Seyfe Fay Zonu içinde bir yapı olup olmadığı net değildir (Şekil 2). Manahözü Fayı ile Seyfe Fay Zonu arasında yaklaşık 32° bir açı vardır. Gerek konumu ve gerekse de fayın karakteri bakımından Riedel makaslama kırıkları olarak değerlendirmeyi güçleştirmektedir. Ancak Yerköy Fay Zonu'na paralel olarak güneydoğuya doğru uzanan fay, Manahözü Fayının güneydoğu segmenti olarak değerlendirilmesi durumunda Manahözü Fayı, Seyfe Gölü çöküntüsünü denetleyen önemli yapılardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 1b ve Şekil 2). Bu durumda, Manahözü Fayının iki yapısal segmentten oluştuğu söylenebilir. Bu segmentlerden ilki 10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağı depreminin meydana geldiği BKB-DGD uzanımlı segmenti diğeri ise yaklaşık olarak K 60° B uzanımlı olan segmentidir (Şekil 2). Bu iki segment arasındaki belirgin açısal farklılık dikkat çekmektedir. Bu durumun en önemli nedeni, temeli oluşturan Kırşehir Masifinin fayın uzanımına, yerleşimine ve gelişimine olan etkisi ve denetimidir. İki yapısal segmentten oluşan Manahözü Fayının, BKB-DGD segmentinde bir deprem meydana gelmiş olması, gelecekte bu fayın KB-GD uzanımlı kesiminde de deprem olma ihtimalini artırmaktadır. Bu sismik risk durumunun geçmişte 1938 Akpınar depremiyle ortaya çıkmış olması, Orta Anadolu'nun en azından bu bölgesinin sanıldığı gibi sakin bir bölge olmadığını da ortaya koymuştur. Öte yandan Manahözü Fayının BKB-DGD uzanımlı segmenti ile Yerköy Fay Zonu arasındaki birleşme noktasının varlığı, bölgedeki neotektonik etkinliğe işaret eden bir yükselim olabileceğini de göstermektedir (Şekil 2). Seyfe Fay Zonu ile Manahözü Fayı arasındaki etkileşimle ortaya çıkmış önemli bir yapıda Seyfe çek-ayır havzasıdır. Seyfe çek-ayır havzasının gelişimi, Temiz (2004)'de ayrıntılı olarak incelenmiş ve serbestleşen büklüme bağlı olarak bir model üretilmiştir. Bu modelde ilk havza

oluşumu, Seyfe Fay Zonu üzerinde saat yönündeki bir serbestleşen büklüm üzerinde başlar (Şekil 4a) ve daha sonra gelişen Manahözü Fayı, oluşan ilk havzayı yeniden şekillendirir (Şekil 4b). Akpınar Fayı, Koçyiğit (2003) tarafından tanımlanan Seyfe Fay Zonu içerisinde yer almaktadır ve Manahözü Fayı'nın devamı durumunda değildir. Manahözü Fayının gelişimi, KKB-GGD sıkışma ve ileri aşamada gerilme tensörünün doğu yönünde yer değiştirmesi ile ilişkilidir. Manahözü Fayı son tektonik rejim öncesinde bir normal fay durumunda bulunmuş olması olasıdır. Sonraki

etkilenmede doğrultu bileşeni giderek egemen hale gelmiş olabilir. Bölgede saat yönünde bir rotasyon meydana gelirken, doğrultu atımlı ana yapılar arasında, Manahözü Fayının bulunduğu alanlarda da K-G sıkışma sonucunda saat yönünde ve tersinde sınırlı yanal dönmeler meydana gelmiş olabilir. Bu durum civarda yapılan paleomanyetik çalışmalarda da bölgede hem yamulma hızında hem de gerilme tensörlerinin yönelimlerinde değişiklikler olduğunu göstermektedir (Tatar vd. 1996, 2000, 2002; Gürsoy vd. 1997, 1998, 1999, 2003).



Şekil 4. Seyfe Fay Zonun da serbestleşen büklüme bağlı olarak gelişen Seyfe çek-ayır havzasının gelişim modeli, (a) Çek-ayır havzanın başlangıcı ve (b) Manahözü fay sistemine bağlı olarak havzanın büyümesi, AF: Akpınar fayı, ÇF: Çoğun fayı, TF: Tosunburnu fayı, BF: Boztepe fayı, GF: Gümüşkümbet fayı, MF: Manahözü fayı, KF: Kırşehir fayı, KF1: Karıncalı fayı, YF: Yerköy fayı

Figure 4. Development model of Seyfe pull-apart basin in the Seyfe Fault Zone is related to releasing bend (a) The beginning of the pull-apart basin and (b) Manahözü fault system, depending on the growth of the basin, AF: Akpınar fault, ÇF: Çoğun fault, TF: Tosunburnu fault, BF: Boztepe fault, GF: Gümüşkümbet fault, MF: Manahözü fault, KF: Kırşehir fault, KF1: Karıncalı fault, YF: Yerköy Fault.

EXTENDED SUMMARY

According to the data of Prime Ministry Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), Department of Earthquake (DDB), an earthquake occurred on 10 January 2016 at 19.40 local with its epicenter, Hacıduraklı, the village of Çiçekdağı, Kırşehir. Based on the data of DDB, its coordinates at 39.5640 N-34.3580 E, its focal depth of 13.60 km and a magnitude of 5.0 (M_w) were determined (Table 1, Figure 1). Two foreshocks of magnitudes $M_w=3.6$ and $M_L=2.4$ occurred before the main shock. 45 aftershocks, which their magnitudes changed from 1.1 to 3.5, maintained for quite a while after the earthquake (Figure 2). It was felt in Kırşehir, Yozgat, Kırıkkale, and Ankara at different intensities. In this study, the relation between Manahözü Fault that is thought to be related to the earthquake in Hacıduraklı-Çiçekdağı and Seyfe Fault Zone that controls the deposition of Seyfe Lake and its importance of regional scale will be evaluated.

Kırşehir region, situated in the Anatolian plate, is located in Kayseri-Sivas neo-tectonic region in neotectonic classification (Koçyiğit, 2003). This is used for the region, located in the eastern part of Tuz Lake and Kesikköprü (Koçyiğit, 2003) (Figure 1b). This region is under the effect of the N-S directional compressional regime and characterized with NW and NE trend strike-slip faults. Seyfe Fault Zone is the most important tectonic structure that represents the characteristics of the neotectonic region in the study area (Koçyiğit, 2003; Temiz, 2004) (Figure 2). This zone consists of parallel faults that start from Hasanlar in the southeast of the study area, lie to Taşkovan in the northeast and restrict the depression of Seyfe Lake (Figure 2). Seyfe Fault Zone, approximately 120 km long and an active right-lateral strike-slip structure, the earthquake on 19 April 1938 occurred in Akpınar Fault

segment that was located in Seyfe Fault Zone, approximately 14 km long and set from Akpınar to Taşkovan. Akpınar Fault was 14 km long and located in between the northwest, Taşkovan village and the southeast, Akpınar (Arni, 1938; Parejas and Pamir, 1939). Manahözü Fault that is right-lateral strike-slip fault, characterized with alluvial fan formation and hot spring, has no direct relation with WNW and ENE trend Seyfe Fault Zone is located in the northeast of Akpınar (Figure 3). There are Tosunburnu and Çoğun Faults that show apparent morphotectonics and lineaments between the west, Akpınar and İshocacı and the east, Tosunburnu and Çoğun villages are approximately 20-25 km long and NW-SE trend right-lateral strike-slip parallel faults. There is Boztepe Fault that starts from the east of Çoğun village and lies to the west of Boztepe, is right-lateral strike-slip and oblique fault (Figure 2). There is Gümüşkumbet Fault that is 18 km long and lies to the southeast, bends in the east hillside of Kervansaray Mt. and has normal fault characteristics. There are NW-SE trend Kırşehir and Karıncalı Faults that are located in the west hillside of Kervansaray Mt., parallel to Gümüşkumbet Fault, restrict the depressed areas in Karıncalı village with the depressed areas of Kırşehir. These faults may consist of synthetic faults in the Seyfe Fault Zone, right-lateral strike-slip (Temiz, 2004). Yerköy Fault Zone is one of the other important structures in the study area (Figure 2). This fault zone has the characteristics of the right-lateral strike-slip fault that is NW-SE trend, 30 km long and lies between Yerköy and Şefaati (Koçyiğit, 2003).

Akpınar Fault segment, located in the northwest tip of Seyfe Fault Zone, which controlled the depression of Seyfe Lake cracked on 19 April 1938 and created an earthquake, $M_s=6.8$. The observations of the field (Arni, 1938; Parejas ve

Pamir, 1939) and the focal mechanism solutions of the earthquake indicated the right-lateral strike-slip faulting and the approximate direction of NNW-SSE compressive stress (Jackson and McKenzie, 1984; Canitez and Büyükaşıkoglu, 1984). It was seen that NW-SE directional compressive stress was effective in the focal mechanism solution of Hacıduraklı-Çiçekdağı earthquake on 10 January 2016 and NE-SW directional one was effective in the tensile stress (AFAD-DDB) (Figure 2). The focal mechanism solution of Akpınar earthquake complied with the direction of the stress that is effective in the region but it did not exactly complied with the direction of the stress of the Hacıduraklı-Çiçekdağı earthquake on 10 January 2016 (Figure 2). When one of the strikes was approximately N-S direction seen in the focal mechanism solution of the Hacıduraklı-Çiçekdağı earthquake on 10 January 2016, the other strike was determined as an approximate WNW-ESE trend (Figure 2, Table 1). The solution of the right-lateral strike-slip of the earthquake complied with the alluvial fan distortion on the fault of the field. This WNW-ESE trend is parallel with the strike of Manahözü Fault that is right-lateral strike-slip fault and approximately located in 6 km south of the epicenter of the earthquake. Besides, the foreshock $M_w=3.6$ and aftershocks $M_w=3.8$, $M_w=3.5$ changed on the line and this also complied with the strike of Manahözü Fault. It is not clear whether Manahözü Fault is a structure in Seyfe Fault Zone or not (Figure 2). Manahözü Fault approximately set an 32° angle with Seyfe Fault Zone. It is difficult to evaluate as riedel fractures in terms of its location and the characteristics of the fault. If the fault that lied to the southeast and was parallel to Yerköy Fault Zone was evaluated as the south east segment of Manahözü Fault, Manahözü Fault would be considered one of the important structures to control the depression of Seyfe Lake (Figure 2).

Therefore, it can be said that Manahözü Fault consists of two structural segments. The first one of these segments is WNW-ESE trend segment that Hacıduraklı-Çiçekdağı earthquake on 10 January 2016 occurred and the other one is approximately N60W trend segment (Figure 2). An apparent angular difference between these segments is noticeable. The most important reason of this is the effect and the control of the massif on the development, settlement and trend of the fault. An earthquake occurred in the WNW-ESE segment of Manahözü Fault that consists of two structural segments and this increase the possibility of the earthquake in the NW-SE trend segment in the future. This seismic risk appeared with Akpınar earthquake in 1938 and this indicated that at least this region of Central Anatolia was not as quite as it was thought. On the other hand, it showed that a rise, sign of a neotectonic activity in the region may occur as the result of the convergence between WNW-ESE trend segment of Manahözü Fault and Yerköy Fault Zone (Figure 2). Seyfe pull-apart basin is one of the important structures that appear with the interaction between Manahözü Fault and Seyfe Fault Zone. The development of Seyfe pull-apart basin was studied in detail by Temiz (2004) and a model was created based on the releasing bend. The first occurrence of the basin in this model starts on the releasing bend that is in the clockwise motion of Seyfe Fault Zone (Figure 4a) and then developing Manahözü Fault reshapes the first basin (Figure 4b). Akpınar Fault is located in Seyfe Fault Zone defined by Koçyiğit (2003) and is not the continuation of Manahözü Fault. The development of Manahözü Fault is related to the NNW-SSE compression and the next phase of stress tensor that displaces in the direction of the east. It is possible that Manahözü Fault occurs as a normal fault before the tectonic regime. The component of the strike may be dominant in the next interaction. When a clockwise rotation occurs

generally, clockwise and anti-clockwise restricted rotations may occur among the strike-slip main structures as a result of N-S compression in the areas where Manahözü Fault is also located. This indicates that there are also changes in the speed of the distortion and the directions of stress tensor in the course of time in the paleomagnetic studies of the area (Tatar et al., 1996, 2000, 2002, Gürsoy et al., 1997, 1998, 1999, 2003).

DEĞİNİLEN BELGELER

- AFAD (Afet ve Acil Durum Başkanlığı), DDB (Deprem Dairesi Başkanlığı), 2016. <http://www.deprem.gov.tr/depremdokumanlari/426>, 20 Ocak 2016.
- Arni, P., 1938. Kırşehir, Keskin ve Yerköy zelzelesi hakkında. MTA Enst. yayını, Seri B, 1.
- B.Ü. KRDAE - BDTİM (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme Ve Değerlendirme Merkezi), 2016. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/10-ocak-2015-haciduraklicicekdaği-kirsehir-depremi-ml5-0/>, 5 Şubat 2016.
- Canitez, N., Büyükaşıkoglu, S., 1984. Seismicity of the Sinop nuclear power plant site. Final report, Istanbul Technical University.
- Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O., Temiz, H., 1997. A palaeomagnetic study of the Sivas Basin, Central Turkey: crustal deformation during lateral escape of the Anatolian Block. *Tectonophysics*, 271, 89 - 106.
- Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O., Mesci, L., 1998. Palaeomagnetic study of the Karaman and Karapınar volcanic complexes, central Turkey: neotectonic rotation in the south-central sector of the Anatolian Block. *Tectonophysics*, 29, 191-211.
- Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O., 1999. Palaeomagnetic study of the Galatean Volcanic Province, north-central Turkey: Neogene deformation at the northern border of the Anatolian Block. *Geological Journal*, 34, 7 - 23.
- Gürsoy, H., Tatar, O., Piper, J.D.A., Heimann, A., Mesci, L., 2003. Neotectonic deformation in the Gulf of Iskenderun, Southern Turkey, deduced from paleomagnetic study of the Ceyhan - Osmaniye Volcanics. *Tectonics*, 22, 1067-1079.
- Jackson, J., Mckenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society* 77, 185-264.
- Koçyiğit, A., 2003. Orta Anadolu'nun genel Neotektonik Özellikleri ve Depremselliği. Haymana-Tuzgözü-Ulukişla Basenleri Uygulamalı Çalışma, TPJD, Özel sayı:5, 1-26.
- Parejas, E., Pamir, H. N., 1939. Le tremblement de terre du 19 avril 1938 en Anatolie Centrale. *İst. Üniv. Fen. Fak. Yayınl., seri B., cilt IV, no. 3/4.*
- Tatar, O., Piper, J. D. A., Gürsoy, H., Temiz, H., 1996. Regional Significance of Neotectonic Counterclockwise rotation in central Turkey. *Inter. Geol. Review*, 38, 692-700.
- Tatar, O., Piper, J.D.A., Gürsoy, H., 2000. Palaeomagnetic study of the Erciyes sector of the Ecmis Fault Zone: neotectonic deformation in the southeastern part of the Anatolian Block. In: Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.D.A. (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Geological Society of London, Special Publication*, 173, 423-440.
- Tatar, O., Gürsoy, H., Piper, J.D.A. 2002. Differential Neotectonic rotations in Anatolia and the Tauride Arc: palaeomagnetic investigation of the Erenlerdağı Complex and Isparta volcanic district, south-central Turkey. *Journal of Geological Society (London)*, 159, 281 - 294.
- Temiz, U., 2004. Kırşehir Dolayımın Neotektoniği ve Depremselliği (Neotectonics and seismicity of the Kırşehir region). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 104.
- Temiz, U., Gökten, E., Eikenberg, J., 2009. U/Th dating of fissure ridge travertines from the Kırşehir region (Central Anatolia Turkey): structural relations and

implications for the Neotectonic development of the Anatolian block. *Geodinamica Acta*, 22/4, 201-213.

Temiz, U., Gökten, E. 2011. Ms 6.8 19 Nisan 1938 Akpınar (Kırşehir) Depreminin Coulomb Gerilme Analizi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 54/3, 81-92.

Makale Geliş Tarihi : 26 Şubat 2016

Kabul Tarihi : 17 Mart 2016

Received : 26 February 2016

Accepted : 17 March 2016



Çetin Baraj Gövdesi ve Dolayının Jeolojisi ve Heyelan Araştırması

Geology and Landslide Investigations in and Around the Çetin Dam Site

Doğan PERİNÇEK

*Emekli, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 17020 Çanakkale (e-posta: perincek@yahoo.com)*

ÖZ

Bu çalışmanın amacı; Çetin Barajı'nın gölalanı çevresindeki yerleşim alanlarını tehdit edebilecek olası heyelanları tespit etmektir. Çetin Barajı Siirt'in Pervari ilçesi sınırları içerisinde yüksek eğimli yamaçların bulunduğu Botan Çayı (Ulu Çay) vadisine kurulmaktadır. Çetin Barajı aksı ve gölalanı alloktan birimler üzerinde yer alır. Metamorfik birimlerin ekayları arasında Maden Karmaşığı bulunur. Bu birim heyelanların sebeplerinden biridir. Yamaç eğiminin çok yüksek olması heyelanların en önemli nedenidir. Bu nedene Maden Karmaşığı'nın varlığı da eklenince heyelan miktarı artmıştır. Heyelanı tetikleyecek ikinci bir neden ise depremlerdir. Botan Çayı vadisi boyunca yamaç eğiminin yüksek olmasının nedeni bölgeyi Orta Miyosen'den beri etkileyen tektonizmadır. Bölgenin devamlı yükseldiğini gösteren çok sayıda verilerden en önemlileri askıda bulunan eski nehir yatağının aşınma düzlükleri ve taraçalardır. Bunlar heyelanların göreceli yaşlarını anlamada önemli ipuçları verirler. Bölgenin yükselmesine paralel olarak nehir, yatağını derinleştirmektedir. Bu yükselme vadi yamaç eğiminin artmasına neden olmaktadır. Vadi yamaçlarının eğimi arttıkça eski heyelan döküntüsü içinde yeni, daha genç heyelanlar meydana gelmektedir. Heyelan oluşumunu takiben yamaç aşağıya akan malzemenin nehir yatağını karşı kıyı yönünde ötediği birçok yerde gözlenmiştir. Botan Çayı vadisinin sol ve sağ sahilinde kurulu olan köylerin önemli bir kısmı eski heyelan malzemesi ve aşınma düzlüğü üzerinde kurulmuştur. Eski heyelan malzemesinin topuk veya ayak kısmından yüzeyleyen su buralarda bahçeciliğin gelişmesine neden olmuştur. Baraj gölü suyunun toplanmaya başlandığı ilk yıllarda su altında kalacak bu alanlarda toprak-kaya su doygunluğunun artmasına paralel olarak yeni heyelanlar olması beklenmektedir. Haritalanan heyelanlar göreceli yaşları dikkate alınarak 7 sınıfa ayrılmıştır. En yaşlı olan heyelan için 1, en genç olanı için 7 rakamları kullanılmıştır. 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı heyelanlar aktif olmayan fosil heyelanlardır. 6 ve 7 numaralı heyelanlar ise aktif heyelanlardır. Haritalanan heyelan tipleri yaş verileri dışında akma-kayma tipleri ve akan-kayan malzeme tipi dikkate alınarak sınıflandırılmıştır.

Anahtar sözcükler: Güneydoğu Anadolu, Heyelan, Siirt, taraça, tektonik yükselme, yamaç döküntüsü

ABSTRACT

Purpose of this study is to locate the landslides that can threaten the settlement areas around the Çetin dam reservoir is situated in vicinities of Pervari town of Siirt city. The Çetin Dam is going to be constructed in Botan Çayı (Ulu Çay) valley. The Çetin dam crest, reservoir areas are all located on allochthonous units. The Maden Complex is situated between the slices of the metamorphic rocks. Very steep inclination of the valley slopes are among the significant causes of the landslides. The frequency of the landslides increases when this feature is combined with the presence of the Maden Complex. Another reason triggering the landslides is the earthquakes. The reason why the slope inclination is steeper along Botan Çayı River is the tectonism which affected the region since the Middle Miocene. Among the most important numerous data that shows that the region is uplifting continuously are elevated erosional surface of the old rivers and the terraces can be counted as evidence of uplifting. These features provide important evidences to understand the relative ages of the landslides. The uplifting causes an increase in slope inclination. As the inclination of the slopes increase, new and younger landslides occur in debris of the older landslides. It was observed in many places that the material sliding downslope following the occurrence of the landslide diverted the river bed in the opposite direction. Most of the villages established on both banks along the valley of Botan Çayı River are located on old landslide material, landslide debris and erosional surface. The water emerging from the toe and foot of the older landslide material has promoted the horticultural activities. In line with the increase in water saturation of the rock and soil beneath the reservoir after water holding in the dam, new landslides can be expected around the active landslide areas. Based on their relative ages, the landslides mapped were classified into 7 groups. The symbol «1» was used for the oldest landslide and similarly, «7» was used for the youngest one. The landslides with the numbers «1,2,3,4 and 5» are the inactive, fossil landslides. The landslides indicated with 6 and 7 are active landslides. The landslides also were grouped based on flowing-sliding types and flowing-sliding materials except for dating.

Keywords: *Landslide, scree deposit, Siirt, Southeast Turkey, Tectonic uplift, terrace*

GİRİŞ

Çalışmanın amacı; Siirt'in Pervari ilçesi sınırları içerisinde Botan Çayı (Ulu Çay) üzerinde yapımı planlanan Çetin Barajı'nın gölalanı çevresindeki yerleşim alanlarını tehdit edebilecek olası heyelanları tespit etmektir.

Siirt'in doğusunda kalan çalışma alanı (Şekil 1) yaklaşık 150 kilometre karelik bir alanı kaplamaktadır. Çetin Barajı rezervuar alanı içinde çok sayıda heyelan gözlenmiştir. Bölgedeki köylerden birinde 2010 yılından önce olan bir heyelan nedeniyle köyün yarısı başka bir alana taşınmıştır. Barajın yapılmasından sonra rezervuardaki su seviyesinin değişmesiyle ilgili

olarak değişecek gözenek basıncı duraysız bir ortam yaratabilir. Heyelan oluşumu ile ilgili endişelere bilinçli bir cevap vermek ve ayrıca zarar azaltma önlemlerini belirlemek için rezervuar kıyılarının duraylılığının saptanması için jeoteknik çalışma yapılmasına gereksinim duyulmuştur. Nehir yatağı seviyesinden başlayarak, nehrin sağ ve sol sahilindeki tepelere kadar akaçlama ve rezervuar alanının tümü çalışılmıştır. Özellikle köy evlerinin olduğu alanlar, aynı zamanda tarım alanları ve yollar ile ilgili kaygı duyulmaktadır. Heyelanların rezervuar içinde oluşturacağı dalgaların yaratacağı potansiyel tehlike sözkonusudur.

Ofiste mevcut jeolojik haritalar ve yayınlar kullanılarak saha ile ilgili bilgiler

derlenmiş, takibinde arazi çalışması yapılmıştır. Detaylı haritalama ile potansiyel risk alanları tanımlanmıştır.

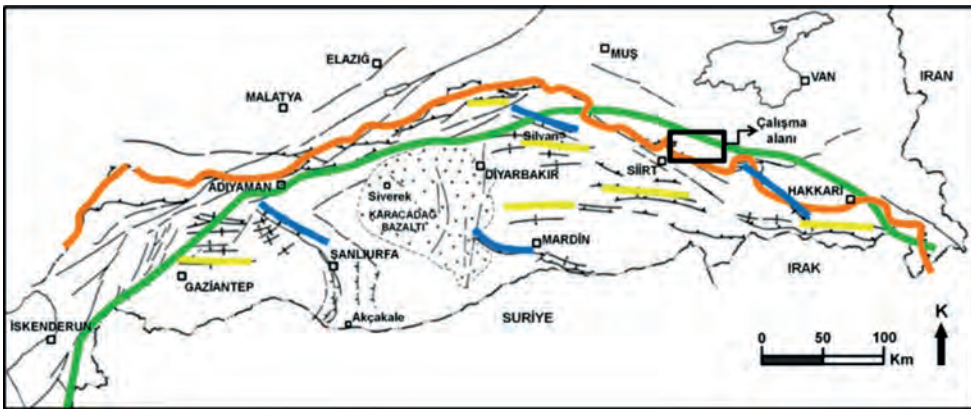
Heyelan tipleri; dairesel (rotasyonal) kayma, **düzlemsel kayma**, **blok kayma**, **kaya düşmesi**, **kaya devrilmesi**, **yamaç döküntüsü** (molozu) akması, yamaç döküntüsü (molozu) **çığı**, **toprakakması**, **çamurakması**, krip, yanal yayılma ve karmaşık heyelanlar olarak sınıflanmaktadır (U.S. Geological Survey, 2009). Heyelan terimi kaya düşmesi, derin yamaç kayması, sık yamaç döküntüsü akması gibi çeşitli zemin hareketlerini kapsar. Yamaçta biriken malzeme suya doygun hale gelince moloz akması ve çamur akması oluşturur. Çetin baraj alanında yüksek eğimli yamaç ortamında gravite heyelanlarının birinci nedenidir, ayrıca başka nedenler de sıralanabilir. Bunlar: 1-Nehirlerin yarattığı aşınma nedeniyle yamaç eğiminin artması, 2-Kaya ve topraktan oluşan yamaçlarda eriyen kar suları ve yoğun yağmurlar nedeniyle su doygunluğunun artması, 3-Deprem nedeniyle ortaya çıkan sarsıntının yamaçlarda yarattığı duraysızlık, büyüklüğü 4 ten

fazla olan depremlerin heyelanları tetiklemesi, 4-Kar – yağmur yüklemesi, yamaçta kaya- toprak-moloz birikmesi, insan eliyle yapılan yapılar nedeniyle aşırı yüklenme ve buna bağlı olarak yamaçlarda yüke direncin azalması.

Yamaç eğiminin yüksek olduğu yerlerdeki tutturulmamış gevşek ya da çatlaklı malzeme heyelanların olmasına neden olabilir, bu tip alanların heyelan olasılığı yüksektir. Her ne kadar heyelana neden olan fiziksel sebepleri tümüyle ortadan kaldırmak mümkün olmasa da, jeolojik etüt, başarılı mühendislik çalışması, etkin zemin güçlendirmesi ve başarılı yönetim heyelanların azaltılmasını sağlayabilir.

BÖLGESEL JEOLJİ

Hakkari-Siirt alanının jeoloji haritası TPAO jeologları tarafından 1977-1978 yıllarında tamamlanmış ve bölgenin jeolojisi Perinçek (1990; 1980b) tarafından yayınlanmıştır. Şekil 1 Geç Kretase sonrası ve Orta-Geç Miyosen bindirmelerinin güney cephesini göstermektedir.



Şekil 1. Güneydoğu Anadolu'nun sadeleştirilmiş tektonik haritası. Yeşil çizgi: Geç Kretase bindirmesi, Turuncu renkli çizgi Orta-Geç Miyosen bindirmesi, Mavi çizgiler: Eosen öncesi yapısal hatları, Sarı çizgiler: Geç Miyosen yapısal hatları göstermektedir (Perinçek vd., 1987; Perinçek ve Çemen, 1990; Perinçek ve Çemen, 1992 basitleştirilerek alınmıştır).

Figure 1. Simplified tectonic map of the Southeast Anatolia. Green line: Late Cretaceous thrust, Orange color line: Middle-Late Miocene thrust, Blue line: pre-Eocene structural trends, Yellow line: Late Miocene structural trends (simplified from Perinçek et al., 1987; Perinçek and Çemen 1990; Perinçek and Çemen 1992).

Çalışma alanı ve dolayında bulunan allokton birimler Bitlis-Zagros bindirme kuşağına aittirler. Çetin Barajı aksı, gölalanı ve membansap alanları allokton birimler üzerinde yer alır. Çalışma alanında genellikle metamorfik kayalar yüzeyleir. Metamorfik birimlerin ekayları arasında Alt-Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı bulunur. Bu birim çamurtaşı, pelajik kireçtaşı, volkanik, şeyl-kumtaşı araldanmasından oluşur ve heyelanların sebeplerinden biridir. Çamurtaşı ve şeyl düzeyleri, birim suya doygun hale geldiğinde kayma düzlemi oluşturur ve üsteki metamorfik kayalar bu kayma düzlemleri boyunca vadi tabanı yönünde hareket ederek heyelanları oluşturmuştur.

Baraj dolayındaki diğer bir allokton birim, yer yer serpantinleşmiş olan ofiyolit topluluğudur. Bu birim aşırı tektonize olmuştur ve serpantinit düzeyleri heyelanların nedenidir. Guleman Grubu baraj alanının kuzeybatısında Belançay Köyü'nün batısında mostra verir. Birimin yüzlekleri göl alanına uzak olduğu için neden olduğu heyelanlar baraj için sorun çıkarmaz. Belençay Köyü dolayında Maden Karmaşığı ve Çüngüş Formasyonu'nun mostraları da vardır. Çüngüş Formasyonu Eosen Miyosen yaşlı kumtaşı-marn araldanması ile temsil edilir. Bulduğu alanlarda heyelan için uygun şartlar oluşturur. Birimin mostra verdiği alanlar baraj göl alanına uzak olduğundan oluşan heyelanlar baraj için sorun oluşturmamaktadır.

Allokton Birimler:

Allokton birimler; Çüngüş Formasyonu, Bitlis Metamorfikleri, Maden karmaşığı ve Guleman Grubu'ndan oluşur.

Çüngüş Formasyonu (Tç)

Geç Miyosen döneminde Güneydoğu Anadolu otokton istif üzerine bindiren allokton birimlerin en alt tektonik dilimini oluşturur. Bitlis Zagros zonunun en altındaki allokton birim olan Çüngüş Formasyonu aşırı derecede tektonize olmuştur, farklı litolojide bloklar içeren Eosen-Miyosen yaşlı, yeşil-gri renkli kumtaşı şeyl araldanmasından oluşur (Sungurlu, 1974; Perinçek ve Özkaya, 1981; Perinçek, 1990; 1980a; 1980b). Tektonizma sonucu olarak bazı dayanımlı litoloji toplulukları bloklaşmış, şeyl düzeyleri ise matrikse dönüşmüştür (Şekil 2 ve 3). Kumtaşı düzeylerinde gözlenen sedimenter yapılar türbiditik akıntı ile çökeliimi işaret eder. Lokal olarak çakıltaşı katkıları ve Maden Karmaşığına ait kireçtaşı ve volkanik blokları ve Guleman Grubuna ait ofiyolit blokları (olistolit) içerir. Birim napların öneyinde yer alan havzada yoğun tektonizma kontrolünde ekaylanarak yığılmış-birikmiştir. İçinde naplardan aktarılmış-taşınmış bloklar (ofiyolit, kireçtaşı vd) içerir. Bazı bloklardan (olistolit) Geç Kretase ve Erken-Orta Eosen yaşları alınmıştır. Birimin çökelleme yaşı ise Eosen-Miyosen olarak kabul görmüştür (Perinçek ve Özkaya, 1981; Perinçek, 1990). Çüngüş Formasyonu Eosen-Miyosen otokton istifi üzerine bindirmiştir. Maden Karmaşığı, Guleman Grubu ve Bitlis Metamorfikleri ise tektonik dokanakla birim üzerinde yer alır (Şekil 3). Ayrıca birçok yerde Erken-Orta Eosen yaşlı karmaşığın (Maden Karmaşığı) metamorfik kayalardan oluşan naplar arasında yer alır.



Şekil 2 Çüngüş Formasyonu'nun genel görünüşü. Birim aşırı derecede tektonize olmuştur. İçerdiği şeyl katkıları nedeniyle heyelan oluşumu için uygun ortam yaratır.

Figure 2. General view of the Çüngüş Formation. The unit is intensively tectonized. Because of the shale content it creates a suitable environment for landslide occurrence.

Bitlis Metamorfileri

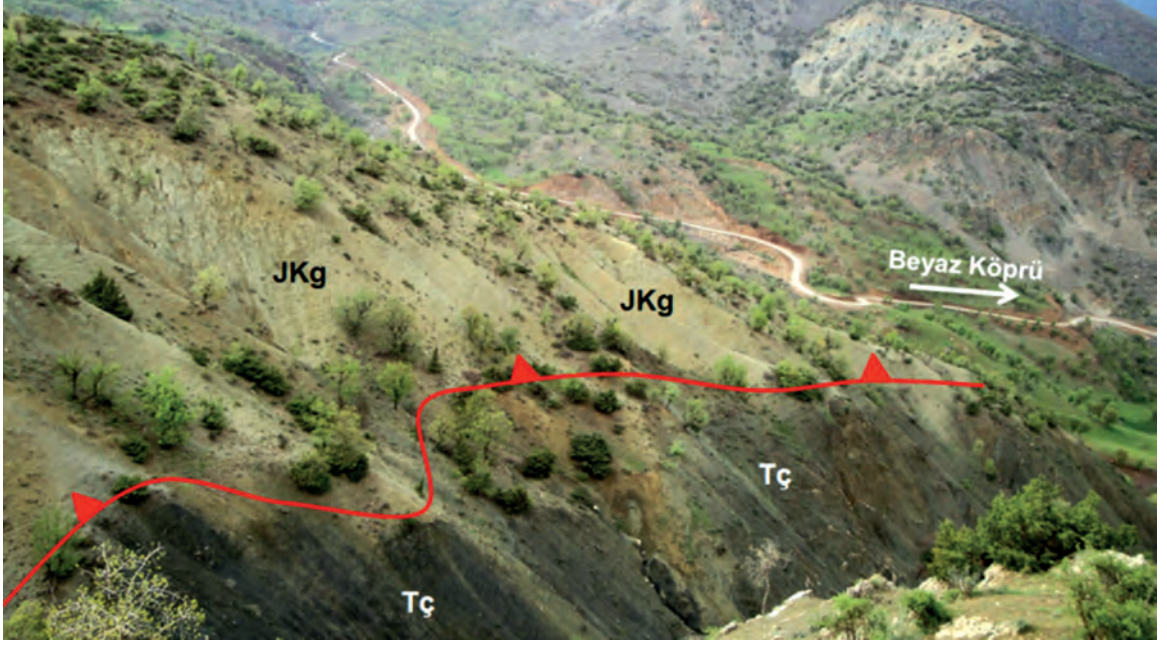
Bitlis Metamorfileri (PzMzb) çalışma alanının kuzey ve kuzeydoğu kesiminde iki farklı tektonik dilim olarak mostra verir. Narsuyu-Dişlinar arasında; alt tektonik dilim (Bitlis Metamorfileri; Mzb1) kristalize kireçtaşı ile temsil olunur. Aynı alanda üst (ikinci) tektonik dilim ise (Bitlis Metamorfileri; PzMzb2) mikaşist, gnays, kuvarsit ve kristalize kireçtaşından oluşur (Perinçek, 1990; 1980b).

Bitlis Metamorfileri (Mzb1-PzMzb1):

Bitlis Metamorfileri'nin alt tektonik dilimi genellikle kristalize kireçtaşı ve daha az oranda

dolotaşı ile temsil olunur. Bitlis Metamorfileri otokton birimler ve allokton Çüngüş Formasyonu ve Maden Karmaşığı üzerine bindirmiştir. Ayrıca Maden karmaşığı açısız uyumsuzlukla Bitlis Metamorfileri üzerinde çökelmiştir (Şekil 4).

Bitlis Metamorfileri (PzMzb2): Bitlis Metamorfilerine ait olan bu tektonik dilim mikaşist, kloritşist, fillat, kuvars-mikaşist, granat-epidot şist, albit-epidot şist, gnays, kuvarsit, meta-kumtaşı, kristalize kireçtaşı ve kalkşistten oluşur. Beğendik Köyü dolay ve doğusunda üst tektonik dilim Maden Karmaşığı ve serpantinleşmiş Guleman Grubu üzerine tektonik dokanakla gelir.



Şekil 3. Büyük Çay vadisi sağ sahilinde İncecik Mahallesi batısında Çüngüş Formasyonu ve bunun üzerine tektonik ilişkili gelen Guleman Grubu (JKg). Kırmızı çizgi bindirmedi.

Figure 3. View of the Çüngüş Formation (Tç) on the eastern bank of Büyük Çay River valley and to the west of İncecik Settlement and the Guleman Group (JKg) which tectonically overlies the Çüngüş Formation.

Maden Karmaşığı (Tma)

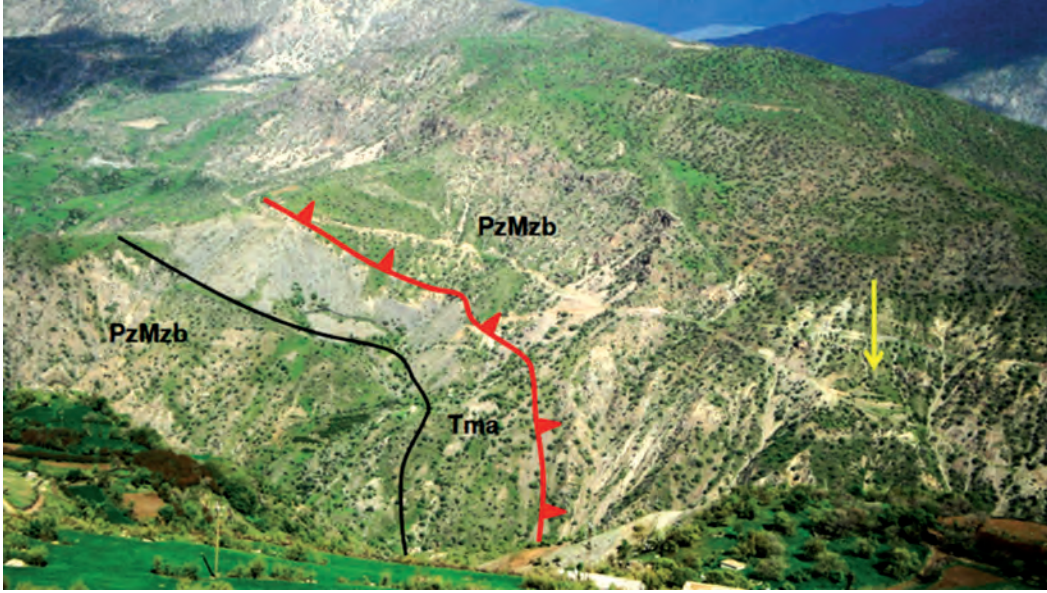
Birim çalışma alanının doğusunda Narlı Beldesi dolayında taban çakıltaşı ile Bitlis Metamorfileri üzerinde yer alır. Kırmızı-gri renkli polijenik elemanlı çakıltaşı kötü boylanmıştır. İstif üste doğru Nummulitli gri kireçtaşı, kırmızı globorotalialı kireçtaşı ve daha üstte spilitik bazalta geçer. Bu litolojiler çalışma alanının birçok yerinde yukarıda belirtildiği gibi normal bir istiflenme sunarsa da, yanal yönde düzensiz ve devamsız olduğu yerler de vardır. Beyaz Köprü kuzeybatısında ise hakim litoloji bazalttır. Bölge genelinde birim killi kırmızı kireçtaşı, kırmızı çamurtaşı, gri kireçtaşı ve bazalt ile temsil olunur (Şekil 4 ve 5).

Bazı alanlarda Maden Karmaşığı (Tma) ve Guleman Grubu (JKg) ayrı ayrı haritalanamayacak şekilde tektonizma ile karışmışlardır. Bu karışma Bitlis Metamorfileri'nin üst tektonik diliminin

güneye Maden Karmaşığı üzerine Orta Eosen sonrasında itilmesi sırasında olmuştur.

Maden Karmaşığı'nın üst sınırı her zaman bindirmeli, alt sınır ise bazı alanlarda lokal olarak tektonik ilişkilidir. Bu nedenle birimin kalınlığı yanal yönde oldukça değişkendir. Birim çalışma alanında Bitlis Metamorfileri'nin alt dilimi üzerine aşıl uyumsuzlukla gelir fakat bu ilişki metamorfilerin üst diliminin Maden Karmaşığı üzerine itilmesi sırasında kısmen bozulmuştur. Pervari kazasının güneyinde Maden Karmaşığı güney yönünde itilerek otokton Tersiyer istifi üzerine bindirmiştir.

Maden Karmaşığının çökme yaşı; gri renkli sığ deniz kireçtaşı ve kırmızı renkli pelajik kireçtaşında tanımlanan fosillere göre Erken-Orta Eosendir (Perinçek ve Özkaya, 1981; Perinçek, 1990; Perinçek, 1980a).



Şekil 4. Çukur Köyü yakınından (sol sahil) Yalkaya Köyü yönünde (sağ sahil) bakış. Maden Karmaşığı diskordanslı ilişkiyle alttaki Bitlis Metamorfitleri üzerindedir. Üst tektonik dilimi oluşturan metamorfik kayalar ise bindirmeli (kırmızı çizgi) ilişkiyle Maden Karmaşığı üzerinde yer alır. Baraj aksı sağ sahilde açılan sondajların yolları sarı ok ile işaretlenmiştir. Lokasyon için Şekil 11'e bakınız.

Figure 4. View from Çukur Village (left coast) to Yalkaya Village (right coast). Maden Complex unconformably overlies the Bitlis Metamorphics and the upper nappe slice of metamorphic rocks were thrust onto the Maden Complex (thrust is marked with red line). The road to drilling sites on the right coast of the dam crest is marked with yellow arrow. For location; see Figure 11



Şekil 5. Büyük Çay vadisi sağ sahilinde Darıcık Mahallesi batısında Maden Karmaşığı'nın (Tma) yastık lavlı volkanitleri. Lokasyon için Şekil 34 ve 39'a bakınız

Figure 5. Pillow lava volcanic rocks of the Maden Complex (Tma) on the right coast of Büyük Çay River valley and west of Darıcık Settlement. For location; see Figures 34 and 39

Guleman Grubu (JKg)

Guleman Grubu (JKg) çalışma alanının kuzeybatısında Belançay yakınında mostra verir (Şekil 3). Bitlis kenet kuşağında, Guleman Grubu adı serpantinleşmiş ultramafik kayalar ve onlarla birlikte bulunan volkanik kayalar için kullanılmıştır. (Sungurlu, 1974; Perinçek, 1979; Perinçek ve Özkaya, 1981; Perinçek, 1990; Perinçek 1980a). Batıda Maden Kazası dolayında yaygın mostraları olan birimde hakim litolojiler; serpantin, proksenit, dunit, harzburgit, gabro, diyabaz ve bazaltır. Birim çalışma alanında serpantin ile temsil olunur (Şekil 6).

Guleman Grubu Geç Kretase döneminde kuzeyden güneye Bitlis Metamorfite üzerine naplar halinde bindirmiştir. Daha sonra Maden Karmaşığı, metamorfite ve Guleman Grubu üzerine çökelmiştir. Orta Eosenden sonra metamorfite'den oluşan ikinci nap dilimi Maden Karmaşığı üzerine itilmiştir.

Çalışma alanında Guleman Grubu olarak haritalanan serpantin mostraları için yaş verisi limitlidir. Sungurlu vd (1985) birim için Jurasik-Kretase yaşını önermişlerdir.



Şekil 6. Büyük Çay vadisi sağ sahilinde Darıcık Mahallesi güneybatısında Yedikapı Köyü dolayında Guleman Grubu (JKg) üzerine Bitlis Metamorfite'nin kristalize kireçtaşı (PzMzb1) bindirmeli ilişkisi ile gelir. Lokasyon için Şekil 34'e bakınız

Figure 6. *Kristalized limestone of the Bitlis Matamorphics (PzMzb1) thrust over the serpentin of the Guleman Group (JKg) around Yedikapı Village to the southwest of Darıcık Settlement on the right coast of the Büyük Çay River valley. For location; see Figure 34*

Tektonik

Bölgenin yakın zaman tektoniğinin ana hatları: Türkiye, sismik aktivitenin etkin olduğu Alp-Himalaya orojenik kuşağında yer alır. Anadolu'nun yakın zaman tektoniği levha ölçeğinde etkin tektonik deformasyon sonucu gelişmiştir (Şekil 1). Bindirme zonu Neo-Tetis okyanusunun güney kolunun kapanması sonucu Arap-Afrika ve Avrasya levhalarının K-G ve KD-GB yaklaşması ile oluşmuştur. (Şengör ve Yılmaz, 1981). İki levha arasındaki konverjant hareket Orta Geç Miyosende kıta kıta çarpışması ile sonuçlanmıştır. Türkiye ve çevresinin Neotektonik dönemi Bitlis-Zagros boyunca oluşan çarpışma ile başlar. Bölgedeki Neotektonik döneme ait yapılar, levha içi tektonik deformasyonun ürünüdür ve kıta-kıta çarpışma sonrasında olmuşlardır (Şengör, 1980). Anadolu, Paleotektonik dönemin sonunda, Neotektonik süreç başlarında kıtasal kısalmayla ilgili olarak, sıkışmalı tektonik rejim kontrolünde, yükselerek günümüzdeki yüksek plato morfolojisini kazanmış ve Anadolu'ya peneplen morfoloji hakim olmuştur. Arabistan-Afrika ve Avrasya kıtalarının

çarpışması sonucu oluşan orojenik kuşak Türkiye sınırları içinde Bitlis Kenet Zonu olarak tanınır.

Arabistan kıtasını kuzeyden sınırlayan Bitlis Kenet Kuşağı yapısal olarak güneye ilerleyen bindirmelerle temsil edilir. Güneydoğu Anadolu Bindirmesi, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları ile birlikte Anadolu'nun Neotektonik yapısını şekillendiren mega-tektonik yapılarından biridir.

Tektonik olaylar: Arabistan Kıtası'nın kuzey kenarını oluşturan Güneydoğu Anadolu'da Paleotektonik dönemde Erken Kretase ile Orta Miyosen arasında üç önemli sıkışma rejimi yaşanmıştır. 1) Geç Kretase, 2) Erken Eosen öncesi, muhtemelen Geç Paleosen, 3) Orta Eosen sonrası muhtemelen Geç Eosen olarak tanımlanmıştır (Perinçek 1980a). Diğer taraftan, neotektonik dönemin Orta Miyosen de başlayan sıkışmalı tektonik rejim koşulları günümüzde de sürmektedir.

İlk paleotektonik evre Geç Kretase'de olmuş ve kuzeydeki Tetis Okyanusu'na ait malzemelerinin de dahil olduğu allokton birimlerin bindirmeler oluşturması ile sonuçlanmıştır. Aynı dönemde Guleman Grubunun ofiyolitik kayaları Bitlis Metamorfitleleri üzerine bindirmiştir. Bu dönemde Arabistan kıtası üzerine yerleşen allokton birimler, kıtanın kuzey kenarında yer alan Kampaniyen havzasını doldurmuştur. Şekil 1'de yeşil ile gösterilen hat Geç Kretase naplarının en güney cephesini oluşturur. Kampaniyen havzasının allokton birimlerle dolmasını takiben Arabistan Kıtası üzerinde güneyden kuzeye ilerleyerek başlayan Maastrichtiyen transgresyonu ile allokton birimleri mostra verdiği alanlar karasal ve denizel birimler tarafından örtülmüştür.

Paleosen sonunda Arabistan Kıtası'nın kuzeydoğu kenarını etkileyen yeni bir tektonik faz kıvrılma, yükselme ve aşınmaya neden olmuştur

(Perinçek, 1990; 1980a; Perinçek ve Çemen, 1992). Arabistan Kıtası'nın kuzey kenarı KD-GB yönlü sıkışmanın etkisinde kalmıştır. Eosen öncesi oluşan antiklinal eksenleri Şekil 1'de mavi çizgilerle gösterilmiştir. Güneydoğu Anadolu'nun kuzey ve doğusunda kıvrımlanmayı takiben yükselme ve önemli oranda aşınma olmuştur (Perinçek vd., 1992, Şekil 16). Kıvrılma ve aşınma evresinden sonra, Güneydoğu Anadolu'nun önemli bir bölümü Erken Eosen transgresyonu ile tekrar denizel ortam koşullarına dönmüştür (Perinçek, 1990; 1980a; Perinçek ve Çemen, 1992).

Erken-Orta Eosen döneminde, Güneydoğu Anadolu'da transgresyon maksimum sınırlarına ulaşmış ve bölge tamamen sular altında kalmıştır (Perinçek vd., 1992). Bu dönemde kuzeyde temelini Bitlis Metamorfitleleri ve Guleman Grubu'nun oluşturduğu faylarla kontrollü havzada Maden Karmaşığı çökelmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Eosen sonunda, Arabistan Kıtası'nın kuzey kenarı K-G sıkışmanın etkisinde kalmaya başlamış, Maden Havzası kapanmış, Maden Karmaşığı ve bununla birlikte havzanın tabanını oluşturan Bitlis Metamorfitleleri ve Guleman Grubu naplar halinde güneye Çüngüş Havzası'nın olduğu alana itilmişlerdir. Bu tektonik olay etkisini Arabistan Kıtası üzerinde de göstermiş ve Geç Eosen döneminde Güneydoğu Anadolu'da regresyon başlamıştır. Geç Eosen-Oligosen fasiyes haritasında, bu tektonik olay ve bunun etkisiyle gelişen regresyonun işaretleri belirgindir (Perinçek vd., 1992).

Miyosen tektonik olayların en etkin olduğu dönemdir, bu dönemde oluşan bindirmelerin genleri öncekilere göre daha büyük boyutlardadır. Söz konusu K-G sıkışma rejimi bölgede D-B doğrultulu yapıların gelişmesiyle sonuçlanmıştır. Şekil 1'de görülen turuncu renkli bindirme hatları ve sarı renkli D-B doğrultulu yapısal eksenler bu dönemin yapısal ürünleridir.

Geç Miyosende Güneydoğu Anadolu'yu etkileyen sıkışma kuvvetleri öncelikle düşük açılı bindirmelere neden olmuş daha sonra doğrultu atımlı fayların gelişmesini sağlamıştır. Kenet kuşağına sub-paralel olarak uzanan Doğu Anadolu Fayı dışındaki faylar Arabistan Kıtası platformuna ait otokton istifinin olduğu alanda etkin olmuşlardır. Bu faylar kıta içi deformasyonla ilgili olup Doğu Anadolu Fayı'ndan farklıdır.

ÇETİN BARAJI VE DOLAYINDAKİ KUVATERNER ÇÖKELLERİ VE HEYELANLARIN ÖZELLİKLERİNİN TANIMLANMASI

Kuvaterner çökellerinin dağılımı ve bölgede gözlenen heyelanlar iki alt başlıkta incelenmiştir. Bunlar aşağıda verilen başlıklar altında sunulacaktır.

- 1- Dişlinar, Çetin Baraj aksı ile Pervari arasında Botan Çayı (Ulu Çay) Vadisi boyunca gözlenen Kuvaterner çökelleri ve heyelanların genel özellikleri ve
- 2- Çetin Baraj aksı, İncecik Köyü, Beyaz Köprü arasında ve dolaylarında Büyük Çay Vadisi boyunca gözlenen Kuvaterner çökelleri ve heyelanların genel özellikleri.

Çetin Barajı, yüksek eğimli yamaçların bulunduğu Botan Çayı (Ulu Çay) Vadisine kurulmaktadır. Yamaç eğiminin çok yüksek olması heyelanların en önemli nedenidir. Bu nedene Maden Karmaşığı'nın varlığı da eklenince heyelan miktarı artmıştır. Pervari ile Çukur yerleşim alanları arasında sol sahilde heyelan çok sayıdadır. Bunun nedeni yamaç eğimi ve bu sahildeki Maden Karmaşığı mostralarıdır. Aynı alanda sağ sahilde sadece metamorfik kayalar yüzeylenir ve heyelan sayısı çok azdır. Çukur Köyü batısında her iki sahilde Bitlis Metamorfikleri ve Maden Karmaşığı birlikte bulunur ve heyelan yoğunluğu sağ ve sol sahilde birbirine yakın sayıdadır.

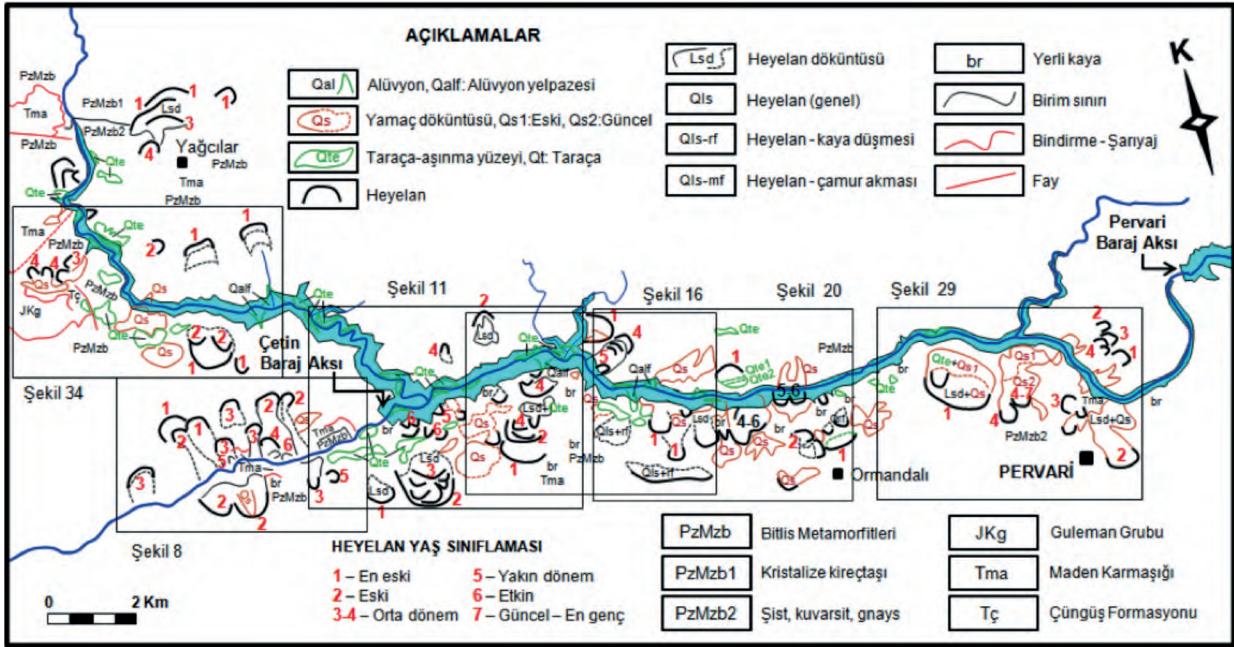
Botan Çayı (Ulu Çay) Vadisi boyunca yamaç eğiminin yüksek olmasının nedeni bölgeyi Orta Miyosen'den beri etkileyen tektonizmadır. Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağı Orta Miyosen ile günümüz arasında kuzey-güney yönünde sıkışmaktadır. Sıkışma şarījaj, ters fay ve doğrultu atımlı faylarla karşılaşmakta ve bölge devamlı yükselmektedir. Bölgenin devamlı yükseldiğini gösteren çok sayıda verilerden en önemlileri askıda bulunan eski nehir yatağı aşınma düzlükleri (Qte) ve taraçalardır (Qt). Çalışma alanında yapılan jeolojik haritalama sırasında aşınma düzlükleri-taraçalar da haritalanmıştır. Bunlar heyelanların göreceli yaşlarını anlamada önemli ipuçları verirler. Bölgenin tektonik yükselmesi aynı zamanda vadi yamaç eğiminin artmasına neden olmaktadır. Vadi yamaçlarının eğimi arttıkça eski heyelan döküntüsü içinde yeni, daha genç heyelanlar meydana gelmektedir. Bölge yükseldikçe nehir vadisini derinleştirmekte yamaçlardaki yamaç döküntüsü birikintilerinin, yamaçta yığılmış olan eski heyelan malzemesinin nehir kenarında bulunan mostraları, nehir sahili boyunca akarsu tarafından oyulmakta, yamaçta desteksiz kalan malzeme içinde yeni heyelanlar oluşmaktadır. Akarsu, kıyılarındaki eski heyelan topuklarını aşındırınca, topuktaki ağırlık kalkmakta, daha yukarı kotlarda yamaç dengesi bozulmakta ve buralarda yenilenen heyelanlar olmaktadır. Bunun yanında, baraj yapımından sonra göl oluşması nedeniyle akarsuyun oyma-aşınma etkisi ortadan kalkacak, ya da önemli oranda azalacaktır. Böylece heyelan tetikleyen sebeplerden biri ortadan kalkacak, heyelan oluşumu bu açıdan kısmen azalacaktır. Baraj bitimini takiben, göl alanında birikecek su, göl kıyısında kalan malzemenin suya doygunluğunu artırarak kaymaya neden olması beklenmektedir.

Çetin barajı dolayında yapılan heyelan etüdü 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Önce

büroda uydu görüntüleri ve 1/35000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılarak heyelan alanları ve diğer Kuvaterner çökelleri ve bazı kaya birimlerinin sınırları 1/25000 ölçekli topografya haritasına arazide kontrol edilmek üzere çizilmiştir. Arazi çalışması sırasında tanımlanan heyelanlar ve diğer jeolojik bulgular doğrulanarak haritaya işlenmiştir (Şekil 7).

Haritalanan heyelanlar göreceli yaşları dikkate alınarak 7 sınıfa ayrılmıştır. En yaşlı olan heyelan için 1, en genç olanı için 7 rakamları kullanılmıştır. Haritalanan heyelanların çoğunda göreceli yaş değeri heyelanın yanına işaretlenmiştir. 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı heyelanlar aktif olmayan fosil heyelanlardır. 6 ve 7 ise aktif heyelanlardır.

2. Heyelan topuk malzemesi altında yer alan kayma düzleminin akarsu yatağından yüksekliği,
3. Heyelanın olduğu alanda heyelan sonrası oluşan düzlüğün konumu,
4. Heyelan malzemesinin aşınma ve vadi tabanına aktarılma miktarı,
5. Heyelan sonrası oluşan yamaç döküntüsü-yamaç molozu ve alüvyon taraçası çökelleri ile alüvyon malzemesinin ilişkisi. Söz konusu bu çökellerin miktarı,
6. Heyelan malzemesinin yıkanma miktarı (aşırı yıkanma ve heyelan malzemesinin matriks kısmının taşınmış olması heyelanın yaşlı olduğunu göstermektedir),



Şekil 7. Çetin Barajı ve dolayının heyelan, taraça, yamaç döküntüsü ve diğer Kuvaterner çökel haritası.

Figure 7. Landslide, terraces, scree and other Quaternary deposits map of Çetin Dam and surrounding area

Heyelanlara göreceli yaşlar verilirken aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır.

1. Heyelanın tümünün bugünkü nehir tabanından yüksekliği,

7. Heyelan malzemesi üzerinde gözlenen bitki örtüsü miktarı ve sıklığı,
8. Heyelan alanındaki ağaçların konumu, topografya ile ilişkisi, heyelandan etkilenip

etkilenmediği, hangi aşamada etkilendiği. Ağaçların heyelan sonrasında ve öncesinde büyüme miktarı,

9. Heyelan malzemesi üzerinde yerleşim olup olmadığı, varsa bu yerleşimin yaşının dikkate alınarak heyelanın yaşı hakkında yorumsal bilgi sunulması,
10. Heyelan tacını oluşturan kırılma düzlemindeki aşınma miktarı,
11. Heyelan topuğundaki malzemenin konumu, aşınma miktarı. Akarsu yatağını ötelediyse bunun miktarı ve ötelemenin korunma miktarı,
12. Heyelanlar iç içe ise birbiriyle ilişkisi (büyük heyelanlar içindeki küçük heyelanların çoğunlukla daha genç oldukları gözlenmiştir).

Bölgede gözlenen arkeolojik buluntular (artifacts) dikkate alındığında 1 numaralı heyelanın Milattan önceki bir döneme ait olduğu söylenebilir (Candan Kozanlı, Dr Rüstem Arslan; sözlü görüşme). Bu veri nedeniyle 1 ve belki de 2 numaralı heyelanların günümüzden 2-4 bin yıl beklide 5 bin yıl önce oluştuğu düşünülmektedir. 1 ve 2 numaralı heyelanların birçoğunun heyelan malzemesi önemli oranda aşındırılmıştır. Bunlar ve diğer fosil heyelanların bir kısmının kayma düzlemi (surface of rupture - surface of separation) aşınma nedeniyle görünür hale gelmiştir. 1 ve 2 numaralı heyelanların birçoğu bölgenin hızlı yükselmesine paralel olarak askıdadır, topuk kısımları nehir tabanından çok yüksekte kalmıştır. 6 ve 7 numaralı heyelanlar ise aktif heyelanlardır. Bu gruptaki heyelanlar Gökçekoru Köyü kuzeybatısında, Gölgele-Ayvalıbağ köyleri arasında, Ayvalıbağ Köyü kuzeyinde ve Narsuyu Köyü doğusunda haritalanmıştır. 7 numaralı heyelanlar günümüzde aktiftir ve bazıları 2010 yılı İlkbaharında eski heyelan malzemesinin tekrar hareket etmesiyle oluşmuştur. 6 ile tanımlanan heyelanlar ise yakın

geçmişte aktif olmuş olan ve tekrar aktif hale gelme potansiyeli olan heyelanlardır. 6 ve 7 ile işaretli heyelanlar haritada kırmızı ile renklendirilmiştir. Bu alanlarda baraj gölünün su toplaması sırasında ve sonrasında kayadaki su doyunluğunun artması nedeniyle, ilk yıllarda heyelanlar oluşabilir..

Haritalanan heyelan tipleri yaş verileri dışında akma-kayma tipleri ve akan-kayan malzeme tipi dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Haritaya çizilen heyelanların (Qls) önemli bir bölümünün rotasyonel veya düzlemsel kayma yüzeyi bulunmaktadır. Bunlar çalışma alanında çok yaygındır. Ayrıca kaya düşmesi (Qls-rf) ve çamur akması (Qls-mf) olarak haritalanan heyelanlar vardır. Haritada heyelanların çoğu için benzer simge (Qls) kullanılmıştır.

Heyelan oluşumunu takiben yamaç aşağıya akan malzemenin nehir yatağını karşı kıyı yönünde ötelediği birçok yerde gözlenmiştir.

Çalışma alanında taraça ve heyelanlar dışında yamaç döküntüsü - yamaç molozu (talus-slope wash) alanları da mümkün olduğunca jeoloji haritasına çizilmiştir. Yamaç döküntüsü gelişimi kısmen heyelan gelişimine paralel olarak oluşmaktadır. Heyelan sonrası heyelan taç alanında yaygın yamaç döküntüsü geliştiği görülür. Eski heyelanlar sonrası yer değiştiren baş, taç ve topuk malzemesi vadinin derinleşmesine paralel olarak daha aşağı kotlara akarak yeni yamaç ve heyelan döküntüsünün oluşmasına neden olmuştur.

Botan Çayı vadisinin sol ve sağ sahilinde kurulu olan köylerin önemli bir kısmı eski heyelan malzemesi üzerinde kurulmuştur. Heyelan oluşumu sonrası oluşan düzlükler ve bu düzlükler dolayında gelişen aşınma yüzeyleri yerleşim için cazip alanlar haline gelmiştir. Heyelan malzemesinin topuk veya ayak kısmından yüzeyleyen su ise buralarda bahçe yapımını teşvik etmiştir. Bazı köyler ise sadece yamaç döküntüsü birikim alanları üzerine kurulmuştur.

Çalışma alanında sol sahildeki Gölgeli Köyü kısmen terk edilmiştir. Terk nedeni bu köy yakınındaki heyelanlardır. Ayrıca Çetin Baraj aksının batısında sol sahilde kalan Üçoyuk Köyü'nde de terk edilmiş evler vardır.

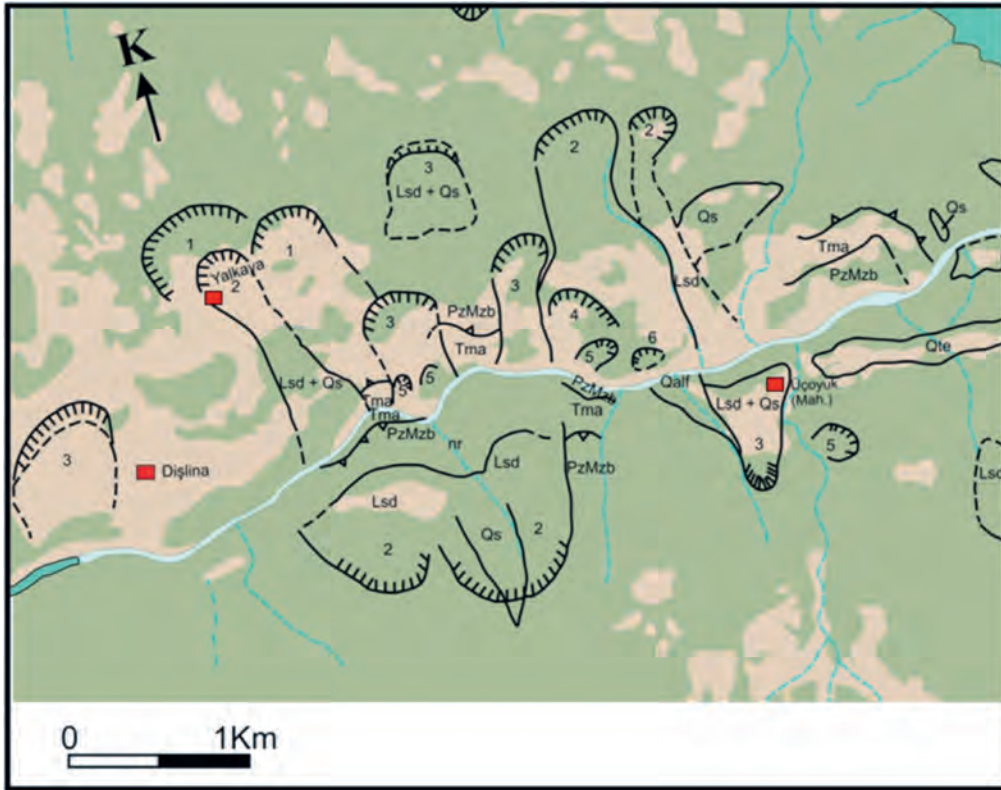
Dişlınar, Çetin Baraj aksı, Pervari arasında kalan Botan Çay Vadisi boyunca gözlenen Kuvaterner çökelleri ve heyelanların genel özellikleri

Bu bölümde tartışılacak konunun jeolojik olay veya çökel türüne bakmadan söz konusu jeolojik bilgi mansap yönünden başlayıp memba yönüne doğru verilecektir.

Çalışma alanının en batısında haritalan heyelan Dişlınar Köyü batısındadır (sağ sahil) (Şekil 7 ve Şekil 8). Malzemesi önemli oranda

aşındırılmış olan heyelanın göreceli yaşı 3 olarak tanımlanmıştır. Heyelan tacı 1100 m dolayındadır (Şekil 9).

Yalkaya Köyü kuzeybatısı ve kuzeydoğusunda göreceli yaşı 1 olan iki tane heyelan saptanmıştır. Bu heyelan taçları sırasıyla 1380 m ve 1310 m dolayındadır. Köy heyelandan sonra oluşan heyelanın baş kısmına yakın düzlük üzerine kurulmuştur. Aynı alanda gözlenen üçüncü heyelan diğer iki heyelana göre daha gençtir. Göreceli yaşı 2 olan bu heyelanın ve daha yaşlı olan diğer iki heyelanın malzemesi zaman içerisinde yamaç aşağıya akarak heyelan döküntüsü (landslide debris) olarak çökelmiştir. Daha sonra heyelan döküntüsü üzerinde yamaç döküntüsü birikmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Yalkaya-Arıca-Dişlınar-Üçoyuk dolayının heyelan haritası.

Figure 8. Landslide map of the Yalkaya-Arıca-Dişlınar-Üçoyuk area.



Şekil 9. Arıca Köyü (sol sahil) dolayından terk edilmiş EİEİ kampına (sağ sahil) bakış. EİEİ kampı heyelanın taç kısmından dönerek kayan heyelan malzemesi üzerinde kurulmuştur. Daha sonra kayan malzeme kısmen taşınmıştır. Qrc: Yeni heyelan. Lokasyon için Şekil 8'e bakınız.

Figure 9. View of deserted EİEİ campus and surrounding area (right coast) from Arıca Village (left coast). EİEİ's Campus constructed on backward rotated surface (head). Later slide material partially removed. Qrc: recent sliding. For location; see Figure 8.

EİEİ etüt kampı kuzeyinde gözlenen heyelan tacı dolayından kopan heyelan malzemesi nehir yönünde kayarak kampın kurulduğu düzlüğü oluşturmuştur. Bu heyelanın göreceli yaşı 3 olarak yorumlanmıştır (Şekil 9). Söz konusu heyelan malzemesinin kapladığı alanda göreceli yaşı 5 olan ikincil heyelanlar gözlenmiştir. Söz konusu heyelanın doğu ve batısında Maden Karmaşığı mostra verir (Şekil 4). Heyelan malzemesinin döküntüsü altında da Maden Karmaşığı bulunur. Maden Karmaşığı bu alanda ve birçok heyelan için uygun kayma koşulları yaratmıştır. Karmaşık üzerindeki Bitlis Metamorfileri Maden Karmaşığı'nın suya doyan çamurtaşı katkıları üzerinde yamaç aşağıya kaymıştır.

Terk edilmiş EİEİ kampı kuzeyinde de göreceli yaşı 2 olan metamorfiterler üzerinde diğer

bir heyelan saptanmıştır (Şekil 8). Bu heyelanın tacı 1250 m dolayındadır. Heyelanın kayma düzlemi 1050 m yükseklikte ve askıdadır.

EİEİ kampının doğusunda 1250 m kotlarında göreceli yaşı 2 olan iki adet heyelan vardır. Bunların yanında 1275 m kotlarındaki diğer bir heyelanın göreceli yaşının ise 3 olduğu düşünülmektedir (Şekil 9). Şekil 8'de göreceli yaşı 2, 4 ve 5 olduğu düşünülen, birbiri içinde yer alan, üç tane heyelan görülmektedir. Üçoyuk Sırtı batısında görülen heyelan yakın zamandaki aktiviteleri nedeniyle Botan Çayı (Ulu Çay) yatağını ötelemiştir (Şekil 9). Nehrin sağ kıyısındaki eski ve yeni heyelan döküntüsü arasında alüvyon taraçası saptanmıştır (Şekil 10).

Şekil 9’da görülen heyelanların olma nedeni heyelan malzemesinin altında kalan Maden Karmaşığı’dır. Söz konusu Karmaşık, heyelanların batısında ve doğusunda mostra verir. Maden Karmaşığı baraj aksı yönünde nehir yatağına yaklaşır (Şekil 4) ve sol sahile geçer.

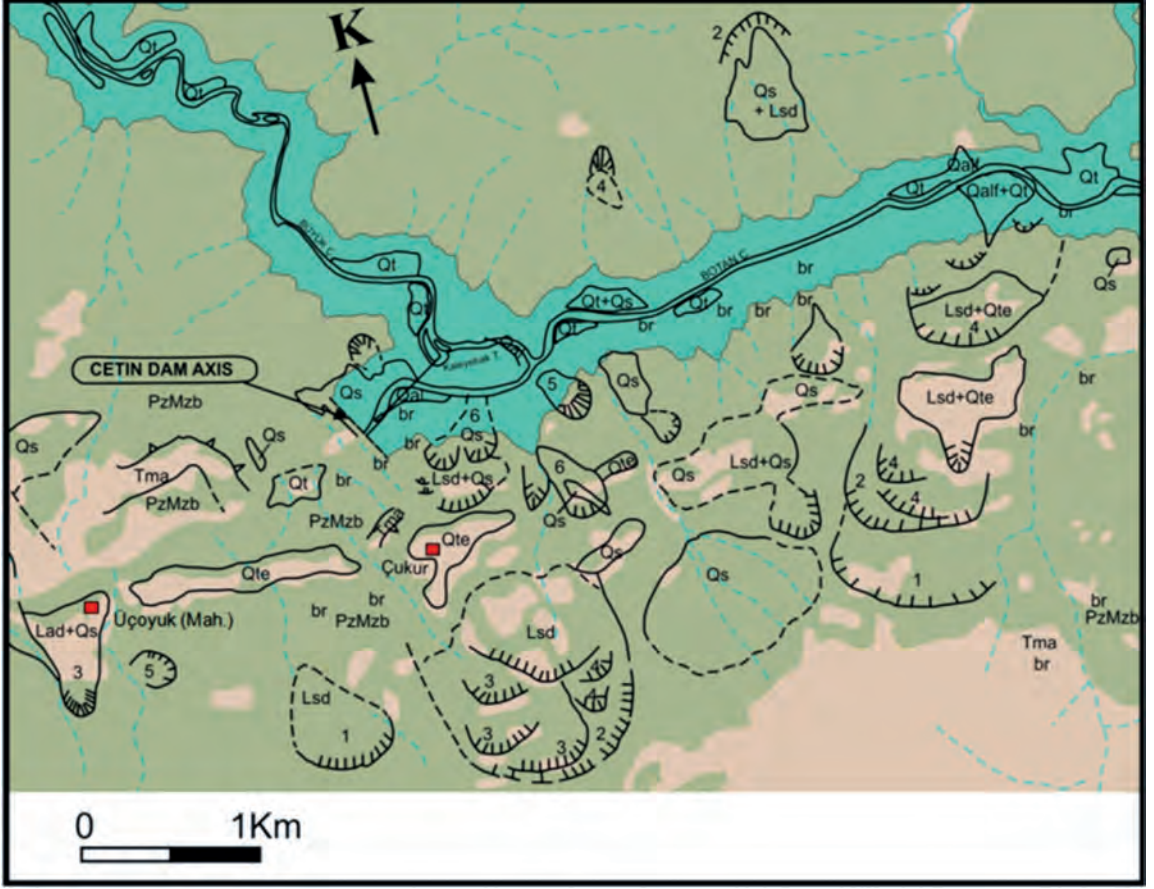
Sol sahilde Arıca Mahallesi güneyinde (Şekil 8) iki adet, göreceli yaşı 2 olan heyelan haritalanmıştır. Bu heyelanlar Botan Çayı (Ulu

Çay) yatağının bugünkü kotundan yaklaşık 150 m yüksekte aktığı dönemde olmuştur. Heyelan kayma düzlemi askıdadır ve nehir yatağından 150 m yüksektedir. Bu heyelanın da nedeni heyelan topuğunda mostra veren Maden Karmaşığı’nın çamurtaşı düzeyleridir. Arıca Mahallesi heyelan malzemesi - döküntüsü üzerinde kurulmuştur. Köyün güneydoğusunda heyelan taç alanını örten yamaç molozu - döküntüsü heyelanın göreceli yaşını anlamada veri olarak kullanılmıştır.



Şekil 10. Üçoyuk Köyü kuzeybatısında, sağ sahilde iki farklı yaştaki heyelan topuk döküntüsü malzemesinin yakından görünüşü. Alüvyon taraça çökelleri eski heyelanın topuk malzemesi üzerinde yeni kayan topuk malzemesinin altında yer alır. Lokasyon için Şekil 8’e bakınız.

Figure 10. Close view of two landslides toe debris (right coast). Alluvial terrace deposit overlies ancient toe debris and underlies recent toe debris. Location: northwest of Üçoyuk Village. For location; see Figure 8.



Şekil 11. Üçoyuk-Çukur-Gökbel dolayının heyelan haritası.
 Figure 11. Landslide map of the Üçoyuk-Çukur-Gökbel area.

Üçoyuk Mahallesi (sol sahil) eski aşınma yüzeyi seki - taraça üzerinde kuruludur. Üçoyuk Mahallesi güneyinde göreceli yaşı 3 olan heyelan bulunur (Şekil 11). Bu heyelan alanından taşınan malzeme ve aynı alandaki yamaç döküntüsü kışın su taşıyan dereler kanalıyla Botan Çay vadi tabanına kadar ulaşan alüvyon yelpazesinin oluşmasına neden olmuştur. Mahalle dolayındaki eski seki-taraça doğu yönünde Çukur köyüne kadar kesikli olarak uzanır (Şekil 11).

Üçoyuk Mahallesi güneydoğusunda akma yönü açısından diğer heyelanlardan farklı olan bir heyelan haritalanmıştır (Şekil 12). Bunun göreceli yaşı 5 olup heyelan malzemesinin oluşturduğu döküntünün tekrar kaydığı ve daha genç heyelanlar oluşturduğu görülür. İkincil heyelanların ölçeği 1/25000 ölçekli haritaya çizilemeyecek kadar küçüktür. Söz konusu heyelan Botan Çay vadisi yönünde güneye değil bu vadiye doğru uzanan yan dere üzerindedir, doğudan batıya akmıştır.



Şekil 12. Üçoyuk Mahallesi güneydoğusunda heyelan (Qls1) ve heyelan malzemesi üzerine gelişen yamaç döküntüsü (talus) çökelleri (Qs). Qls2 ve Qls3 daha genç ikincil heyelanlardır. Lokasyon için Şekil 8'e bakınız.

Figure 12. Landslide (Qls1) in southwest of Üçoyuk Settlement and talus sediments (Qs) developed on the landslide material. Qls2 and Qls3 are younger, secondary landslides. For location; see Figure 8.

Çukur Köyü eski bir seki (taraça- aşınma yüzeyi) üzerinde kurulmuştur (Şekil 11). Bu alanda bulunan heyelanların oluşturduğu düzensiz topografya belirgindir. Köyün güney- güneydoğusunda iç içe heyelanlar görülür. Göreceli yaşı 3 olarak yorumlanan heyelan alanı içinde daha genç heyelanlar tespit edilmiştir. Genç heyelanların dört tanesinin göreceli yaşının 3, iki tanesinin ise 4 olduğu düşünülmektedir (Şekil 11).

Çukur Köyü kuzeydoğusunda haritalanan heyelanların nedeni köyün kuzeybatısında mostra veren Maden Karmaşığdır. Maden Karmaşığı

doğu yönünde heyelan malzemesi döküntüsü tarafından örtülür. Şekil 13'te görülen heyelan malzemesi üzerinde yamaç döküntüsü gelişmiştir. Bu alandaki heyelanın göreceli yaşı 5 olarak tanımlanmıştır. Aynı alanda 6 göreceli yaşlı küçük heyelanlar da bulunur. Bunlar 1/25000 ölçekli haritaya çizilemeyecek boyuttadır. Şekil 13'te görülen heyelanın topuk kısmında göreceli yaşı 6 olan iki heyelan daha vardır. Bunların topuk kısımları kısmen baraj göl alanında kalacaktır. Fakat heyelanların topuk alanında yerli kaya olduğundan dolayı bu iki heyelanın sorun çıkarması beklenmemektedir.



Şekil 13. Çukur Köyü kuzeydoğusunda, sol sahilinde (göl sahası dışında) heyelan malzemesi üzerinde gelişen yamaç döküntüsü (molozu) çökelleri (Qs). Lokasyon için Şekil 11'e bakınız.

Figure 13. Scree-talus sediments (Qs). developed on the landslide material on the left coast (outside the reservoir area) to the northeast of the Çukur Village. For location; see Figure 11.

Çetin Baraj aksı yakın doğusunda Büyük Çay Botan Çay'ına kavuşur (Şekil 11). Kavuşma noktasının hemen doğusunda farklı yaşta iki alüvyon taraçası gözlenmiştir (Şekil 14). Baraj aksının sağ sahilde oturacağı alanda yamaç döküntüsü oldukça yaygındır (Şekil 11).

Gökbel Mahallesi eski aşınma düzlüğü- seki (taraça) ve heyelan malzemesi üzerinde kurulmuştur (Şekil 15) Mahallenin bulunduğu alanda güney ve güneydoğudaki heyelanlardan gelen heyelan malzemesi de vardır.

Gökbel yerleşim alanının güneybatısında farklı yaşlarda heyelanlar güneybatıdan

kuzeydoğuya gençleşerek sıralanır (Şekil 7). Bu heyelanların göreceli yaşları 1, 2 ve 4 olduğu düşünülmektedir. Bu heyelanlar dolayında yamaç döküntüsü birikimleri de oldukça yaygındır. Mahallenin kuzeyinde göreceli yaşı 4 olan bir heyelan ve heyelan malzemesi üzerinde yamaç döküntüsü birikimi haritalanmıştır. Söz konusu heyelan ve yamaç döküntüsü malzemesi yan dereler kanalıyla kuzey yönünde taşınarak Botan Çayı yatağına yakın alanda alüvyon yelpazesi oluşturmuştur.



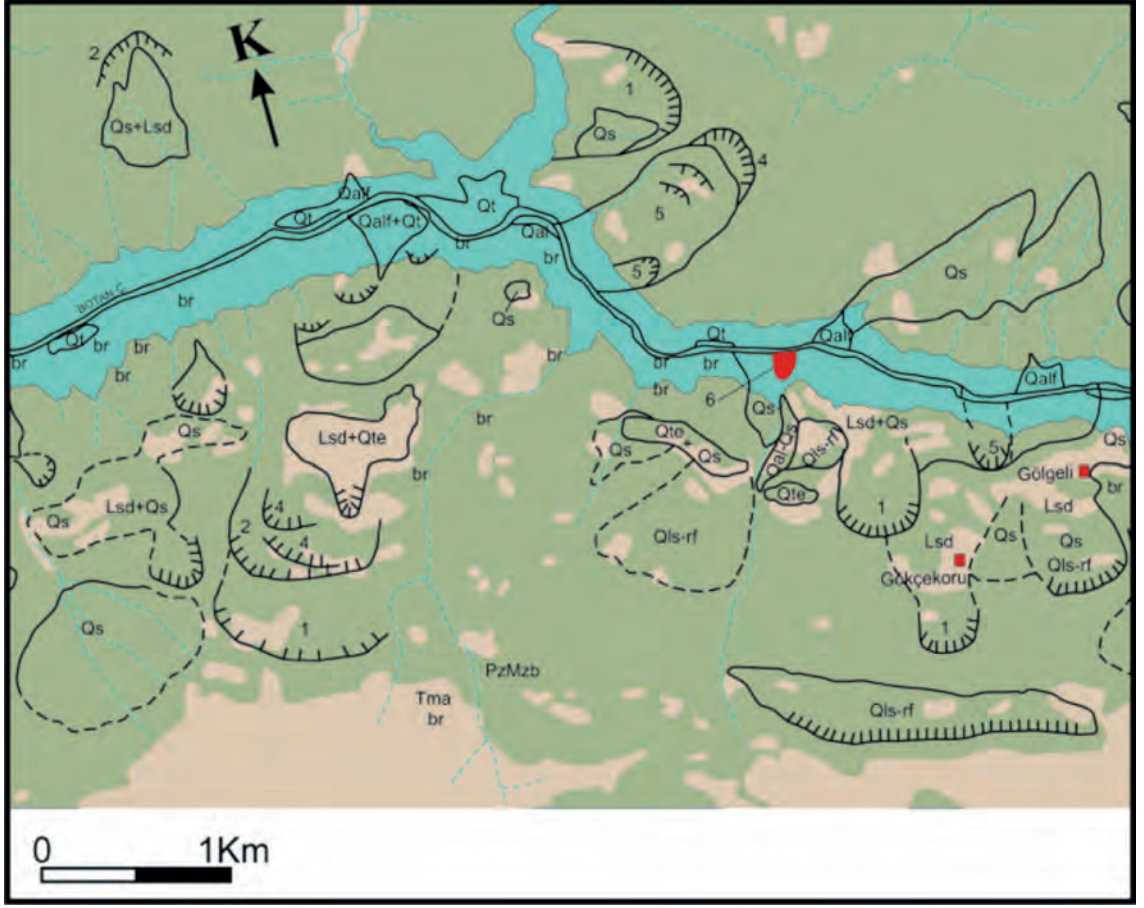
Şekil 14. Çukur Köyü kuzeyinden Botan Çay vadisine memba yönünde bakış. Qt1, Qt2: Alüvyon taraçası, Qal: alüvyon. Lokasyon için Şekil 11'e bakınız.

Figure 14. View from north of Çukur Village to the Botan Çay River valley, in upstream direction. Qt1, Qt2: Alluvial terrace, Qal: alluvium. For location; see Figure 11.



Şekil 15. Gökbel Mahallesi'ne doğudan bakış. Eski heyelanın oluşturduğu morfolojik düzlük ve aşınma yüzeyi (taraça) üzerine kurulmuş bir yerleşim merkezi. Lokasyon için Şekil 11'e bakınız.

Figure 15. View from east to Gökbel Settlement. A settlement area established on the morphologically flat area formed by an older landslide material and old erosional surface (terrace). For location; see Figure 11.



Şekil 16. Gökbel-Gökçekoru-Gölgeli dolayının heyelan haritası.
Figure 16. Landslide map of the Gökbel-Gökçekoru-Gölgeli area.

Gökbel Mahallesi kuzey ve kuzeydoğusunda sol sahilde göreceli yaşları 1, 2, 4 ve 5 olan heyelanlar görülür. Şekil 17'deki fotoğrafın sağındaki heyelan Botan Çayı sol sahilinde görülen en büyük heyelandır. Heyelanın göreceli yaşı 4 olarak tanımlanmıştır. Heyelanın taç kısmı 1300 m dolayındadır. Bu heyelanın topuk kısmı Botan Çayı vadi tabanına kadar ulaşır. Taç kısmı 1300 m dolayında olmasına karşın topuğun güncel nehir yatağına kadar ulaşması nedeniyle heyelan için göreceli yaş 4 verilmiştir. Söz konusu heyelan alanı içinde göreceli yaşı 5 olan iki heyelan daha vardır (Şekil 16). Bu

heyelanlar baraj bittikten ve gölalanı oluştuktan sonra dikkatle izlenmelidir. Söz konusu eski heyelanların topuk kısmı gölalanı içinde kalacağı için buradaki eski heyelan malzemesinin suya doygunluğu artacaktır. Bu durumda heyelanda yeni bir hareket beklenebilir. Şekil 17'nin sol kısmında ise göreceli yaşı 1 olan eski bir heyelanın taç kısmı görülmektedir.

Gökçekoru dolayında göreceli yaşı 1 olan üç tane heyelan görülür. Bunlardan en güneydeki kaya düşmesi olarak gelişmiştir. Ayrıca aynı alanda yamaç döküntüsü (talus), heyelan döküntüsü, kaya akması ve taraça çökelleri de yaygındır (Şekil 16).



Şekil 17. Gökbel Mahallesi kuzeydoğusunda, sağ sahildeki en büyük heyelan (fotoğrafın sağında). Fotoğrafın solunda ise göreceli yaşı 1 kabul edilen eski bir heyelan görülmektedir. Lokasyon için Şekil 16'ya bakınız.

Figure 17. The largest landslide on the right coast, northeast of Gökbel Settlement (right side of the photo). On the left side of the photo, an old landslide (relative age 1) is observed. For location; see Figure 16.



Şekil 18. Gökçekoru Köyü kuzeybatısında, sol sahilde re-aktivite geçirmiş heyelan ve buna bağlı gelişen kırıklar yakın geçmişte yapılan yolu iki yerden etkilemiştir. Lokasyon için Şekil 16'ya bakınız.

Figure 18. A reactivated landslide in the northwest of the Gökçekoru Village, on the left coast and the cracks related with this reactivation which affected the road in two places. For location; see Figure 16.

Gökçekoru Köyü kuzeybatısında Botan Çayı (Ulu Çay) vadisi yakınında aktif bir heyelan gözlenmiştir (Şekil 18). Bu alanda geri planda görülen heyelanın göreceli yaşı 6 olduğu düşünülmüştür. Fakat bu heyelan alanında reaktivite görülür. En son heyelan günceldir (göreceli yaş: 7) ve buradaki yolda çatlaklar oluşturmuştur (Şekil 18).

Gölgeli Köyü yamaç heyelan döküntüsü ve yamaç döküntüsü üzerinde kurulmuştur. Yamaç yukarıda bulunan heyelanın malzemesi de köy dolayına yamaç döküntüsü olarak akmıştır. Gölgeli Köyü kuzeydoğusunda sağ sahilde göreceli yaşı 1 olan heyelan saptanmıştır (Şekil 19 ve 20). Heyelanın oluşmasından sonra yer değiştirmiş heyelan malzemesi üzerinde farklı



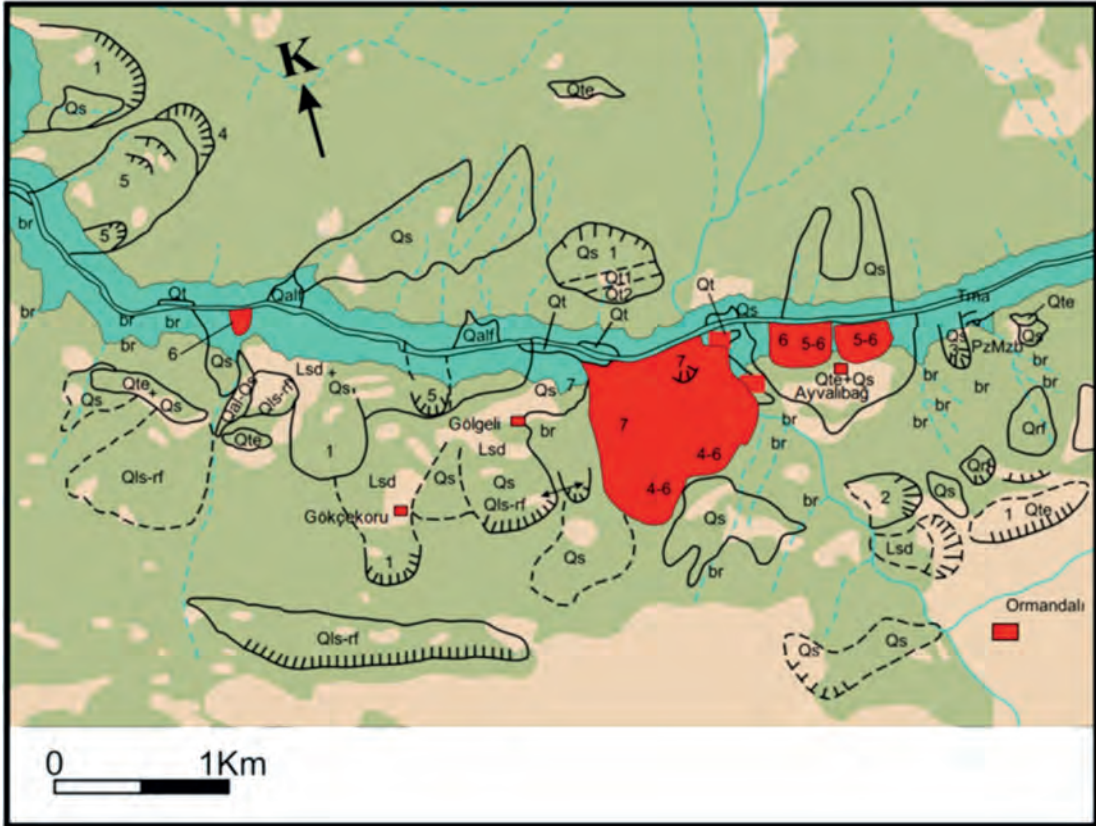
Şekil 19. Gölgeli Köyü kuzeydoğusunda nehrin sağ sahilinde bulunan eski heyelan. İki aşınma yüzeyi (Qt1, Qt2: taraçalar) belirgin olarak görülmektedir. Yer değiştirmiş heyelan malzemesinin tabanına yakın ağaç yoğunlaşması belirgindir. Kayma-sıyrılma yüzeyi boyunca su çıkışı belirgindir. (Qs: yamaç döküntüsü çökelleri). Lokasyon için Şekil 20'ye bakınız.

Figure 19. Ancient landslide located in Northeast of Gölgeli Village on right coast of the river. Two erosional surfaces (Qt1, Qt2: tarraces) are visible. Trees concentration near base of displace landslide material is evident. Water discharges along the surface of rupture is apparent. (Qs: talus-scare deposit). For location; see Figure 20.

yaşta iki adet taraça gelişmiştir (Şekil 19). Heyelanın topuk kısmı kısmen aşındırılmıştır. Kayma düzleminin topografyadaki izi vadi tabanından yaklaşık 270 m yukarıdadır. Bu veri bölgedeki yükselme miktarını ve hızını göstermesi açısından önemlidir. Tektonik yükselme sonucu çok hızlı ve güçlü aşınma olmuştur. Şekil 19'da sağ sahilde görülen taraçalar ile Gökbel, Gölgeli köyleri arasında sol sahilde gözlenen taraçalar hemen hemen aynı kotlardadır. Aynı yaşta olan bu taraçalar Botan Çayı (Ulu Çay) vadisinin geçmiş dönemde bulunduğu aşınma düzlüklerini gösterir. Askıda olan heyelanın kayma düzlemi boyunca su çıkışı görülür. Bu nedenle burada ağaç yoğunluğu fazladır (Şekil 19).

Gölgeli ile Ayvalıbağ köyleri arasında bölgenin en aktif ve güncel heyelanları bulunur (Şekil 20, 21 ve 22). İki köy arasında güneyde 1150-1300 metreler arasında görülen heyelan taçlarıyla ilgili ilk kayma hareketinin göreceli yaşının 4 olduğu düşünülmüştür. Daha sonra bu alanda heyelan re-aktivitesi olmuş ve göreceli yaş 6 olan heyelanlar gelişmiştir (Şekil 20). Heyelan alanının topuk kısmında ise güncel (göreceli yaş: 7) heyelanlar saptanmıştır (Şekil 21, 22 ve 23).

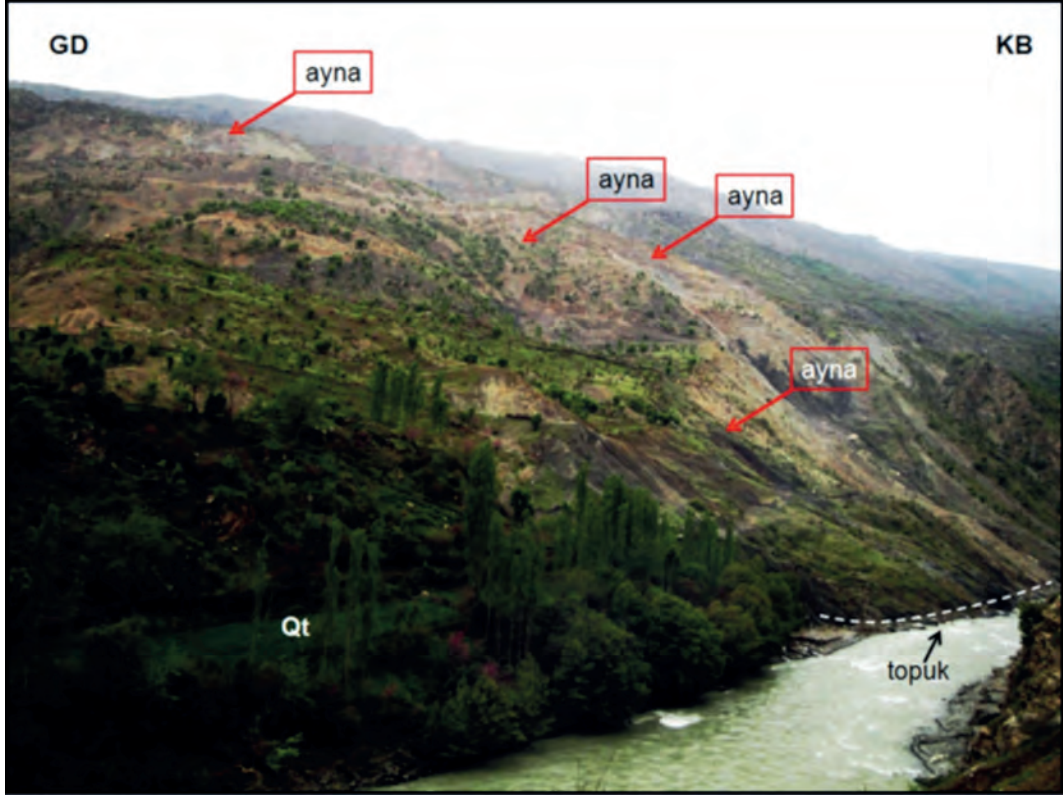
Ayvalıbağ ile Gölgeli köyleri arasındaki heyelanlar güneyden kuzeye gençleşir ve iç içedirler (Şekil 21). Botan Çayı (Ulu Çay) yatağına yakın alandaki güncel heyelanın topuğu nehir yatağını ötelemiştir (Şekil 21).



Şekil 20. Gökçekoru-Gölgeli-Ayvalıbağ-Ormandalı dolayının heyelan haritası.
Figure 20. Landslide map of the Gökçekoru-Gölgeli-Ayvalıbağ-Ormandalı area.

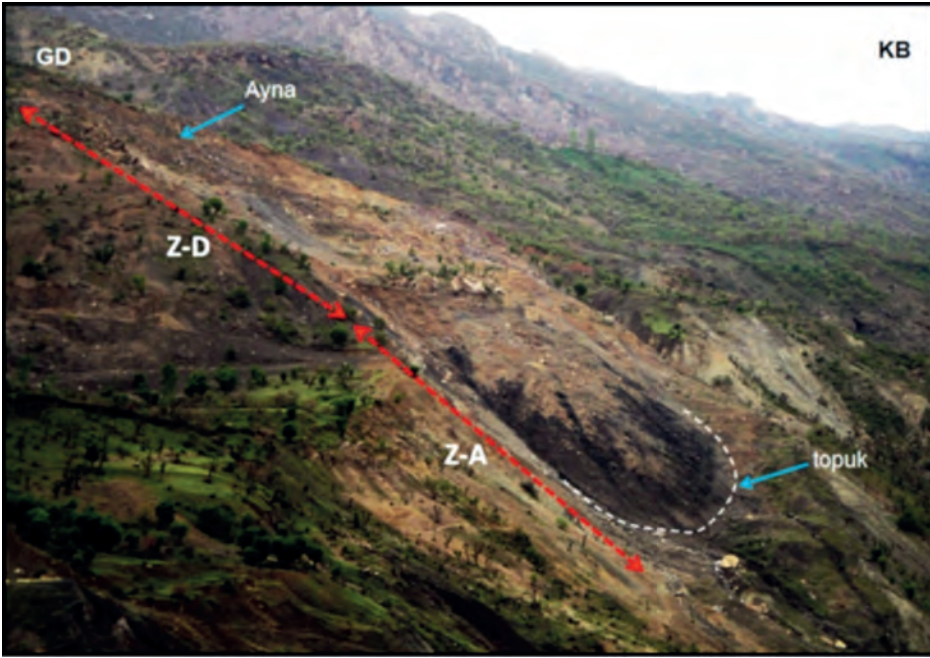
Bu alandaki en büyük aktif heyelan Şekil 22’de görülmektedir. Heyelanın kayma düzleminin (surface of separation) topografyadaki izi askıdadır. Heyelanın koparak hareket eden

zonu (zone of depletion) ve topuktaki yığılma zonu (zone of accumulation) belirgindir (Şekil 22). Bu alandaki güncel ve ikincil heyelanlar nedeniyle mevcut yolların tahrip olduğu görülür.



Şekil 21. Gölgeli ve Ayvalıbağ köyleri arasında aktif heyelanların bulunduğu alana (sol sahil) kuzeydoğudan güneybatıya genel bakış. Fotoğrafta farklı yaşta ve birçok heyelan aynası görülmektedir. (Qt: taraça). Lokasyon için Şekil 20’ye bakınız.

Figure 21. General view of active landslide area from northeast to southwest. Area located between Gölgeli and Ayvalıbağ villages (left coast). Several scarp of landslide are seen which are in different age. (Qt: terrace). For location; see Figures 20.



Şekil 22. Gölge ve Ayvalıbağ köyleri (sol sahil) arasındaki aktif heyelan alanına bakış. Bölgenin en genç ve büyük heyelanı eski heyelan döküntüsü - malzemesi-talus çökelleri üzerinde oluşmuştur. (Z-D: kayma zonu, Z-A: birikme zonu). Lokasyon için Şekil 20'ye bakınız.

Figure 22. View of active landslide area. Area located between Gölge and Ayvalıbağ villages (left coast). The youngest big size landslide of region occurred on ancient landslide debris and scree deposit. (Z-D: zone of depletion, Z-A: zone of accumulation). For location; see Figures 20.



Şekil 23. Yukarıayvalıbağ Mahallesi batısında aktif heyelan alanı. Bu alanda yamaç eğimi çok yüksektir heyelan ve kaya düşmesi dışında yamaç döküntüsü oldukça yaygındır. Lokasyon için Şekil 20'ye bakınız.

Figure 23. Active landslide area to the west of Yukarıayvalıbağ Settlement. Slope inclination is very high in this area and talus-scrree deposits are widespread in addition to landslides including rockfall. For location; see Figures 20.



Şekil 24. Ayvalıbağ Köyü ve Yukarıayvalıbağ Mahallesi'ne batıdan bakış (sol sahil). Köyün doğu kesimi eski yamaç döküntüsü (talus) üzerinde kurulmuştur. Köyün batısında ise evlerin bir kısmı yerli kaya üzerindedir. Lokasyon için Şekil 20'ye bakınız.

Figure 24. View to Ayvalıbağ Village and Yukarıayvalıbağ Settlement from the west (left coast). The eastern section of the village is established on talus - scree deposits. Some houses located on the west are situated on bedrock. For location; see Figure 20.

Ayvalıbağ Köyü kuzeyinde yamaç döküntüsü çökelleri yaygındır ve bunların vadi tabanına kadar ulaştığı görülür. Ayvalıbağ Köyü ve Yukarıayvalıbağ Mahallesi (sol sahil) genellikle yamaç döküntüsü üzerinde kurulmuştur (Şekil 24). Köyün kuzeyindeki heyelanların nedenlerinden biri yamaç eğiminin yüksek olmasıdır (Şekil 23). İkinci neden ise Maden Karmaşığı içindeki çamurtaşı katkılarıdır. Suya doymun hale gelen çamurtaşı heyelan için uygun kayma ortamı oluşturur. Ayvalıbağ Köyü doğusunda Bitlis Metamorfitleri üzerinde çökel ilişkili olarak Maden Karmaşığı bulunur. Karmaşık üzerine Bitlis Metamorfitleri bindirme ile gelir. Bu alanda mostrada olan Maden Karmaşığı batı

yönünde devam eder ve köyün kuzeyinde heyelan döküntüsü altında kaybolur.

Ayvalıbağ Köyü'nün kuzeyindeki heyelanların göreceli yaşları 5 ve 6 olarak önerilmektedir (Şekil 25, 26, 27 ve 28). Bu alanda aktif heyelanların bulunması dikkate alınması gereken bir konudur. Baraj yapımı sonrası oluşacak göl nedeniyle heyelan malzemesi suya doymun hale gelecek ve yeni heyelanların oluşmasına neden olacaktır. Bu alan köyün batısındaki yerleşim olmayan aktif heyelan alanından farklı durumdadır. Burada bulunan köy bahçeleri baraj gölü sonrası oluşacak heyelanlardan etkilenecektir. Köyün kuzeyindeki alan özellikle bahar aylarında ortamdaki suyun

artması nedeniyle heyelanların aktivite kazandığı bir alandır. İlbaharda eski heyelan malzemesinin tabanındaki kayma düzlemi boyunca hareket eden sular vadi tabanına yaklaşınca yüzeye çıkmaktadır. Bu işlem uzun yıllardır olduğu için suyun çıktığı noktalarda traverten birikmiştir. Su çıkışı yeni heyelanları tetiklemektedir. Bu nedenle burada çamur akmaları yaygındır.

Botan Çayı (Ulu Çay) yatağını derinleştirirken sağ ve sol sahilde de aşınmaya neden olmaktadır. Özellikle ilkbahar aylarında

yükselen sular nehir kenarındaki malzemeyi aşındırmakta, bunların altını oymaktadır. Bu oyma işlemi özellikle yamaç döküntüsü (molozu) ve heyelan döküntüsü gibi gevşek malzemenin olduğu alanlarda etkin olmaktadır. Barajın bitmesini takip eden evrede su birikip göl oluşunca Botan Çayı'nın aşınma etkisi ortadan kalkacaktır. Bu üsteki paragrafta açıklanan su doygunluğu ile ilgili yorum ile çelişiyor gibi gözükse de dikkate alınması gereken bir varsayımdır. Aşınma – oyma işlemi ortadan kalkınca aşınma-oymanın neden olduğu heyelanların sayısı kısmen azalacaktır.



Şekil 25. Ayvalıbağ Köyü kuzeyine, Botan Çayı Nehrinin sol sahilne bakış. Eski heyelan döküntüsü ve hızlı sellenme ile yıkanmış heyelan döküntüsü. Sellenme sonucu heyelan malzemesinin ince taneli kesimi taşınmış, geride kaba taneli unsurlardan oluşan malzeme kalmıştır. Aynı alanda yakın zamanda oluşan heyelanlar da gözlenmiştir. Lokasyon için Şekil 20'ye bakınız.

Figure 25. North of Ayvalıbağ village. Left side of the Botan Çayı (Ulu Çay) River. Flash floods debris (washout debris); floodwaters washed landslide debris and fine landslide material removed from displaced landslide material. Recent landslide activity observed in surrounding area. For location; see Figure 20.



Şekil 26. Ayvalıbağ Köyü kuzeyi Botan Çayı (Ulu Çay) Vadisi'nin sol sahilinde eski bir heyelan malzemesi, yamaç döküntüsü (Qs) ve taraça çökelleri (Qt). Fotoğrafta görülen alan günümüzde duraylıdır. Lokasyon için Şekil 20'ye bakınız.

Figure 26. Old landslide debris, talus-scrree (Qs) and terrace deposits (Qt) are seen in the north of the Ayvalıbağ village, on the left coast of the Botan Çayı (Ulu Çay) River. The area seen on the photo is presently stable. For location; see Figure 20.



Şekil 27. Botan Çayı (Ulu Çay) sol sahilindeki Ayvalıbağ Köyü kuzeybatısına, bakış. Yakın zamanda oluşan kaya düşmesi türündeki heyelan aktivitesi. Lokasyon için Şekil 20'ye bakınız.

Figure 27. Northwest of Ayvalıbağ village, left side of the Botan Çayı (Ulu Çay) River. Recent landslide-rockfall activity. For location; see Figure 20.



Şekil 28. Botan Çayı (Ulu Çay) sol sahilindeki Ayvalıbağ Köyü kuzeybatısına, bakış. Eğilmiş ağaç eski bir heyelan aktivitesini işaret etmektedir, düşey dallar eski heyelan sonrası büyümüştür. Bu alanda yakın zamanda olmuş bir heyelan aktivitesi gözlenmemiştir. Lokasyon için Şekil 20'ye bakınız.

Figure 28. Northwest of Ayvalıbağ village, left side of the Botan Çayı (Ulu Çay) River. Bended trees indicating ancient landslide activity, vertical branches growth after the landslide. No indication for recent landslide activity at this side. For location; see Figure 21.

Ormandalı ile Ayvalıbağ köyleri arasında yan derenin batısında iki adet göreceli yaşları 1 ve 2 olan iki eski heyelan haritalanmıştır. Bunlar bölgedeki diğer heyelanlardan farklı olarak doğudan batıya kaymışlardır. Heyelan malzemesi önemli oranda aşındırılıp vadi aşağıya taşınmıştır.

Ayvalıbağ ile Narsuyu köyleri arasında sınırlı alanlarda yamaç döküntüsü, heyelan döküntüsü ve taraça görülür. Narsuyu Köyü dolayında heyelan oluşumu sonrası yamaç aşağıya akan malzemenin nehir yatağını karşı kıyı yönünde ötelemiştir (Şekil 29).

Narsuyu güneydoğusunda 1350 m X 1150 m boyutlarında inceleme alanının en büyük heyelanı haritalanmıştır (Şekil 29). Bu heyelanın göreceli yaşının 1 olduğu düşünülmektedir. Narsuyu Köyü bahçeleri heyelanın topuk kısmında yer alır. Heyelanın tabanını oluşturan kayma düzlemi boyunca toplanan sular topuk

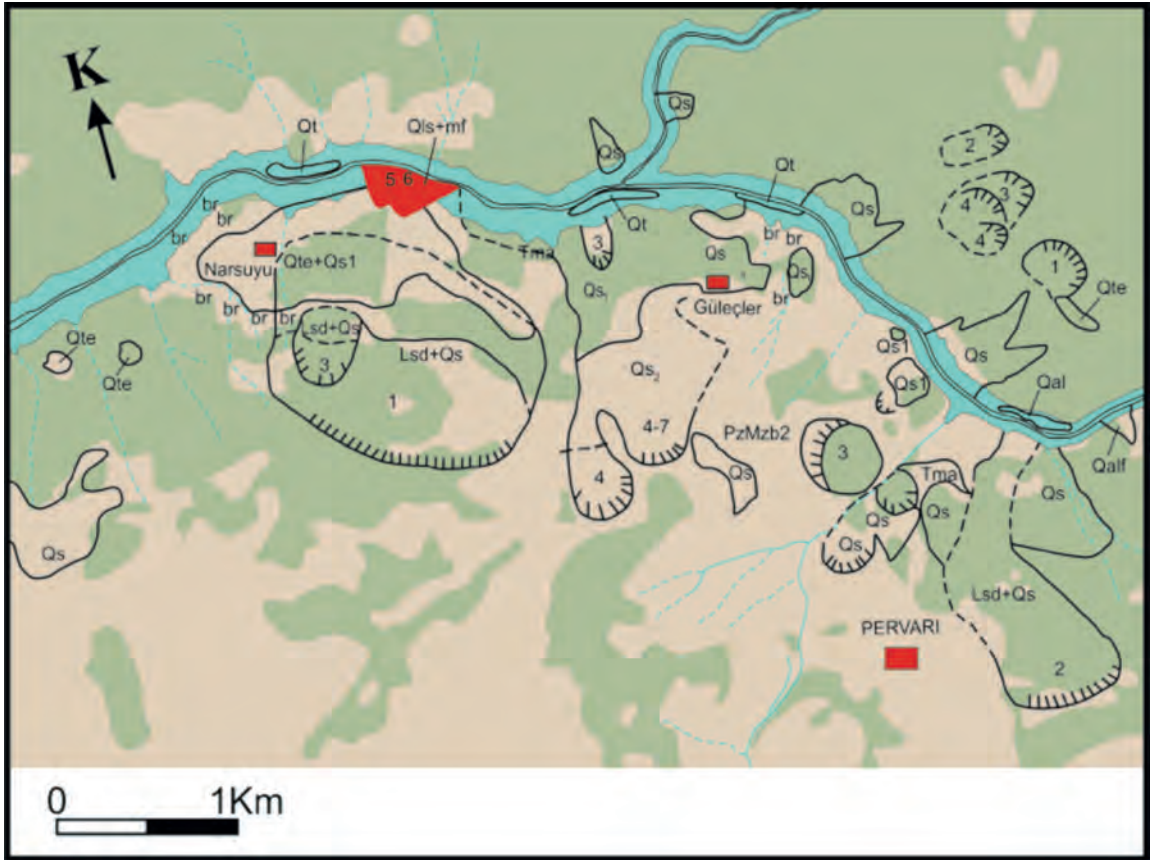
bölgesindeki bahçeler dolayında yüzeye çıkar. Bahçelerin sulanması bu su sayesinde olmaktadır. Narsuyu kuzeydoğusundaki bahçelerin olduğu alanda gözlenen heyelanın göreceli yaşı 5 ve 6 olarak tanımlanmıştır (Şekil 29). Bu alanda baraj yapımı sonrası oluşacak göl nedeniyle gevşek zeminde su doygunluğu artacak yeni kaymalar olacaktır. Buna karşın gölün oluşmasıyla birlikte Botan Çayı'nın aşınma – oyma etkisinin azalması beklenmektedir. Söz konusu heyelan alanı üzerinde çok kalın yamaç döküntüsü birikmiştir (Şekil 29).

Güleçler Köyü'nün bahçelerinin olduğu alan eski yamaç döküntüsü (Qs1) üzerindedir. Köyün güney batısında ise daha genç olan yamaç döküntüsü (Qs2) birikmiştir (Şekil 29). Köyün bir bölümü yerli kaya üzerinde, kalan kesimi ise yamaç döküntüsü üzerinde kurulmuştur. Güleçler Köyü bahçelerinin olduğu alanda yamaç eğimi

yüksektir. Yamaç döküntüsü içine sızan sular yerli kaya düzlemine ulaştıktan sonra yüzeyler ve bu su bahçeler için kullanılır. Güleçler Köyü kuzeybatısında yamaç döküntüsü içinde oluşmuş eski bir heyelan (göreceli yaş: 3) bulunmaktadır. Bu alandaki bitki örtüsü ve morfoloji, heyelanın eski olduğunu gösterir.

Yamaç döküntüsü malzemesinde toplanan suların yüzeylendiği alanlarda güncel

çamur akmaları saptanmıştır (Şekil 30). Çamur akması 2010 yılı Mart ayı başında gerçekleşmiştir. Bu çamur akması 1/25000 ölçekli haritaya çizilemeyecek derecede küçüktür. Çamur akmalarının yüzeysel suyun yoğun olduğu ilkbahar aylarında görüldüğü köylüler tarafından belirtilmiştir.



Şekil 29. Narsuyu-Güleçler-Pervari alanının heyelan haritası.
Figure 29. Landslide map of the Narsuyu-Güleçler-Pervari area.



Şekil 30. Güleçler Köyü kuzeyindeki bahçelerde 2010 yılı Mart ayında oluşan toprak akması. Toprak ve ağaçlar birlikte vadi yönünde akmıştır. Lokasyon için Şekil 29'a bakınız.

Figure 30. The mudflow (earthflow) occurred in March 2010 in the gardens located to the north of the Güleçler village. The earth and the trees have glided down towards the valley. For location; see Figure 29.

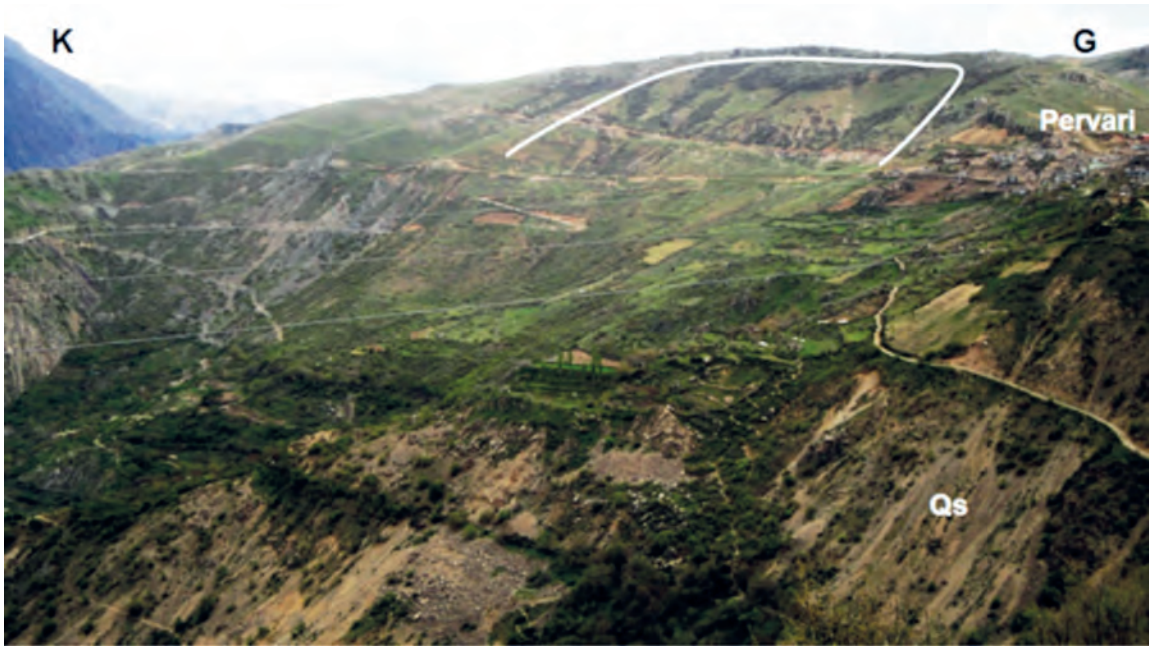


Şekil 31. Pervari kuzeybatısında mevcut yolda 2010 yılı Nisan ayında oluşan heyelan ve çatlakları. Yeni gelişen heyelan Siirt-Pervari ana yoluna zarar vermiştir.

Figure 31. The landslide and its cracks occurred on the newly constructed road in the northwest of Pervari in April 2010. Landslide also damage to the Siirt-Pervari main road.

Güleçler Köyü güneybatısında Pervari yolu yakınında haritalan iki heyelan vardır. Söz konusu heyelanların taç kısmı karayolunun güneyinde kalır. Heyelandaki ilk hareketin göreceli yaşının 4 olduğu düşünülmektedir. Bu heyelanlardan bir tanesi 2010 Nisan ayında bu çalışma devam ederken tekrar aktif olmuş yeni kayma ile Pervari yolunda ve bu alanda yeni yapılmakta olan yol üzerinde hasar yaratmıştır (Şekil 31).

gurup halinde olanı, iç içe vadi yönünde gençleşen üç heyelandan oluşur. Bu üçlü heyelanın göreceli yaşlarının 3 ve 4 olduğuna karar verilmiştir. Bu alanda en kuzeydeki heyelanın göreceli yaşı ise 2'dir (Şekil 29). Söz konusu heyelanların malzemesi aşındırılmış ve yamaç aşağıya akarak yamaç döküntüsü oluşturmuştur. Bu alandaki üçüncü heyelanın göreceli yaşı 1 olup, heyelanın malzemesi önemli oranda aşınmıştır (Şekil 29



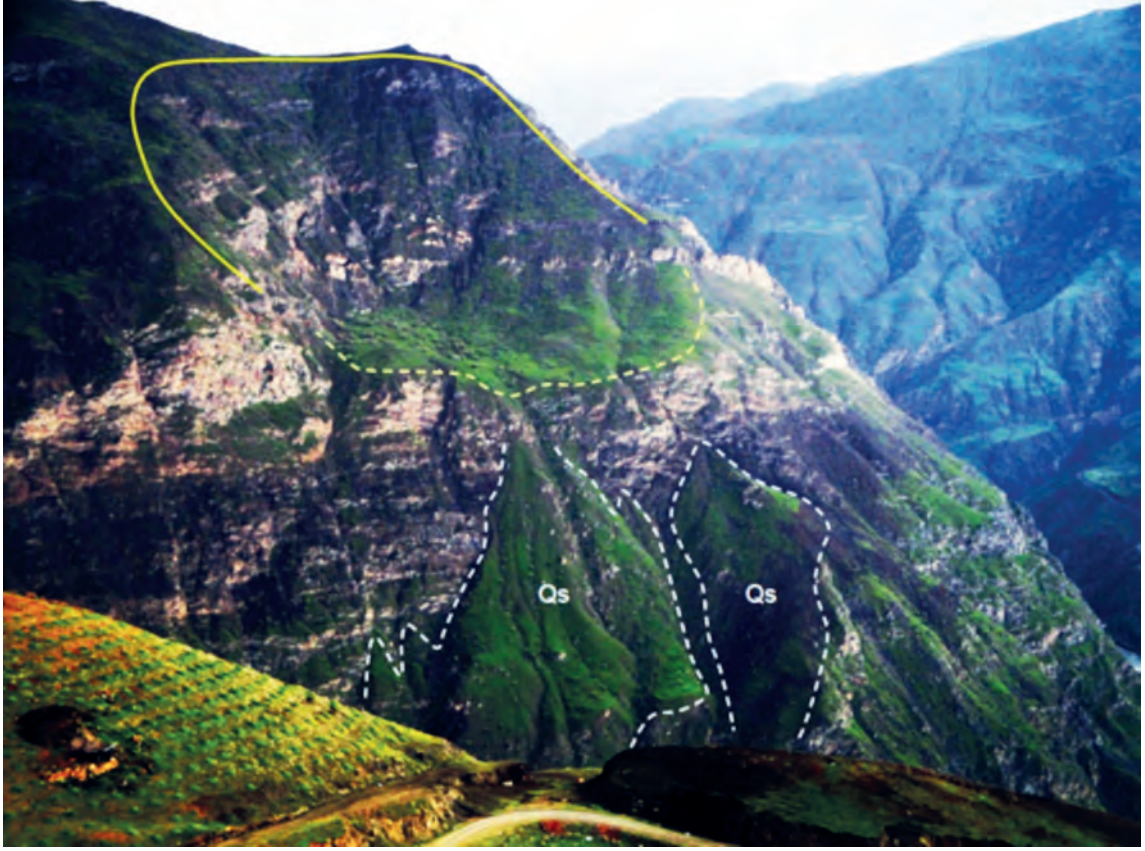
Şekil 32. Pervari doğusuna bakış. Göreceli yaşı 2 olan heyelan ve yamaç döküntüsü (talus; Qs) çökelleri görülmektedir. Lokasyon için Şekil 29'a bakınız.

Figure 32. View of east of Pervari. A landslide with relative age of 2 and talus-scree (Qs) deposit. For location; see Figure 29.

Pervari ilçesi dolayında (sol sahil) farklı yaşlarda ve farklı boyutlarda üç tane heyelan haritalanmıştır (Şekil 7 ve 29). Aynı alanda heyelan döküntüsü, yamaç döküntüsü birikmesi de vardır. Göreceli yaşı 2 olan heyelanın taç kısmı 1550 m yüksekliktedir (Şekil 32).

Pervari kuzeydoğusunda sağ sahilde üç adet heyelan haritalanmıştır (Şekil 29). Bunlardan

ve 33). Aşınma miktarı çok fazla olduğu için heyelanın kayma düzlemi neredeyse tümüyle görünür hale gelmiştir. Aşınan heyelan malzemesi yamaç aşağıya akarak yelpaze şeklinde yamaç döküntüsü birikimine neden olmuştur (Şekil 33). Söz konusu heyelanın aşınma düzlemi aynı zamanda eski taraça –aşınma yüzeyi olarak yorumlanmıştır.



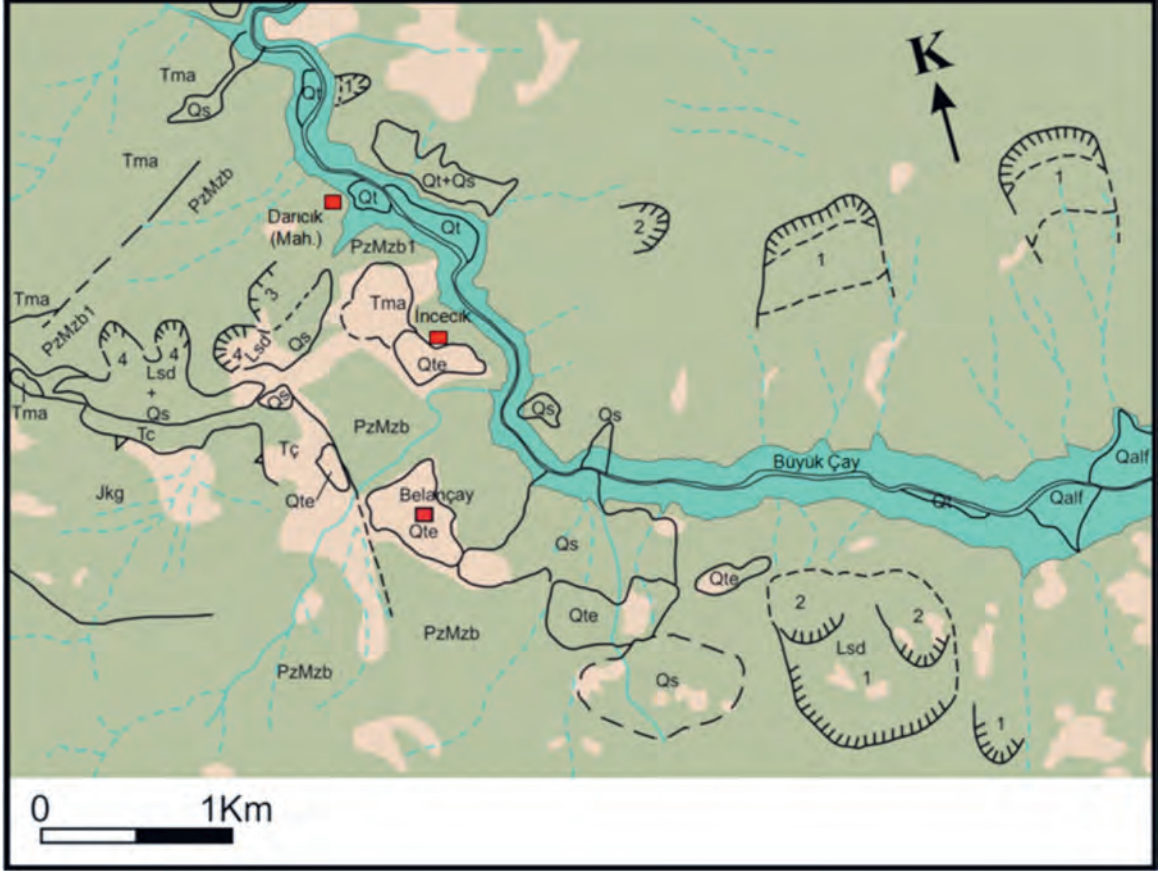
Şekil 33. Pervari kuzeydoğusunda sağ sahilde asılı heyelan ve yamaç döküntüsü çökelleri (Qs). Heyelanların kayma düzlemi aşınma nedeniyle görünür hale gelmiştir. Lokasyon için Şekil 29'a bakınız.

Figure 33. Hanging landslide and scree-talus deposits (Qs) observed in the northeast of Pervari. Surface of rupture and surface of separation of landslide has become visible due to extensive erosion. For location; see Figure 29.

Çetin Baraj aksı, İncecik Köyü, Beyaz Köprü arasında ve dolaylarında Büyük Çay vadisi boyunca gözlenen Kuvaterner çökelleri ve heyelanların genel özellikleri

Bu bölümde Büyük Çay'ın Botan Çayı'na bağlandığı yerden başlayarak vadi boyunca haritalanan heyelan, taraça ve yamaç döküntüsü alanları tanıtılacaktır. Büyük Çay vadisi boyunca baraj göl alanı içinde sorun yaratacak bir heyelan tespit edilmemiştir.

Belençay Köyü güneydoğusunda sağ sahilde 2, sol sahilde 3 adet heyelan haritalanmıştır. Bunlardan dört tanesinin göreceli yaşının 1, bir tanesinin ise 2 olduğuna eldeki veriler doğrultusunda karar verilmiştir. Sol sahilde bulunan iki büyük heyelanın malzemesi önemli oranda aşınmıştır. Bu heyelanların aşınmış olan topukları askıdadır. Topukların nehir yatağından yüksekliği 500 m-600 m arasındadır.

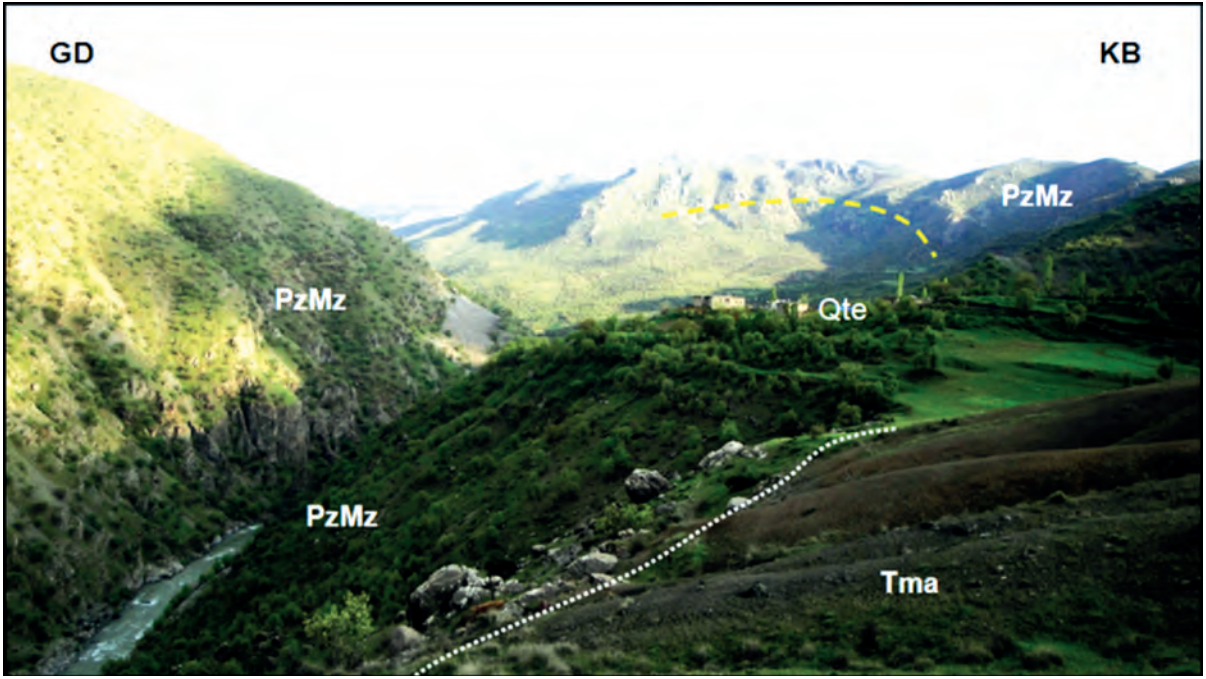


Şekil 34. Darıcık-İncecik-Belençay ve Büyük Çay dolayının heyelan haritası.
Figure 34. Landslide map of the Darıcık-İncecik-Belençay and Büyük Çay area.

Belençay Köyü güneydoğusundaki en büyük heyelanın göreceli yaşının 1 olduğu düşünülmektedir. Heyelanın taç kısmı 1300 m dolayındadır. Heyelan alanında aşağı kotlarda daha genç, göreceli yaşı 2 olan iki heyelan daha vardır (Şekil 34, 35 ve 36). Heyelanın çok eski olması ve aşırı aşınma nedeniyle taç kısmı zor tanınır. Heyelan döküntüsünün olduğu alan düşük eğimlidir.

Belençay Köyü güneydoğusunda eski taraçaların varlığını gösteren aşınma düzlükleri belirgindir. Aynı alanda bahçelerin olduğu düşük eğimli yamaçlarda yamaç döküntüsü birikmiştir (Şekil 34).

Belençay doğusunda sağ ve sol sahilde iki adet alüvyon yelpazesi haritalanmıştır. Aynı alanda farklı yaşlarda alüvyon taraçaları gözlenmiştir (Şekil 34).



Şekil 35. Büyük Çay vadisi sağ sahilinde İncecik Mahallesi dolayına bakış. Köy eski aşınma düzlüğü – taraça üzerine kurulmuştur. Köy civarında bulunan bazı arkeolojik buluntu köyün kurulduğu alanın en az son 2000 yıldır duraylı olduğu göstermektedir. (Qte: eski aşınma-çökme yüzeyi - taraça). Geri planda çok eski bir heyelanın taç kısmı görülmektedir. Lokasyon için Şekil 34'e bakınız.

Figure 35. View to İncecik Settlement on the right coast of Büyük Çay valley. The village is located on an old erosional surface – terrace. The archaeological findings collected around the village indicate that the area on which the village was located has been stable at least for the last 2000 years. In the background, crown of a very old landslide is observed. (Qte: ancient erosional surface - terrace). For location; see Figure 34.

İncecik Mahallesi (sağ sahil) eski aşınma düzlüğü üzerine kurulmuştur (Şekil 35). Mahalle civarında gözlenen seramik parçaları arkeologlara gösterilmiştir (sözlü görüşme; Dr Rüstem Arslan, Arkeolog Candan Kozanlı). Arkeologların verdiği bilgi dikkate alındığında İncecik civarındaki bu düzlüğün 2000-3000 yıllık olduğu söylenebilir. İncecik Mahallesi güney ve güneydoğusundaki

düzlükler de eski taraça düzlükleridir. Bunların da duraylı olduğu ve en az son 2000 yıldır duraylı kaldığını gösterir morfolojik veriler vardır. Şekil 36'da görülen ve göreceli yaşı 1 kabul edilen heyelan söz konusu taraçaların gerisinde yüksek kotlarda kalır. Heyelanın taraçalar ile olan ilişkisi dikkate alınarak söz konusu heyelan için 1 göreceli yaşı önerilmiştir.



Şekil 36. Büyük Çay vadisi sağ sahilinde Beleçay Köyü güneydoğusundaki bahçelere bakış. Fotoğrafta çok eski bir heyelanın taç kısmı görülmektedir. Lokasyon için Şekil 34'e bakınız.

Figure 36. View to the gardens located in the southeast of Belençay Village on the right coast of Büyük Çay valley. Photo shows the crown of an ancient landslide. For location; see Figure 34.



Şekil 37. Büyük Çay vadisi sağ sahilinde eski heyelan ve daha sonra heyelan taç alanından kaynaklanan kaya düşmesi (Qrf) ve yelpaze oluşturacak şekilde birikmiş kollüvyal Heyelan malzemesi ve yelpaze çökelleri. Heyelan malzemesi Çetin barajı göl alanına ulaşmamaktadır. Lokasyon için Şekil 34'e bakınız.

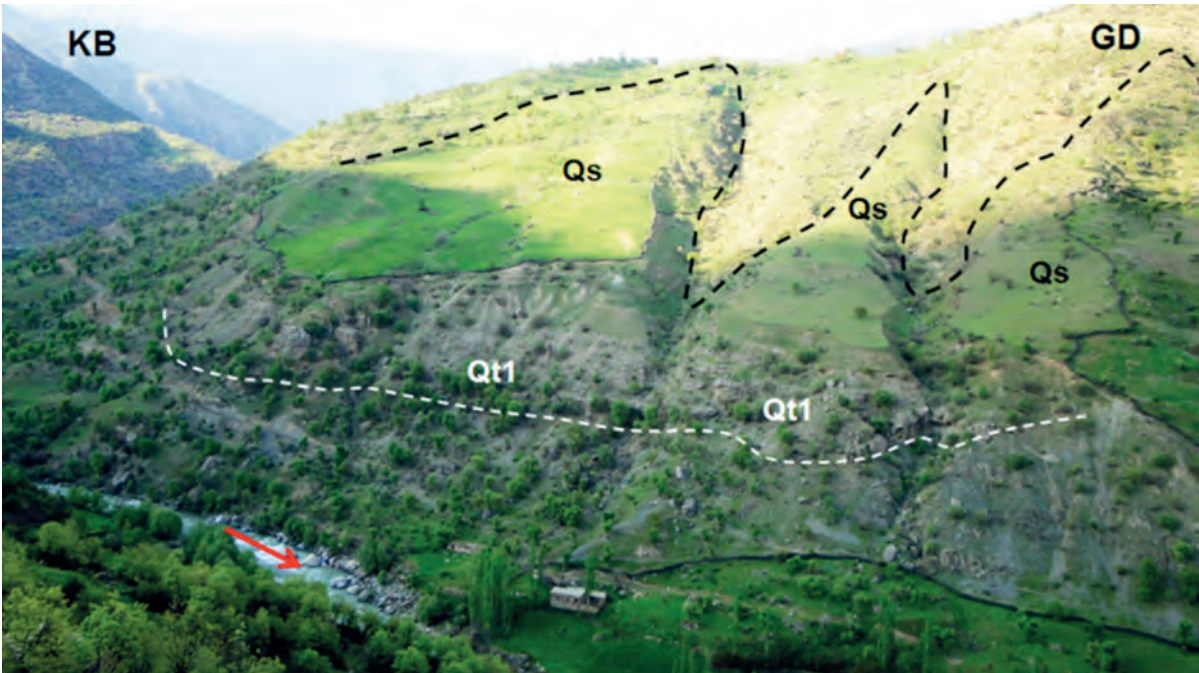
Figure 37. The old landslide on the right coast of the Büyük Çay valley and the rock fall and colluvial materials accumulated to form debris fan deposit derived from the crown of the landslide (Qrf: rockfall). The landslide debris does not reach to the Çetin dam reservoir area. For location; see Figure 34.

İncecik Mahallesi batısında göreceli yaşları 4 olan dört adet heyelan haritalanmıştır (Şekil 7 ve 34). Bunlardan üç tanesi Büyük Çay vadisine bağlanan yan derenin kuzeyinde kalır. Heyelan malzemesi kuzeyden güneye akmıştır. Heyelan malzemesi daha sonraki evrede sularla tekrar taşınarak heyelan döküntüsü yelpazelerini oluşturmuştur (Şekil 37).

İncecik Mahallesi kuzeydoğusunda Büyük Çay vadisinin sol sahilinde nehir tabanından 60 m yükseklikte eski alüvyon taraçası

haritalanmıştır (Şekil 38). Taraçaların malzemesi tutturulmuştur. Bu taraçalar üzerinde yamaç döküntüsü birikmiştir.

Baraj gölü oluştuğundan sonra Beyaz Köprü su altında kalacaktır. Beyaz köprü dolayında Bitlis Metamorfikleri'nin mostraları görülür. Birim burada metamorfik şist ve kristalize kireçtaşı ile temsil olunur. Beyaz Köprü'nün batısında Maden Karmaşığı'nın yastık lavlı volkanitleri görülür (Şekil 5 ve 39).



Şekil 38. Büyük Çay vadisi sol sahilinde güncel akarsu tabanından yaklaşık 38 m yükseklikte eski alüvyon taraçası (Qt) çökelmiştir. Taraça çökelleri kısmen çimentolanmıştır ve bunların üzerine yamaç döküntüsü birikmiştir (Qs). Kırmızı ok akış yönünü göstermektedir. Darıcık Köyü fotoğrafın alt kenarına yakın ortada görülmektedir. Lokasyon için Şekil 34 ve 39'a bakınız.

Figure 38. On the left coast, old alluvial terrace (Qt) was deposited 38 m higher than the present day river floor. The terrace deposits were partly cemented and above them scree is deposited (Qs: talus-scree). The red arrow indicates the flow direction. Darıcık Village is located in the lower part of the picture. For location; see Figures 34 and 39.



Şekil 39. Darıcık - Yağcılar alanının heyelan haritası.
Figure 39. Landslide map of the Darıcık-Yağcılar area.



Şekil 40. Büyük Çay sağ sahilinde Beyaz Köprü kuzeyinde sağ sahilde heyelan topuğuna bakış. Topuk malzemesi heyelan oluşumundan sonra heyelan bölgesinde akan su ve yağmur ile yeniden işlenmiştir (kolüvyal yelpaze çökelleri). Yelpaze çökelleri nehri sol sahil yönünde ötelemiştir. Kırmızı ok akış yönünü göstermektedir. Lokasyon için Şekil 39'a bakınız.

Figure 40. View to the landslide toe that reach down to the river to the north of the Beyaz Bridge on the right coast of the Büyük Çay river. The toe material was re-processed by the waters (as debris fan deposit) flowing from the creek in the landslide area after the occurrence of the landslide. Landslide debris fan deposit has diverted the river towards the left coast. The red arrow shows the flow direction. For location; see Figure 39.

Darıcık Mahallesi'nin 1500 m kuzeyinde iç içe üç adet heyelan saptanmıştır (Şekil 39). Gelirli Tepe'ye yakın olan heyelanın göreceli yaşı 2 olarak kabul edilmiştir. Bunun daha güneyinde göreceli yaşı 4 ve 5 olan iki heyelan daha vardır. Bunlar eski heyelan malzemesinin üzerinde gelişmişlerdir. Söz konusu her iki heyelanın topuk kısımlarındaki malzeme Büyük Çay yatağını güney yönde ötelemiştir (Şekil 40). Ötelemeyi sağlayan mekanizmaya heyelan sonrası yamaçtaki derelerden gelen mevsimlik akarsuların katkısı da vardır.

Baraj göl alanı Beyaz Köprü'nün 1750 m kuzeyinde sonlanır (Şekil 39). Bu alanın doğusunda Soğuksu Köyü dolayında ve batısında farklı yaşlarda 4 heyelan haritalanmıştır. Bunlardan en kuzeydeki heyelan eskidir (göreceli yaş:1). Güneye doğru heyelanların gençleştiği gözlenmiştir (Şekil 39).

Çetin Baraj dolayında gözlenen eski aşınma yüzeyi – taraçaların tartışılması

Çetin Barajı – Pervari dolayında eski aşınma düzlükleri ve bunların bazılarının üzerinde birikmiş bulunan Kuvaterner çökelleri çalışma sırasında haritalanmıştır (Şekil 7).

Bölgede beş farklı yükseklikte sekinin varlığı saptanmıştır. Bunlardan en eski olan seki için veri çok sınırlıdır. Gözlenebilen en eski seki verilerine Ayvalıbağ Köyü kuzeyinde sağ sahilde Sivri Tepe dolayında rastlanır. Bu sekinin yüksekliği 1550 metredir. Aynı yaştaki sekilerin sol sahildeki örnekleri, Pervari Siirt karayolu üzerinde Göl Mahallesi dolayındadır. Burada 1600 m ve 1620 m kotlarındaki düzlüklerin Sivri Tepe dolayındaki sekilerle eş yaşlı olduğu düşünülmektedir.

İkinci seki grubu ise sol sahilde Ormandalı Köyü dolayında (1380 m) ve sağ sahilde Yalkaya

Köyü kuzeyinde Mağara Tepe doğu ve batısında (1340 m, 1370 m ve 1390 m) gözlenmiştir.

Üçüncü seki grubu ile ilgili veriler oldukça fazladır. Çukur, Gökbel, Güleçler köyleri ve bunlar ile benzer yükseklikteki sekiler bu grup içindedir. Bu sekilerin yüksekliği 1050 m ile 1100 m arasında değişir. Sağ sahilde heyelan alanında haritalanan sekinin de bu grupta olduğu düşünülmektedir (Şekil 19). Söz konusu sekilerin yüksekliği 1000 m-1050 m arasındadır.

Dördüncü seki grubunun bulunduğu yükseklik 850 m ile 900 m arasında değişir. Çalışma alanının memba tarafındaki sekileri 900 m, mansap yönündeki sekiler 850 m dolayında bulunur. Bu grup sekiler üzerindeki yerleşimler batıdan doğuya Uçoluk, Ayvalıbağ ve Narsuyu köyleridir.

Beşinci gruptaki sekiler ise akarsu vadisine yakındır. Bu gruptaki taraçalar-sekiler bölgenin en genç taraça grubudur fakat kendi aralarında da farklı yaşlarda olduğu saptanmıştır. Bu grup içinde de üç ayrı yükseklikte taraça haritalanmıştır (Şekil 10, 14, 26 ve 38).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Marn, kumtaşı, volkanit litolojilerinden oluşan Maden Karmaşığı heyelanların sebeplerinden biridir. Yamaç eğiminin çok yüksek olması ise heyelanların en önemli nedenidir. Bu nedene Maden Karmaşığı'nın varlığı da eklenince heyelan miktarı artmıştır. Botan Çayı (Ulu Çay) vadisi boyunca yamaç eğiminin yüksek olmasının nedeni bölgeyi Orta Miyosen'den beri etkileyen tektonizmadır. Bölgenin devamlı yükseldiğini gösteren çok sayıda verilerden en önemlileri eski nehir yatağının aşınma düzlükleri ve taraçalardır. Bunlar heyelanların göreceli yaşlarını anlamada önemli ipuçları verirler.

Çetin Barajı – Pervari dolayında eski aşınma düzlükleri ve bunların bazılarının

üzerinde birikmiş bulunan Kuvaterner çökelleri çalışma sırasında haritalanmıştır. Bölgede beş farklı yükseklikte sekinin varlığı saptanmıştır. Gruplandırılan sekilerin yaşları farklıdır. Bunlar bölgenin yükselim tarihi anlaşılmasını sağlamaktadır.

Heyelanı tetikleyecek diğer bir neden ise depremlerdir. Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağında zaman zaman depremler olmaktadır. Depremlerin tetiklemesiyle bölgede yeni heyelanların gelişmesi beklenmektedir. Depremin tetikleyeceği ve oluşturacağı heyelanların yerlerini önceden kestirmek oldukça zordur.

Çalışma alanında yer alan heyelanlar göreceli yaşlar dikkate alınarak 7 gruba ayrılmıştır. Bunlardan 6 ve 7 numaralı heyelanlar aktif diğerleri pasif heyelanlardır.

Gökçekoru Köyü kuzeybatısında, Gölgeli-Ayvalıbağ köyleri arasında, Ayvalıbağ Köyü kuzeyinde ve Narsuyu Köyü doğusunda saptanmış olan ve haritaya kırmızı ile renklendirilerek işaretlenmiş heyelanlar en genç ve aktif heyelanlardır. Baraj gölü suyunun toplanmaya başladığı ilk yıllarda su altında kalacak olan bu alanlarda toprak-kaya su doygunluğunun artmasına paralel olarak yeni heyelanlar olması beklenmelidir. Bu alanlar baraj göl suyu etkisi olsa da olmasa da zaten heyelan bölgeleridir. İlkbahar aylarında miktarı artan yüzey suyu ve yeraltı suyu söz konusu alanlarda ve bölgenin diğer kesimlerinde heyelanlara sebep olmaktadır.

Aktif heyelanların olduğu alanların yüz ölçümü fazla değildir. Gökçekoru kuzeybatısındaki aktif heyelan alanı Gölgeli Ayvalıbağ arasında kalan aktif heyelan alanında bahçe ve köy evi yoktur. Bu alanlarda heyelanların vadi tabanındaki topuk kısmına Bitlis Metamorfikleri'nden alınacak kuvarsit ve kristalize kireçtaşından oluşacak bloklar konularak topuk kısmının duraylılığı

sağlanmalıdır. Ayrıca bu alanda yapılacak drenaj sistemiyle yüzey suyunun zemine sızma oranı azaltılmalıdır. Böylece bu alandaki heyelanların baraj göl alanına zarar vermesi önlenmiş olacaktır. Narsuyu batısı ve Ayvalıbağ kuzeyindeki aktif heyelan alanlarında ise bahçeler vardır. Bu iki alan haritalara kırmızı renk ile işaretlenmiştir. Ayvalıbağ Köyü kuzeyindeki 1000 m boyunda 250 m enindeki alan ve Narsuyu Köyü doğusunda 1250 m boyunda 300 m enindeki alan riskli bölgelerdir. Buralarda topuk kısmına ağırlık koyma ve drenaj ağı oluşturma işlemleri de yapılmalıdır. Oluşturulan drenaj sistemi zemine su girişini azaltacak ve gelecekte olacak kaymaları kısmen de olsa önleyecektir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için arazi çalışması için imkânlar ve gerekli veri seti Temelsu Uluslararası Mühendislik Hizmetleri A.Ş tarafından sağlanmıştır. Bu imkânları sağlayan Temelsu kuruluş ve elemanlarına teşekkürü borç bilirim.

EXTENDED SUMMARY

Purpose of this study is to locate the landslides that can threaten the settlement areas around the Çetin dam reservoir which is planned to be constructed on Botan Çayı (Ulu Çay) located in vicinities of Pervari town of Siirt city.

The Çetin dam crest, reservoir and upstream-downstream areas are all located on allochthonous units. In the study area (Figure-1) metamorphic rocks (Bitlis Metamorphics) in general crop out. The Maden Complex (Lower-Middle Eocene) is situated between the slices of the metamorphic rocks (Figure 4). This unit is comprised of mudstone, pelagic limestone, volcanic rocks (Figure 5) and shale-sandstone

intercalation and is one of the causes of the landslides. When the unit is saturated with water, the mudstone and shale levels forms sliding planes and the overlying metamorphic rocks move above these planes towards the bottom of the valley as landslides.

Another allochthonous unit around the dam site is an assemblage of serpentized ophiolitic rocks (Guleman Group) (Figures 3 and 6). This unit is intensively tectonized and the serpentine levels are causes of landslides. The Çüngüş Formation (Figures 2 and 3) is represented by Eocene-Miocene sandstone and marl intercalations. It creates suitable conditions for landslides where exposed. Since the outcrops of the Guleman Group and Çüngüş Formation are away from the dam site, the landslides caused do not pose a threat for the dam.

The dam site for the Çetin Dam is going to be constructed in Botan Çayı (Ulu Çay) valley where steeply inclined slopes are observed (Figures 17, 19, 21, 23, 24 and 33). Very steep inclination of the valley slopes are among the significant causes of the landslides. The frequency of the landslides increases when this feature is combined with the presence of the Maden Complex.

The reason why the slope inclination is steeper along Botan River is the tectonism which affected the region since the Middle Miocene. The Southeast Anatolian thrust belt is being compressed in north-south direction since the Middle Miocene (Perinçek, 1980a).

Among the most important numerous data that shows that the region is uplifting continuously. Elevated erosional surface of the old rivers and the terraces (Qt) can be counted as evidence of uplifting (Figures 9, 10, 11, 14, 15, 16, 19, 20, 21 and 36). During the geological mapping in the study area the erosional surfaces-terraces were also mapped. These features provide important

evidences to understand the relative ages of the landslides. As the region uplifts, the river deepens its valley and dissects the skirts of the old landslide. Uplift and following erosion removed the mass in the old landslide toes trigger new landslides. In line with the uplifting of the region, the river downcuts its bed. The uplifting causes an increase in slope inclination. As the inclination of the slopes increase, new and younger landslides occur in debris of the older landslides (Figures 11, 12, 14, 16 and 39).

Based on their relative ages, the landslides mapped were classified into 7 groups. The symbol «1» was used for the oldest landslide and similarly, «7» was used for the youngest one. The relative ages of the landslides were indicated next to them on the map in many cases.

When the landslides were dated relatively, the following criteria were taken into consideration:

1. Elevation of the landslides from the present day river floor (Figures 17, 19, 35 and 36),
2. Elevation of the surface of separation beneath the landslide toe material (Figure 22),
3. Position and elevation of the flat area formed after the landslide in the area (Figure 15),
4. Rate of erosion of the landslide material and rate of transportation of this material to the valley floor (Figures 17 and 33),
5. Relation of the scree and alluvial terrace deposits formed after the landslide with the alluvial material. Amount of these materials,
6. Amount of washing of landslide material (excessive washing and translated matrix of the landslide material indicate that the landslide is old) (Figures 25, 32, 33 and 37),
7. The vegetation observed on the surface of the landslide material and its density (Figures 17, 22 and 23),

8. *Position of the trees on the landslide area (Figure 28), their relations with topography, whether they are affected from the landslide or not, the stage they are affected. The rate of growth of the tree before and after the landslide,*
9. *Whether any settlement exists on the landslide area or not, if exists, age of the settlement to interpret the age of the landslide (Figure 36),*
10. *Rate of erosion on the main scarp which forms the landslide crown (Figures 32, 35, 36 and 37),*
11. *Position of the material at the toe of the landslide, and rate of erosion. If the river bed is diverted (Figures 9, 21 and 40), rate of diversion and the amount of preservation of the diversion,*
12. *Relation of the landslides if they are nested (in most cases, young landslides are observed in older landslides) (Figures 11, 12, 14, 16 and 39).*

The landslides with the figures «1,2,3,4 and 5» are the inactive, fossil landslides (Figures 8, 11, 16, 20, 34, 35, 36 and 39). When the archaeological artifacts observed in the region are taken into consideration, it can be said that the landslide no. 1 to be belong to the periods before Christ (Figure 36). Most of the materials of the landslides no. 1 and 2 have been eroded significantly (Figures 17, 33, 35 and 36). Most of these landslides are hanging in line with fast uplift of the region; the toes of the landslides are located at higher elevations compared to the river floor. The landslides with figures «6» and «7» are active landslides (Figures 20 and 29).

The landslides also were grouped based on flowing-sliding types and flowing-sliding materials except for dating. A great part of the landslides plotted on the map have rotational or

translational slide planes. However, landslides that can be grouped as rock fall and mudflow have also been mapped in the area.

It was observed in many places that the material sliding downslope following the occurrence of the landslide diverted the river bed in the opposite direction (Figures 21 and 40).

The areas where scree and slope washes are observed have also been plotted on the geological map in addition to the landslides and the terraces in the study area. After initial movement, the material of the old landslide (including the toe and head material) flow down into the valley to form new slope debris in line with deepening of the valley (Figures 17 and 33).

Most of the villages established on both banks along the valley of Botan Çayı (Ulu Çay) are located on old landslide material and landslide debris. The plain areas and erosional surfaces around these plains after the occurrence of landslides have become attractive for settlement (Figures 9, 15 and 36). The water emerging from the toe and foot of the landslide material has promoted the horticultural activities. Some villages, on the other hand, have been established on the accumulation areas of the slope debris, talus only (Figures 24 and 29).

Conclusions and Recommendations: The landslides located in the study area were grouped into 7 based on their relative ages. Of these, the landslides «6» and «7» are active while the others are not. Active landslide areas determined and marked in red. In line with the increase in water saturation of the rock and soil beneath the reservoir after water holding in the dam, new landslides can be expected around the active landslide areas. Another reason triggering the landslides is the earthquakes. It is very difficult to determine the locations of the landslides triggered by the earthquakes in advance.

Stability of toes of the active landslide areas (6 and 7) must be provided by placing blocks of quartzites and kristalized limestone of Bitlis Metamorphics. Besides, the amount of water infiltrating to the subsurface must be reduced by applying a drainage system in these areas. Therefore, damage to the reservoir by landslides in these areas can be prevented.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Perinçek, D., 1979. Interrelation of the Arabian and Anatolian plates, Guidebook for excursion "B", First Geological Congress of the Middle East, Ankara, Turkey, 34 p.
- Perinçek, D., 1980a. Arabistan Kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri: Türkiye 5. Petrol Kongresi Tebliğleri, s. 77-93.
- Perinçek, D., 1980b. IX. Bölge Hakkâri-Yüksekova-Çukurca-Beytüşşebap-Uludere -Pervari dolayının jeolojisi: TPAO Rap., No. 1481, Ankara, yayınlanmamış.
- Perinçek, D., 1990. Hakkâri ili dolayının stratigrafisi, Güneydoğu Anadolu, Türkiye: Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni. 2.,no.1, s. 21-68.
- Perinçek, D. ve Çemen, İ., 1992. Late Cretaceous-Paleocene Structural Evolution of the Structural Highs of Southeastern Anatolia. Ozan Sungurlu Symposium, Proceedings. In Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and Surrounding Regions. Turkish Petroleum Corporation - Turkish Association of Petroleum Geologists, p. 386-403.
- Perinçek, D., ve Çemen. I., 1990. The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey; Tectonophysics, v.172, p. 331-340.
- Perinçek, D. ve Özkaya, I., 1981. Arabistan levhası kuzey kenarının tektonik evrimi: Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü Bülteni. No. 8. p. 91-101.
- Perinçek, D., Duran, O., Bozdoğan N. ve Çoruh T., 1992. Stratigraphy and Paleogeographical Evolution of the Autochthonous Sedimentary Rocks in Southeast Turkey. Ozan Sungurlu Symposium, Proceedings. In Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and Surrounding Regions. Turkish Petroleum Corporation - Turkish Association of Petroleum Geologists, p. 274-305.
- Perinçek, D., Günay Y. ve Kozlu, H., 1987. Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler: Türkiye Yedinci Petrol Kongresi tebliğleri, s.89-104.
- Sungurlu, O., 1974. VI. Bölge kuzeyinin Jeolojisi ye petrol imkanları, Okay and Dileköz (Eds.), Türkiye ikinci petrol kongresi tebliğleri, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bildiriler Kitabı, ss. 85-107.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir E. ve Naz., H. 1985. Elazığ-Hazar-Palu alanının jeolojisi: T.C. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi, no. 29, s. 83-190.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, Geol. Soc.Turkey Conference Series 2, (in Turkish with English abstract).
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach: Tectonophysics, v. 75, p. 181-241.
- U.S. Geological Survey, 2009. U.S. Department of the Interior; USGS Science Landslide Hazards program. <http://3dparks.wr.usgs.gov/haywardfault/images/slump.jpg>, geology.com/usgs/landslides/

Makale Geliş Tarihi : 24 Aralık 2015
Kabul Tarihi : 22 Şubat 2016

Received : 24 December 2015
Accepted : 22 February 2016



Şeyl Gazı; Jeolojik Özellikleri, Çevresel Etkileri ve Küresel Ekonomik Anlamı

Shale Gas; Geological Properties, Environmental Effects and Global Economic Meaning

Nazan YALÇIN ERİK

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS

nyalcin@cumhuriyet.edu.tr

ÖZ

Küresel enerji prospeksiyonu özellikle son birkaç yıl içinde üretilmesi güç petrol (tight reservoir) ve şeyl gaz (kaya gazı) gibi geleneksel olmayan enerji kaynaklarının (ankonvansiyonel) üretiminde kullanılacak teknolojinin gelişmesi ile önemli oranda değişim göstermiştir. Ekonomik olarak büyük katkı sağladığı görülen ve gelecekte ekonomik, sosyal ve politik alanlarda daha büyük etki potansiyelinin olacağı öngörülen bu kaynaklar, birçok ülkede ve milyonlarca insan tarafından yüzey suları, yeraltı suları ve yerel hava kalitesi açısından zararlı olduğu gerekçesi ile protesto edilmiş ve bu konuların da ekonomik getiri ile birlikte ayrıntılı olarak değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Özellikle, küresel ölçekte yaşanan doğal felaketler, 20. yüzyılda küresel ısınma, atmosferin kimyasal bileşimi ve bu bileşimsel değişikliklerin ekoloji ve insanlığa olan etkisine ilgi çekmiştir. Bu makalede özellikle son yılların ilgi odağı haline gelen, ekonomik prospeksiyonları alt üst etmesi yanı sıra, küresel politikanın da belki yeniden şekillenmesine neden olan şeyl gazının oluşumu, şeyl kaynak kayalarının petrofiziksel özellikleri, araştırma ve üretim teknikleri ile ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanmasındaki rolü, bu sırada ekolojiye olan etkileri değerlendirilmiştir. Enerji kaynaklarının tarihsel süreçte olduğu gibi gelecekte de sadece yakıt ve enerji kaynağı olarak bir anlam taşımayacağı, ekonomi ve sosyal alanlardaki etkilerinden bahsedilerek ifade edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Emisyonlar, enerji kaynakları, hidrolik çatlatma, küresel ısınma, şeyl gaz

ABSTRACT

Global energy prospecting has significantly shown change with the development of technology that can be used in the production of energy sources which are unconventional such as tight reservoir and shale gas especially within last several years. These sources which are economically seen as a great contribution and are predicted that it will be greater impact potential in the fields of economic, social and politics in the future have been protested on the ground water, surface water and local air quality by millions of people in many countries because of harmful and it has necessitated that these subjects are evaluated in details with the economic benefits. Especially, natural disasters which have been encountered at global

scale have drawn attention to the effect of the chemical composition of the atmosphere and compositional changes on humanity and ecology in the 20th century. In this article, as well as it has been turn under economic prospecting, the formation of shale gas which becomes focus of interest especially of the last few years and also maybe causes to the configuration of global politics again, petrophysical features of shale source rock, the role on the fulfillment of the energy need of the countries with searching and production techniques; and meanwhile the effects on ecology have been evaluated. It has been tried to be stated that energy sources will not have a meaning as only fuel and energy source in the future just like in the historical process by being mentioned about their effects on the fields of economy and social.

Key Words: Emissions, energy sources, global warming, hydraulic fracturing, shale gas

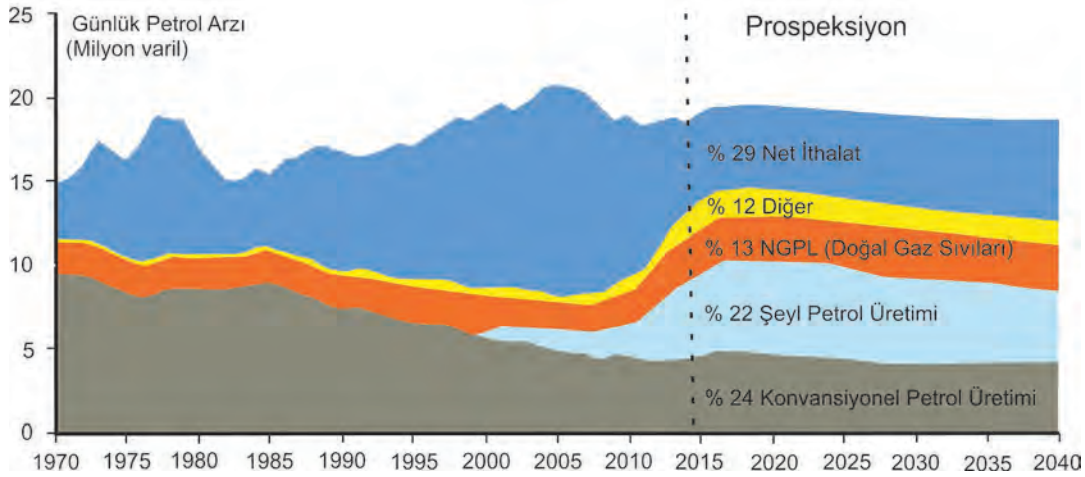
1. GİRİŞ

Petrol ve türevleri insanlık tarihiyle neredeyse yaşıttır ve öncelikle toplumların sosyal hayatlarına, ardından da ekonomilerine hızla girmeleri sonucunda edindikleri “vazgeçilemez enerji kaynağı” özelliğini korumaktadırlar. Dünyada varlığı milattan önceki yıllarda bile bilinip, çeşitli şekillerde kullanılsa da petrolün ekonomik üretimine başlandığı 1850’li yıllarda “Çağın Işığı” olarak adlandırılmış (Yergin, 1991), “Fosil Enerji Kaynakları”, “Tükenebilir Enerji Kaynakları” ve günümüzde de “geleneksel enerji kaynağı (konvansiyonel)” olarak tanımlanmıştır. Petrol ve doğal gaz gibi kaynakların dünyadaki nüfus artışından da hızla artan enerji ihtiyacına yeterince karşılık gelmemesi nedeniyle farklı ve yeni enerji kaynaklarına olan ilgi artmış, sonuçta geleneksel olmayan (ankonvansiyonel) enerji kaynakları olarak tanımlanan şeyl gazı/kaya gazı (shale gas), bitümlü şeyl (oil shale), kömür kökenli gaz (Coal Bed Methane; CBM) ve üretilmesi güç gaz ve petrol (oil and gas in tight reservoirs), gas hidratlar (methane hydrates), ağır-petrollü kumtaşları (tar sands) değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu konuda, özellikle dünyada petrol fiyatlarının dalgalı seyri ve yükseliş veya düşüşlerinde yaşanan şiddetli global etkiler, sadece ekonomik olmaktan oldukça uzaktır ve tüm dünyada yaşanan büyük sosyal ve politik gelişmeleri ve hatta savaşları da beraberinde getirmiştir. Temmuz

2008’de 147.27 USD/Varillik fiyat, petrol fiyat tarihçesinde pik noktası olmuştur. Özellikle fosil enerji kaynağı bakımından fakir ülkeler, petrol ile ilgili bu ekonomik buhran dönemlerinden ez az zararlar kurtulabilmek ve enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yeni kaynaklara yönelmiştir. Bu değişim süreci içinde yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar, güneş, dalga enerjisi, hidrolik gibi) da araştırılmış ve hatta birçok ülkede önemli ataklar ve teknolojik gelişmeler neticesinde ekonomik olarak anlamlı girdiler sağlanmıştır. Ancak, hiçbir zaman yenilenebilir enerji kaynaklarının petrol ve doğal gaz kadar enerji ihtiyacını karşılayacak potansiyeli ve enerji politikalarında yön değiştirici gücü olmamıştır. Bununla birlikte, özellikle Kuzey Amerika’da yılların petrolcülük birikimi ve deneyimleri üzerine yapılan etkin çalışmalar neticesinde yeraltında normal üretim süreçleri ile çıkarılmayan ve bu haliyle ekonomik olmayan şeyl gazı, şeyl petrolü, katranlı kumlara yönelim başlamıştır. Elbette, ankonvansiyonel enerji kaynakları uzun yıllardır bilinmektedir, ancak bunlardan hidrokarbonların üretilmesi için önemli oranda rezervuar ve kuyu operasyonlarının uygulanması gerekmektedir. Bu işlem ise istenmeyen ek bir maliyet anlamı da taşımaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde yatay sondaj ve hidrolik çatlatma gibi yöntemlerin gelişimi ve bunların şeyl gazının üretiminde yaygın olarak kullanılması, küresel ölçekte petrol

piyasasında arz talep dengelerini değiştiren bir katalizör olmuştur (Artur ve Cole, 2014; Lacatos ve Szabo, 2009; Kavak, 2013). Konvansiyonel gaz rezervuarlarının aksine, ankonvansiyonel gazların üretilmesi için gereken bu zor ve maliyetli işlemler, teknolojik gelişim sayesinde oldukça kolay ve ucuz hale gelip, enerji ve ekonomi piyasaları için dikkat çekici olmaya başlamış ve üretim yönelimini bu tarafa yöneltmiştir (Şekil 1).

sıradaki enerji kaynağıdır ve 2035 yılına kadar bu ihtiyacın %50 oranında artacağı öngörülmüştür (Şekil 1). Örneğin, Kuzey Amerika'daki geleneksel olmayan doğal gaz üretiminin oldukça hızlı gelişimi, dünyada yeni bir jeopolitik-politik paradigmanın doğmasını sağlamıştır. Amerika'da geniş şeyl gaz sahalarının keşfedilmesinden sonra yeni yerel pazarlar oluşmuş ve diğer ülkeler için de örnek olacak bir gelişme kaydedilmiştir.



Şekil 1. Amerika Birleşik Devletleri'nde kaynaklara göre ham petrol ve diğer sıvı yakıtlar arzı (1970-2040) (US EIA, 2013(2013 a))

Figure 1. Crude oil and other liquid fuels supply according to sources in the United States (1970-2040) (US EIA, 2013a)

Son 20-25 yıllık süreçte, özellikle hidrokarbon üretim alanında uygulanan yeni teknolojiler sayesinde, küresel enerji perspektifi önemli oranda değişmiştir (CPFI, 2013). US EIA (2013)(2013 a) verilerine göre 41 ülkede, 95 havzada ve 137 formasyonda şeyl gaz üretimi ve araştırma faaliyetleri bulunmaktadır. Ekonomik veya ekonomik olmayan tüm kaynakları kapsayan "Teknik olarak kurtarılabilir" şeyl gaz rezervi (TRR), 2011 yılında 6622 trilyon feet küp (Tcf) iken, 2013 yılında 7299 Tcf'e kadar çıkmıştır. Amerikan Enerji Bilgi Dairesi (US EIA 2013a)'ne göre, dünyadaki enerji ihtiyacının karşılanması bakımından doğal gaz petrolden sonra ikinci

Geleneksel olmayan gaz ve petrol dünyanın diğer ülkeleri içinde ithal edilen gaz ve petrol ihtiyacının azalmasına neden olarak, fiyatlarında önemli düşümlere, enerji politikaları ve yeni ekonomik-siyaset-politika kurgularının oluşmasına neden olmuştur.

Bu çalışma ile de öncelikle şeyllerin çökelim ve değişim süreçleri ile bileşimsel özellikleri jeolojik bakış açısı ile değerlendirilerek, şeyllerde oluşan ve üretilen gazların sedimanter havzadaki türüm süreçleri ile araştırma-üretim yöntemleri hakkında bilgi verilecektir. Tüm bu bilgiler ışığında dünyada ve ülkemizdeki şeyl gaz rezervleri, global ekonomik-sosyal ve ekolojik

önemleri hakkında yapılan güncel çalışmaların bütünlüklü bir şekilde özetlenmesi mümkün olacaktır.

Fosil Enerji Kaynaklarına Genel Bakış

Fosil enerji kaynakları başlıca petrol, doğal gaz ve bitümlü şeyllerden oluşan, farklı şekillerde değerlendirilmeleri mümkün olan temel enerji kaynağı yakıtlardır. Bu kaynaklar yüzlerce yıldır dünya enerji piyasasındaki hakimiyetlerini değişen oranlarda da olsa sürdürmektedir. Son yıllarda ise, kökensel olarak konvansiyonel kaynaklar ile aynı, fakat üretim yöntemindeki farklılıklar nedeniyle “ankonvansiyonel enerji kaynakları” olarak tanımlanan şeyl gazı büyük dikkat çekmiş ve çekmeye devam etmektedir. Genel olarak, konvansiyonel petrol ve doğal gaz oluşumu için gerekli etkenler ve süreçlerin oluşturduğu birliktelik “petrol sistemi” olarak tanımlanır ve petrol veya gazın oluşumunu sağlayabilecek bir kaynak kaya, birikimi için hazne kaya ile gözeneksiz ve çatlaksız özelliklere sahip bir örtü seviyesinden oluşur (Tissot ve Welte, 1984; Yalçın, 2013). Kaynak kaya, hazne kaya ve örtü kaya gibi petrol sistemi unsurları, hidrokarbonların (petrol, doğal gaz) oluşum, birikim, kapanma ve korunumunu sağlayarak verimli bir rezervuar alanının, dolayısıyla bir petrol sisteminin gelişmesine neden olur (Yalçın, 2013). Konvansiyonel hidrokarbonların oluşum ve üretim süreçleri düşünüldüğünde, bir oluşum ve hareket zincirinden bahsedilebilir. Kaynak kayada oluşan petrol ve/veya gazların değişen mesafelerde ve jeolojik zaman süresinde yaptığı hareketler ile (göç/migrasyon) uygun bir hazne kaya buluncaya kadar olan yer değişim süreci ve etkinliği vardır. Uygun bir rezervuarda biriken petrol/gaz, jeolojik, jeofizik ve sondajlı araştırmalar ile bu bilgilerin yorumlanması neticesinde bulunup, üretime alınmaya karar verildiğinde “organik madde” ile

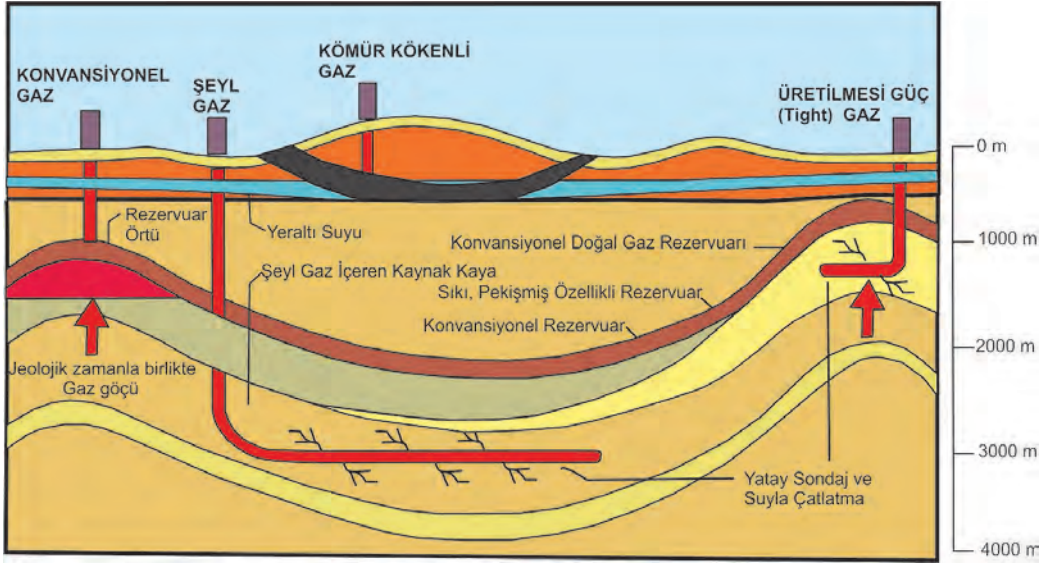
başlayan bu milyon yıllık maraton, ekonomiye “para girişi” şeklinde bir bakıma sonlanır. Bu uzun ve kompleks jeolojik süreçler ile üretilen kaynaklar “Konvansiyonel gaz ve petrol” olarak tanımlanır.

Ankonvansiyonel hidrokarbon kaynakları ise tipik olarak ince taneli, koyu gri-siyah renkli, organik maddece zengin olup, petrol/doğal gaz için aynı zamanda rezervuar ve örtü kaya özelliği de sunmaktadır (Tissot ve Welte, 1984). Bu tip bir rezervuar, konvansiyonel olanlar kadar gözenekli olsa bile bunların aşırı küçük gözenek boşluk boyutları ve permeabilitelerinin neredeyse olmayışı, rezervuardaki akışkanın viskozitesi, hidrokarbonların hareketliliği dolayısıyla da üretim potansiyeli ve verimliliğini birincil olarak etkileyen faktörlerdir (Passey vd., 2010). Şeyl kaynak kayalarının bu petrofiziksel özellikleri nedeniyle hidrokarbonlar, doğal veya yapay unsurlarla çatlaklar oluşturulmadan serbestleşemez ve kaynak kayadan dışarı çıkamazlar (Ratner ve Tiemann, 2013).

Çok basit bir tanımlama ile şeyl gazı (kaya gazı) ince taneli, organik maddece (kerojen) zengin, tabakalı, yapraklanma özellikli sedimanter kayalardan türeyen gazdır ve “**geleneksel olmayan, ankonvansiyonel**” gaz kaynağı olarak ifade edilir ki, geleneksel gaz kaynaklarının “**konvansiyonel**” üretimi, kumtaşları gibi porozite ve permeabilitesi uygun gazların rahatlıkla hareket edebilecekleri özelliklerdeki kayalardan yapılıdır. Bilinen gaz yataklarından doğal gaz üretiminden daha farklı bir yöntem kullanılarak gaz üretilmesi nedeniyle de şeyl kayalarından ve kömür yataklarından elde edilen gaza “konvansiyonel olmayan gaz” olarak adlandırılmaktadır. Şeyl gazı, geleneksel doğal gazlardan farklı olmayıp, aynı bileşim özelliğine sahiptir, geleneksel doğal gazlarda olduğu gibi metan, etan ve propan gibi hidrokarbon gazlarının karışımı söz konusu

ise de, çoğunlukla metan egemen (>%90) bileşendir. Konvansiyonel doğal gazlar ile benzer şekilde pazarlanır ve satışa sunulur (Staff, 2010). Geleneksel ve geleneksel olmayan gazlar arasındaki ilişki Şekil 2’ de verilmiştir.

konusulmaya başlansa, hep “eğer biterse” ile başlayan soruların karşısında “peki o zaman” sorusu yanıt olarak gelmiştir. Bu nedenle, öncelikle yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanan (rüzgar, güneş vb.) enerji kaynakları araştırılıp



Şekil 2. Konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan gazlar arasındaki ilişki (US EIA, 2010)

Figure 2. The relationship between conventional and non-conventional gases (US EIA, 2010)

1.1. Neden Şeyl Gazı?

Tüm dünyada petrol ve doğal gazın tükenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanması ve potansiyel kullanım zamanına ilişkin tahminler birçok pozitif ve negatif senaryonun gelişimine olanak sağlamıştır. Bu öngörülerden büyük kısmı geçmişte yaşanan olayları dikkate almış, politika- ekonomi- siyaset “PES” üçgeninde özellikle petrol olmak üzere konvansiyonel enerji kaynakları etkisi birçok kez göstermiştir (Şekil 3). Geçmiş deneyimlerin de birçok kez kanıtladığı gibi, petrol hiçbir zaman sadece masum bir yakıt, bir hammadde ve enerji kaynağı olmamıştır.

Petrol ve doğal gaz ile ilgili konular akademik ve sosyal çevrelerde ne zaman

günlük hayata adapte edilmeye çalışılmış, ancak sürekliliğinin ve depolamanın sorun olması nedeniyle petrol ve gaza alternatiflikten ziyade çoğu zaman bu kaynaklara destek rolünde kalmıştır. Yeni kaynak arayışları ise önceden ekonomik olarak değerlendirilmeyen ve belki de ihtiyaç duyulmayan kaynakların tekrar gündeme alınması şeklinde gelişmiştir. Bu konuda Kuzey Amerika’da katranlı kumlardan (tar sands) itibaren üretim ve şeyl gazı “kaya gazı” olarak tarif edilen sıkı (porozitesi çok az veya hiç olmayan, iyi pekişmiş) formasyonlardan yararlanmanın yolları aranmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler elbette üretim ve aramacılıkta teknoloji ve bilgi birikiminin artması ile baş döndürücü hızlı ekonomik bir sürecin gelişimine neden olmuştur.



Şekil 3. Petrolün (WTI petrolü) tarihsel süreç içinde değişen fiyatı, ilgili küresel olaylar ve etkiler (www.ktwop.com)

Figure 3. Oil (WTI oil) prices, related changes in the historical process and the impact of global events (www.ktwop.com)

Şeyl gaz potansiyeli olan formasyonların dünyada petrole göre daha cömert ve adil dağılımı, bir bakıma konvansiyonel fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltması, ekonomik anlamı kadar yeni iş olanaklarının da yaratılmasını sağlamıştır. Tüm bu özellikleri bile şeyl gazının sosyo-ekonomik önemini vurgulamak için aslında yeterlidir. Örneğin, Amerika'nın 2010 yılında toplam doğalgaz üretiminin yüzde 23' ü şeyl gazından sağlanmıştır. US EIA'nın (U.S. Energy Information Administration) 2012 yılı raporunda Amerika'nın 2020 yılında toplam doğalgaz üretiminin yarısının, 2035 yılında ise yüzde 46' sını şeyl gazından elde edileceği öngörülmektedir. Sadece ABD'nin Teksas eyaletinde bu amaçla yapılan çalışmalarda 12.000 kişiye istihdam sağlanmıştır. Petrol fiyatları 2008 yılında varil başına 147,7 dolara yükseldiğinde, Amerika Birleşik Devletleri'nin petrol ve doğal gaz üretiminin uzun vadede bir düşüşe geçeceği,

enerji arz güvenliği açısından, ithal petrol ve doğal gaza olan bağımlılığının artacağı tahmin edilmişti. Ancak bu tahmin, konvansiyonel olmayan petrol ve doğal gaz alanında devrim niteliğindeki gelişmeler sayesinde tamamen farklı bir yol izlemiştir (World Energy Outlook 2015).

Yatay sondaj (horizontal drilling) ve hidrolik çatlatma (hydraulic fracturing, hydrofracturing) tekniklerinin gelişmesi ile, Amerika'nın ürettiği doğal gaz miktarı 2010 yılından bu yana yaklaşık yüzde 25 oranında artmıştır. Bu artış, ABD'nin Rusya'yı geride bırakarak dünyanın en büyük doğal gaz üreticisi konumuna gelmesini sağlamıştır. Şeyl petrolü üretimindeki bu olağanüstü artışla birlikte ithalatını büyük oranda düşüren ABD'nin diğer büyük petrol üreticilerine olan bağımlılığı da azalmıştır. 2005'te yüzde 60 seviyesinde olan Amerika'nın net ithalatıyla karşıladığı akaryakıt

tüketim oranı böylece 2013 yılında yüzde 33'e düşmüştür. Bu oranın daha da düşerek yüzde 22'ye, yani 1970 yılından bu yana görülen en düşük seviyeye gerileyeceği öngörülmektedir (World Energy Outlook 2015).

Büyümeye ve çeşitlenmeye devam eden küresel enerji arzı, Amerika'nın şeyl gazı ve şeyl petrolüne dayalı yeni enerji stratejisinin etkisiyle dönüşüme uğramaya başlamıştır. Ancak ABD'nin petrol üretimindeki bu artışa ve Amerika'daki şeyl gazı ve şeyl petrolü üretiminin Irak'ın üretiminden daha yüksek olduğu bilinmesine rağmen, piyasa fiyatlarında uzun zamandır düşüş gözlemlenmiştir. ABD'nin enerji arzında yakaladığı büyümenin petrol fiyatlarını düşürmesi öngörülmüş, bu beklenti de gerçekleşmiştir (16.02.2016 Petrol Varil Fiyatı 33 USD) (World Energy Outlook 2015).

2. JEOLJİK BAKIŞ AÇISI İLE ŞEYLLER VE ŞEYL GAZI TÜRÜM SÜRECİ

Şeyl; Şeyl ve siltler yerkabuğundaki en yaygın sedimanter kayaçlardandır. Petrol jeolojisinde organik maddece zengin şeyller kaynak kaya özelliği ile olduğu kadar petrol ve gazın birikimi ve kapanmasını sağlayacak örtü ve rezervuar oluşumunu da sağlayabilirler (Tissot ve Welte, 1984). Rezervuar mühendisliğinde şeyller, sıvı akışını engelleyen bariyerler olarak tanımlanır. Sismik araştırmalarda ise şeyl düzeyleri, takibi kolay olan birimler olup, sismik ve petrofiziksel özellikleri de dahil olmak üzere tüm petrol araştırma ve rezervuar değerlendirmelerinde pozitif ve negatif yönde büyük öneme sahiptir.

Kayaç oluşumları bakımından şeyller, tipik olarak ince tanelerden, çoğunlukla da killer (illit, klorit ve smektir gibi) ve kuvars, feldispat ve çört ile diğer ağır minerallerden oluşur ve yaprağımsı, laminalı özelliklere sahiptir.

Genellikle göl ve denizlerin diplerinde, enerjinin düşük olduğu çökelim şartlarında birikirler. Günümüzde gaz üretimi yapılan şeyl rezervuarları çoğunlukla olgun-aşırı olgun, organik maddece zengin kaynak kayalardır (Bryndzia ve Braunsdorf, 2014). Dokusal ve yapısal olarak değerlendirildiğinde de şeyller, kil ve silt boyu taneleri ile kırıntılı/detritik kayaçlardır. Önemli oranda organik madde sediman çökeline eşlik ettiğinde ise şeyller organik maddece zengin olmaya başlar ve ilerleyen jeolojik zamanlarda havza bazında gerekli basınç ve sıcaklık şartlarını yakaladığında kaynak kaya olma potansiyeline sahip olabilir.

Şeyl kaynak kayaları, mm den daha büyük ölçeklerde bile oldukça etkin dokusal ve bileşimsel heterojenlik sunarlar. Şeyl gazı üretilen sahalardaki verimli seviyeler %50 den fazla kuvars ve/veya karbonat içerir ki bunlar daha fazla kırılabilir olma eğilimleri ile çatlaklanmaya uygun özelliklerdedir. Caineng vd. (2010)'e göre kırılabilir mineral oranı %40 dan fazla olduğunda etkin bir çatlatma sağlanmaktadır. (Şekil 4). Örneğin, smektitçe zengin şeyller suya karşı duyarlıdır ve farklı hidrolik çatlatma sıvıları ile işlem görmesi gerekebilir. Bileşimsel özelliklerine göre şeyl kaynak kayalarının hidrokarbon türümü de farklı olmaktadır. Örneğin Bassier ve Haynesville şeylleri daha az karbonat içerirken, Barnett şeylleri kuvarsça zengindir. Gömülme ve diyajenez sırasındaki amorf silikat rekristalizasyonu, Barnett şeylleri göre daha kırılabilir bir özellik oluşturur ve bu da hidrolik çatlatmaya daha iyi cevap veren bir özellik olup, daha verimli üretim sağlar (Buller vd., 2010). Devoniyen yaşlı Marcellus formasyonu (Kuzey Appalachian Baseni, USA) Barnett şeylleri göre daha çok silisçe zengin seviyeler içerir, ayrıca daha yüksek oranda TOC içerir.



Şekil 4. Amerika’da gaz üretimi yapılan şeyller ve mineralojik özellikleri (A. Barnett Şeyli, B-Kretase Şeyli) (Buller vd., 2010)

Figure 4. Gas productive shales in the United States and their mineralogical properties (A. Barnett Shale, B-Cretaceous Shale) (Buller et al., 2010)

2.1. Hidrokarbon Oluşumu

Konvansiyonel veya ankonvansiyonel olarak tanımlansa da üretim yapılan sahalarda aslında aynı süreçler ve unsurlar ile hidrokarbonlar oluşmuştur. Türüm için yeterli organik madde (toplam organik karbon, TOC, % hacimce), yani organik zenginlik, uygun organik madde (kerojen tipi) ve uygun olgunluk derecesi önemlidir (Tissot ve Welte, 1984). Herhangi bir sedimanter ortamda hidrokarbon oluşumu için öncelikle bir kaynak kayanın olması gereklidir. Bunun karakteristik özellikleri ise çökelim sırasında organik maddece zengin olması ve çökelim sırasında veya sonrasındaki reaksiyonlar ile korunması, değişerek hidrokarbon oluşturmalarına olanak sağlayan bir alan olarak düşünülebilir.

Şeyl gazı potansiyeli sadece belirli özelliklere sahip kayalarda bulunmaktadır. Bu özellikler;

Toplam Organik Karbon (TOC) miktarı %2’den büyük olmalıdır (Amerika’daki şeyl gaz sahalarında bu değer ortalama % 2 civarındadır). Organik zenginlik, organik maddelerin uygun özelliklerde de olması beklenir (Denizel şeyller tipik olarak Tip II kerojen içerirken (fitoplankton ve denizel ortamlardaki

diğer bakteriyel mikroorganizmaların karışımı), gölsel şeyller genellikle Tip I kerojen içerir ve organik madde lipitçe zengin algal kaynaklardan oluşur. Karasal organik maddece zengin seviyeler ile ardalanmalı şeyller ise tipik olarak Tip III kerojen içerir ve köken olan organik madde büyük oranda bitkisel kaynaklıdır. Kayalar, olgunlaşmayı sağlayacak kadar yaşlı olmalı veya kerojenlerin ısısal olarak parçalanıp hidrokarbon türetebilmesi için yeterince derine gömülmüş olmalıdır. Örneğin, vitrinit yansıması (Ro) değeri % 1.1’in üzerinde olmalıdır (Lu vd., 2012). Tip II kerojen için Ro%1.1, Tip II ve III kerojen için %1.1-1.4, Tip I kerojen için ise > %0.7 değeri uygun olabilmektedir (Staff, 2010). Kayaçların bileşiminde kil oranı mümkün olduğunca düşük, kuvars ve kalsit gibi kırılabilirliği arttıran minerallerin oranı ise olabildiğince yüksek olmalıdır. Kayaç içerisindeki stres dağılımı mümkün olduğunca çift yönlü olmalıdır. Bu yönlere dik olarak oluşturulacak yapay çatlaklar kanatlarda gelişmelidir. Kayaç içerisinde gaz oluşumuna bağlı “normalden yüksek basınç (overpressure)” zonu bulunmalıdır. Hedef şeyl seviyesinin kalın olması (en az 100 ft) ve porozite değerinin de genellikle > %5 olması verimli şeyl üretim seviyeleri için istenen niteliklerdir (Staff,

2010). Ancak, Amerika’da gaz üretimi yapılan şeyllerde (Barnette) porozite %2-10 arasında değişmektedir.

Bahsedilen bu koşullarda şeyl gaz türümü; birincil organik maddelerin artan gömülme sonucunda gelişen ısısal parçalanması, petrolün ikincil termojenik parçalanması ve organik maddelerin biyojenik bozunması ile oluşabilir.

Termojenik Gaz; Organik maddenin veya petrolün ısısal parçalanması ile, **biyojenik gaz** ise olgun veya olgunlaşmamış organik maddenin bakteriyel değişimi ile ilişkilidir veya ikincil olarak şeyl gaz rezervine göç ile katılmış da olabilir (Antrim şeyllerinde- Michigan olduğu gibi) (Martini vd., 1998, 2003, 2004; Ridley, 2002). Bunların birlikte bulunduğu rezervuarlarda belirlenmiştir ve “hibrit” sahalar olarak tanımlanmıştır. San Juan Baseni gibi bazı CBM gaz sahalarındaki gazların karışım şeklinde biriktiği ve büyük oranda biyojenik süreçlerle (Scott vd., 1994) oluştuğu belirlenmiştir (Martini vd., 2004). Alberta şeylleri, New Albany şeylleri (Illinois Baseni) ve Williston Baseninde de rezervuarlarda karışım gazı olduğu belirtilmiştir (Wipf ve Party, 2006).

2.2. Ankonvansiyonel Rezervuarlarının Özellikleri

Bir şeyl rezervuarı (gaz şeyli) organik maddece zengin ve ince taneli, doğal gaz içeren bir birimi ifade eder (Bustin, 2006; Bustin vd., 2008). Ancak, şeyl terimi genellikle rezervuarın litolojisini tarif etmek yerine geçirgen olmayan ve içinde doğalgaz bulunduran çamurtaşı gibi birimler içinde kullanılmıştır. Amerika şeyl gaz rezervuarlarındaki incelemeler yalnızca şeyllerde gazın oluşmadığı, çamurtaşlarından siltaşlarına ve ince taneli kumtaşlarına (silisli ve karbonat bileşimli) kadar geniş bir litolojinin bu türüm için

etkin olduğunu göstermiştir. Örneğin Eagle Ford formasyonu (Amerika) sadece şeyl ve çamurtaşı değil, ayrıca fosilli karbonatlı bir marndır (Lash ve Engelder, 2011).

İnce taneli, kilce zengin kayaçlarda kapiler güç yüksek ve permeabilite ise düşüktür. Bu kayaçlarda bulunan hidrokarbonlar matriksten atılmaya uygun değildir. Oluşan hidrokarbonların genellikle gaz olması nedeniyle şeyl kaynak kayaları yüksek boşluk basınçları içerir. Örneğin Haynesville gaz şeyli ve Marcellus şeyli sırasıyla yaklaşık 0.9 ve 0.85 psi/ft değerlerinde sıvı (fluid) basınç gradyanına sahiptir (Engelder vd., 2014). Bu veriler değerlendirilerek yüksek basınçların rezervuarlarının daha ekonomik üretim değerlerine yükselmesine yardımcı olmasına çalışılır (Bryndzia ve Braunsdorf, 2014). Kaynak kaya rezervuarlarının Marcellus şeylinde olduğu gibi herhangi bir tektonik faaliyet nedeniyle kırılıp parçalanması termojenik gazların yüzeye kaçmasına, buna bağlı olarak da basıncın düşmesi, ardından üretim kaybına neden olur (Etiopie ve Schoell, 2014).

Kil minerallerinin rekristalizasyonu, çökelim, sıkışma, diyajenez (smektitten illite dönüşüm) nedeniyle organik maddece zengin şeyllerde düşey olarak transvers isotopi izlenir. Bu sonuçlar hem düşey ve hem de yatay yönde elastik ve mekanik kaya özelliklerinde güçlü anizotropi geliştirir (Lucier vd., 2011). Anizotropik kayaç özellikleri ile yapısal unsurların birlikteliği hidrolik çatlatma plan ve yöntemi için önemli bir kriterdir. Dodecane ve su karışımı gibi yeni yöntemler ile şeyller içinde iki farklı porozite ağının varlığı belirlenmiştir. “Dual porozite ağı” olarak adlandırılan bu porozite sistemi su ve petrole ıslanmış boşluklar içerir. Farklı boşluk ağları ayrıca nükleer magnetik rezonans teknikleri ile de belirlenebilmektedir (Odusina vd., 2011).

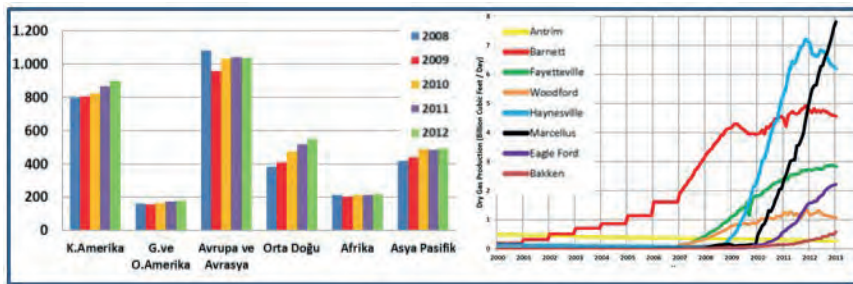
3. ANKONVANSİYONEL ENERJİ KAYNAKLARININ DÜNÜ VE BUGÜNÜ

Şeylli formasyonların yüksek oranda hidrokarbon içerdiği bilgisi yeni bir keşif değildir. Ancak, bu kaya türlerinin kendiliğinden petrol ve doğalgaz akışına izin vermeyecek ölçüde geçirimsiz olması nedeniyle 20 yıl öncesine kadar ekonomik olarak üretim yapılmasının mümkün olmadığı düşüncesi yaygındı. İlerleyen dönemlerde ise geçirimsizliğin yapay olarak sağlanabileceği fikri ve sayısız deneme ve bunlardan edinilen deneyimler sonucunda edinilen bilgiler doğru yolda olduğunun da ispatı gibiydi. Hidrolik çatlatmanın geliştirilmesi bu yolu açan bir keşif olarak düşünülebilir. İlk olarak 1950’li yıllarda ABD’nin Ohio Eyaletinde uygulanmış olduğu bilinen hidrolik çatlatma yöntemi günümüzde teknik olarak oldukça gelişmiş ve uygulama yaygınlığını artmıştır.

Jeolojik bilgiler, mühendislik uygulamaları ve teknolojinin birlikteliğinin şeyl formasyonlarından ekonomik miktarlarda hidrokarbon elde edilebilecek şekilde bir araya getirilmesi, Texaslı bir petrol mühendisi ve işadamı George Mitchell’in girişimleri sayesinde gerçekleşmiştir. 1981 yılında Texas, Forth Worth havzasında bulunan Barnett şeylinde Mitchell Energy and Development Corp. tarafından denemelere başlanmış, konvansiyonel gaz üretimi için açılan kuyularda 1981-1990 yılları

arasında üretim tekniklerinin optimizasyonu ile, 1999’da ekonomik miktarda doğalgaz üretimi başarılabılmıştır. İlgili Ar-Ge çalışmalarında yaklaşık 6 milyon USD harcanmış, geleneksel petrol endüstrisinin olumsuz beklenti ve tahminlerinin çok üzerinde bir başarı elde edilmiştir (Kennedy, 2010). Bugün ABD doğalgaz üretiminin yaklaşık %5’i yalnızca Barnett şeylindeki kuyularda gerçekleştirilmektedir. Bu şeyllerdeki rezervuarın net kalınlığı 50-600 ft, porozitesi %2-8 ve TOC değeri % 1-14 olup, 1000-13 000 ft derinliktedir. Bu başarı, çok sayıda yatırımcıyı cesaretlendirmiş ve ABD’nin birçok bölgesinde bilinen şeyl formasyonlarında üretim gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Şekil 5).

Dünyada konvansiyonel doğal gazın bilinen rezervlerinin %75’i Ortadoğu, Rusya, Çin ve Meksika Körfezi civarında iken, ankonvansiyonel oluşumlar tüm dünyada (Şekil 6a), geniş bir yayılım alanı sunmaktadır (US EIA 2013b). Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada’da konvansiyonel hidrokarbon üretimi geleneksel olmayan enerji kaynaklarına olan araştırma ve üretim teknikleri açısından yapılan yatırımlar ve bunun sonucunda üretim faaliyetlerinin artması nedeniyle giderek azalmaktadır. Özellikle şeyl gazı bu açıdan yerel kaynakların değerlendirilmesi kapsamında küresel enerji pazarında dengeleri değiştiren faktörlerden biri olmaya başlamıştır ve daha geniş alanlarda yayılım gösterir (Şekil 6b).

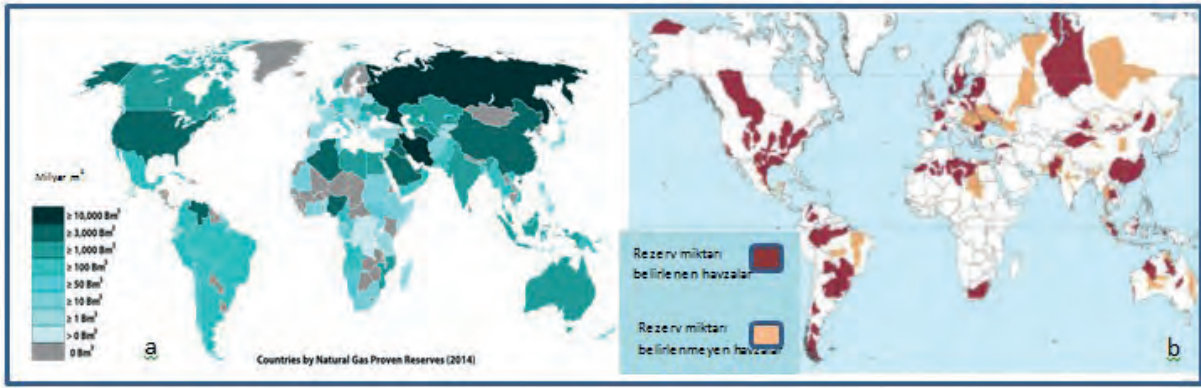


Şekil 5. a) Dünyada doğal gaz üretim miktarı (milyar m³) ve b) Amerika Birleşik Devletlerinde 2000-2013 yılları arasında şeyl gaz üretim değerleri (US EIA, 2013a)

Figure 5. a) The amount of gas production in the World (billion m³) and b) United States shale gas production values between 2000 and 2013 years (US EIA, 2013a)

Bu alandaki çalışmalar neticesinde yeni iş kaynaklarının yaratılması, ülkelerin işsizlik sorununa bir miktar çözüm olabilmıştır. Piyasanın canlanması, üretilen yeni malzemeler için yeni pazar alanlarının oluşturulması, arazi sahipleri için gelir kaynağı ve yeraltındaki mineral ve yeraltı zenginliklerinden devletin yararlanabilmesi yanısıra büyük ölçüde enerjide bağımsızlık yaratılması açısından önemli sonuçlara sahip olduğu görülür. Diğer taraftan bu enerjiyi savunan ve üretimi sırasındaki etkileri nedeniyle karşı çıkan topluluklar arasında çatışmalar ve muhtemel çevre ve insan sağlığına olan etkileri günümüzde birçok insan tarafından protesto edilmektedir (Ridley, 2011).

kullanılan teknoloji ve yöntemlerin gelişmesi, işletme maliyetlerindeki ve ekonomik koşullardaki değişime göre yapılan hesaplamaların güncellenmesi, mevcut rezervuarların daha iyi etüd edilmesi ve yeni saha keşifleri sonucunda rezervler artmaktadır (US EIA/ARI, 2013b). ABD dışında şeyl gazı arama ve üretim faaliyetlerine yeni yeni başladığı için gerçek potansiyel eski çalışmalara dayanan tahminlerin ötesine geçememektedir. Üretimin diğer alanlarda sınırlı olmasına, su sağlanabilirliği, jeolojik özellikler, üretim yapılacak alandaki nüfus yoğunluğu, boru hatlarının durumu ve ulaşılabilirliği ile yasal düzenlemeler ve kamuoyunun ilgisi veya direnci etki eden faktörler olarak sıralanabilir.



Şekil 6. Dünya’da konvansiyonel (a) ve şeyl gaz rezervlerinin olduğu ülkeler (b) ve rezerv miktarları (Tcf) (US EIA/ARI, 2014)

Figure 6. a) Countries where conventional and shale gas reserves in the world, b) and amount of reserve (Tcf) (US EIA/ARI, 2014)

4. DÜNYA’DA VE TÜRKİYE’DE YAPILAN ARAŞTIRMALAR VE REZERV DEĞERLENDİRMESİ

2014 yılı verilerine göre dünyada 41 ülkede geleneksel ve geleneksel olmayan çıkarılabilir doğalgaz rezervleri 790 trilyon m³ seviyesindedir (US EIA, 2013b). Doğal gaz çıkartmak için

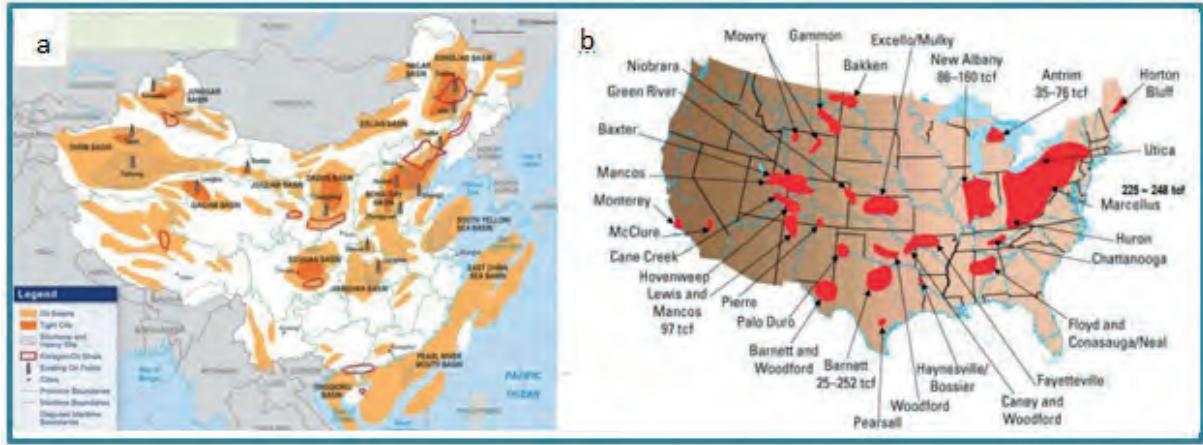
4.1. Ülkelerin Şeyl Gazı Rezervleri ve Üretim Potansiyelleri

Çin: Çin enerji dünyasında önemli bir yere sahiptir. Genel perspektifle dünyanın en büyük kömür üreticisi ve tüketicisi olup, ayrıca önemli yenilenebilir enerji rezervi ve üretim potansiyeline de sahiptir. Çin’de Sichuan ve Tarım basenleri başta

olmak üzere 7 büyük havzada (Yangtze Platformu, Jiangnan, Greater Subei, Junggar, Songliao) (Şekil 7a) toplam 1115 Tcf rezerv belirlenmiş olup, tek bir ülkede varolan en mükemmel şeyl gaz rezervidir (Rezaee ve Rothwell, 2015).

en önemli sorun ise genellikle yeterli suyun olmayışıdır.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD); ABD şeyl gazı devrimi, başta Teksas, Kuzey Dakota ve Pensilvanya bölgelerinin düz



Şekil 7. a) Çin ve b) Amerika’da şeyl gaz potansiyeli bulunan alanlar (US EIA, 2013b)

Figure 7. a) potential shale gas fields found in China and b) America (US EIA, 2013b)

Özellikle Sichuan Baseninde Longmaxi formasyonu 287 Tcf lik rezerv ile en önemli yere sahiptir. Sichuan ve Tarım basenlerinde bulunan 4 önemli şeyl seviyesi, Kambriyen-Silüriyen yaşlı olup, denizel ortamdaki pasif kıta kenarı ortamında çökelmiştir. Kalın şeyl istifleri (200-400 ft) kuru gaz aşamasındadır (Ro % 2.0-2.5). Bileşiminde sadece %2-3 TOC gibi organik zenginliğe, orta derecede kil bileşimine sahiptir ve hedef seviyeler nispeten derinlerdedir (10000-14000 ft). Çin’in dağlık Sichuan Havzası’nda coğrafya oldukça engebeldir ve bu durum yatay kuyu sondajını daha zor ve maliyetli hale getirir. Çin’in devlet kontrolündeki petrol-doğal gaz sektörünün esnek olmayan yapısı da kaya gazı gelişimini önleyebilecek bir diğer faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Speight, 2013). Bu enerji kaynağı aslında Çin’deki yerel enerji ihtiyacı için oldukça önemli olmasına rağmen günümüzde şeyl gaz üretimi bulunmamaktadır. Bu sahalardaki

arazilerinde başlamıştır. Önemli şeyl gazı üretimi yapılan alanlarda (Şekil 7b), toplam 1161 Tcf lik rezerve sahiptir (ekonomik ve ekonomik olmayan kaynaklar birlikte ise 4644 Tcf). Bu alanlardaki şeyller denizel kökenli olup, büyük kısmı foreland basenlerde çökelmiştir ve Devoniyen yaşlıdır (Örn. Appalachian Baseni). Şeyl düzeylerinin bulunduğu derinliğin ülke ortalaması yaklaşık 7500 ft dir ve birçok sahada 3000 ft gibi üretim için daha elverişli seviyeler belirlenmiştir. Organik bileşim genellikle yüksek olup, bazı düzeylerde ortalama %6-7 TOC görülebilirken, Marcellus şeyllerinde olduğu gibi bazı sahalarda daha da yüksektir (ortalama TOC %12). Amerika’da ticari anlamda ilk gaz çıkarma sondajı 1981 yılında denenmekle birlikte, bilinen konvansiyonel doğal gaz yataklarından o dönemin teknolojisi kolaylığı nedeniyle Amerika’da şeyl gaz üretimi 2000’li yıllara kadar beklemede kalmıştır. 1996 yılında yıllık 8,5 milyar metreküp şeyl gaz üretimi

yapılırken, bu miktar 2006 yılına kadar üç katından fazlasına ulaşarak, 31 milyar metreküp olarak gerçekleşmiştir (Rezaee ve Rothwell, 2015).

Meksika; Çin ve Amerika'dan sonraki en büyük ticari olarak üretilebilir (TRR) şeyl gaz potansiyeline sahip ülkedir (545 Tcf). Toplam 5 basende (Burgos, Sabinas, Tampico, Tuxpan, Vera cruz) ve 6 farklı şeyl formasyonunda önemli gaz potansiyeline sahiptir (Şekil 5). Şeyller denizel kökenli olup, Jura ve Kretase dönemlerinin rift ortamlarında oluşmuştur. Şeyl sahalarında birimlerin kalınlığı yaklaşık 200-400 ft olup, düşük kil içeriği, yüksek organik zenginlik (%3-5 ortalama TOC) ve yeterli olgunlaşma ile önemli ve dikkat çekici özellikler sunar. Ancak Meksika'daki rezervlerin derinlikleri genellikle 10000-12000 ft arasında değişmekte olup, en verimli kaynak Burgos Basenindeki Eagle Ford şeylleridir (Rezaee ve Rothwell, 2015). Ülkede çok sayıda araştırma faaliyeti olup, üretim için açılan kuyu bulunmamaktadır (US EIA, 2013b).

Güney Amerika'nın Güneyi; Bu alan oldukça geniştir ve özellikle Parano-Chaco Baseni (Paraguay, Brezilya, Uruguay, Şili, Arjantin ve Bolivya) ve Neuquén Baseni (Arjantin) TRR değeri 1431 Tcf' dir. Bu basenlerdeki şeyller denizel kökenli olup, rift ve yay gerisi ortamlarda çökelmiştir. Arjantin'de 4 basen (Neuquén, San Jorge, Avustral, Magallanes), 6 farklı formasyonda toplam 802 Tcf lik rezerv belirlenmiştir. Neuquén Baseni ülkedeki petrol rezervinin yüzde 35' ini ve doğal gaz rezervinin ise yüzde 47' sini içerir. Parano-Chaco baseni şeylleri nispeten sığ derinliklerde (7500 ft), oldukça kalın (1000 ft), düşük kil içerikli ve ortalama %2.5 TOC değerine sahiptir (Rezaee ve Rothwell, 2015). Ancak bunlar olgunluk açısından nispeten düşük değerler sunar (Ro %0.9). Neuquén Baseni'nde ise 8000-12 000 ft derinliklerde iki verimli şeyl seviyesi bulunmaktadır. Arjantin'deki Neuquén Baseninde araştırmalar devam etmektedir

ve ülkenin en büyük enerji şirketi olan YPF, Mendoza bölgesinde 802 Tcf ankonvansiyonel doğal gaz rezervi belirlemiştir. Arjantin hükümeti "Gas Plus" programı ile yeni keşfedilen sahalara destek vermeye başlamış, 50 den fazla proje bu kapsamda kabul edilmiştir.

Güney Afrika; Ülkenin yaklaşık 2/3 ünü kaplayan Karoo Baseninde 3 adet verimli saha 390 Tcf şeyl gaz rezervi içermekte olup, hepsi de Permiyen yaşlı ve foreland basenlerle ilgilidir. Şeyller nispeten kalın (yaklaşık 100-150 ft), sığ (8000 ft), düşük kil içerikli, organik maddece oldukça zengin (Whitehill Formasyonunda %6), olgun-aşırı olgundur. Ancak tek olumsuz özellikleri, birimlerin litolojik özelliklerinin ve bir volkanik (sil) sokulum varlığının kaliteli sismik yansıma kullanım potansiyelini azaltmasıdır (Rezaee ve Rothwell, 2015). Karoo Baseninde önemli bir gaz boru hattı yoktur. Doğal gaz kuzeydeki Mozambik'ten gelmektedir. Bu alandaki araştırma aktiviteleri çok uluslu şirketler (Shell gibi) tarafından devlet desteği ile yapılmaktadır. 1970 lerden önce açılan bazı kuyular olmakla birlikte 2015 yılında önemli bir gelişme olmamıştır (Speight, 2013; US EIA, 2015).

Avustralya; Avustralya'da 6 basende (Cooper- Queensland, Maryborough-Perth, Canning, Georgina ve Beetaloo) toplam 11 formasyonda şeyl gaz potansiyeli belirlenmiş olup, TRR değeri yaklaşık 437 Tcf dir. Her bir basen, tip, yaş gibi özellikleri nedeniyle diğer basenlerden farklıdır. Cooper Baseni Permiyen şeylleri gölsel bir ortamda çökelmiş olup, havzadaki diğer şeyller denizeldir.

Cooper Basenindeki şeyller daha sığ (yaklaşık 8000 ft), diğer şeyller ise 10 000 ft (Perth Baseni) ve 12 000 ft (Canning Baseni) arasındaki derinliklerde bulunur. Organik zenginlik düzeyleri (TOC) ortalama %3.5 civarındadır. Özellikle Cooper Baseninde (Beach

Petroleum) ve Canning Baseninde (Buru Energy) aktif araştırma faaliyetleri bulunmaktadır. Buna rağmen, Cooper Baseni'nde geleneksel gaz üretimi de devam etmektedir. Canning Baseninde Goldwyer Formasyonu (235 Tcf) ile en büyük potansiyele sahip birimdir (Rezaee ve Rothwell, 2015). Ülkenin birçok eyaletinde su kaynaklarına zarar vereceği endişesi ile bu konuya temkinli yaklaşım ve uzun yıllar boyunca önemli bir girişim olmamıştır. New South Wales de bazı sahalarda çalışmalar yapılmaya başlansa da hala ekonomik anlamda önemli üretim için gelişme bulunmamaktadır (CPFIS Shale gas Guidance, 2013; US EIA, 2013).

Kanada; Kanada, toplam 12 basende (Horn River, Cordova, Liard, Deep, Alberta, Doğu ve Batı Şeyl, KB Alberta, Güney Alberta, Williston, Appalachian, Windsor) ve 12 farklı şeyl formasyonunda olmak yaklaşık 573 Tcf şeyl gaz rezervine sahiptir. Bunun büyük kısmı da Western Canadian Basenindeki (WCB) 5 alt basende bulunur. WCB, Rocky Mountain ile ilişkili foreland bir havzadır. Ancak verimli şeyl düzeyleri, denizel ortamın pasif kıta kenarında çökelmiştir. Gaz şeylleri derinlik ve kalınlık bakımından değişiklik sunar, ancak büyük kısmında derinlik yaklaşık 8000 ft ve ortalama olarak kalınlıkları da 200-400 ft arasındadır. Organik zenginlik genellikle yeterlidir (TOC > %3.5), kil içeriği düşük, ısıl olgunluk yüksek ve şeyller sıklıkla aşırı basınç etkisinde kalmıştır. Doğu kıyısında özellikle bazı küçük ancak verimli şeyl formasyonları bulunmaktadır. Bunlar arasında Appalachian Baseni en çok bilinen ve verimli olan sahadır (Rezaee ve Rothwell, 2015; Speight, 2013; US EIA, 2013a).

Kuzey Afrika; Afrika kıtasında toplam 1361 Tcf lik şeyl gaz rezervi belirlenmiştir. Kuzey Afrika'nın şeyl gaz potansiyeli ise yaklaşık 829 Tcf dir. Bunun büyük bölümü Libya (122 Tcf) ve Cezayir'dedir (707 Tcf). Bu alanda, Ghadames

Baseni (çoğunlukla Cezayir tarafında) ve Sirte Baseni (Libya) önemlidir. Heriki intrakratonik basen de Devoniyen ve Siluriyen'deki denizel şeyl çökelişi ile ilgilidir. İstif kalınlığı 100-200 ft olup, yüksek TOC (%3-5 ve yerel olarak %17 den büyük olan kısımlar da bulunmaktadır), aşırı yüksek/normal basınç, ortalama kil içeriği ve yeterli olgunluk verimli gaz sahalarının oluşumu için uygun şartları geliştirmiştir. Ancak tüm bu verimli şeyl düzeyleri 9400 ve 13000 ft arasındaki derinliklerde dir. Ghadames Baseninde uzun süredir araştırma ve incelemeler olmakla birlikte üretim faaliyeti bulunmamaktadır. Bunun dışında, Mısır' da yaklaşık 100 Tcf, Tunus' ta (Ghadames Baseninde) 23 Tcf ve Fas' ta ise 20 Tcf lik rezerv bulunduğunu belirtilmiştir (Rezaee ve Rothwell, 2015; US EIA, 2013b).

Avrupa Genel: Avrupa genelinde, Almanya, Polonya, Romanya, İsveç, Danimarka, **İngiltere** ve Fransa'da önemli şeyl gaz rezervinin olduğu belirtilmekte olup, toplam rezerv 883 Tcf dir (Rezaee ve Rothwell, 2015). **İspanya'** daki Cantabrian Baseni Jura yaşlı şeyllerinde ise 8 Tcf lik rezerv belirlenmiştir. Ancak hali hazırda Avrupa'da şeyl gaz üretimi bulunmamaktadır. ExxonMobil Macaristan'da şeyl gaz üretimi için 2009 yılında Mako bölgesinde 5 adet kuyuyu tamamlamıştır. Norveç'te Alum şeylleri de 2011 yılında Shell tarafından incelenmiştir. Ancak, Fransa ve Almanya gibi ülkeler başta olmak üzere bu konu çevreye olan etkileri nedeniyle genellikle arka plana atılan bir durumdadır (US EIA, 2013a, b).

Polonya; Polonya, özellikle diğer Avrupa ülkelerine göre daha fazla şeyl gaz potansiyelinin olması (Şekil 6), çevresel zararları kontrol edebilecek yasal düzenlemeleri yapması yanısıra, iç tüketimde büyük oranda Rus gazına olan bağımlılıklarını azaltmak istemeleri nedeniyle Avrupa'da şeyl gaz çalışmalarının en fazla yapıldığı ülkedir. Polonya'nın hesaplanan TRR potansiyeli 148 Tcf dir. Baltic, Lublin ve Podlasie

olmak üzere başlıca 3 önemli basendeki şeyller denizel kökenli olup, Siluriyen yaşlı, ya rift veya basenin pasif kıyısı ile ilgilidir. Baltic, Lublin basenlerinde şeyllerin kil oranları ve kalınlıkları (200-300 ft) oldukça yeterlidir. Polodsie Baseninde olduğu gibi iyi organik zenginliğe de sahip (TOC %6) olmaları nedeniyle önemlidirler. Polodsie Baseninde şeyllerin derinliği 8000 ft civarındır. Ancak potansiyel üretilebilir kaynak nispeten düşüktür (14 Tcf) ve doğrulanmış potansiyel değer bilinmediği için çok fazla araştırma kuyusu da açılmamıştır. Lublin baseni şeyl seviyesi ortalama derinliktedir fakat düşük organik zenginliğe sahip olup (TOC %1.5) ortalama olgunluktadır (ıslak gaz zonu Ro %1.35). Baltic Baseni en büyük rezerve sahiptir ve optimum olgunluk ve kuru gaz penceresinde, fakat oldukça derindedir (12 000 ft) (Rezaee ve Rothwell, 2015). Baltic ve Lublin Basenlerinde araştırmalar aktif olarak devam etmektedir ve bunlar ayrıca yakınlardaki geleneksel petrol ve gaz sahaları da ilişkilidir. Bu alanlardaki gazın yerel ihtiyacı 300 yıl karşılayacağı öngörülmüştür (US EIA, 2013a).

Fransa; Fransa'da Paris ve Güney-Doğu Basenlerindeki toplam TRR miktarı 137 Tcf olup, şeyller denizel kökenlidir, düşük-orta kil içeriği, iyi organik içerik (%2.5-4), iyi olgunluk değeri (Ro %1.5) ve ortalama kalınlığa sahiptir (100-150 ft). Ancak bu rezervlerin önemli bir bölümü nispeten derinlerdedir (TRR' nin yüzde 85 lik kesimi 10 000-12 000 ft arasında). Teres Noires Şeylleri (Güney Doğu Baseninde) çok sığda (5000 ft), düşük kil içerikli, ortalama TOC %3.5 ye sahiptir. Paris baseni şeylleri de benzer özelliklere sahiptir fakat hedef seviye oldukça derindir (11 000 ft). Paris Basenindeki Permiyen-Karbonifer istifinde 127 Tcf lik rezerv bulunmaktadır (Rezaee ve Rothwell, 2015). Fransa, yer altı sularına vereceği kirlilik dolayısıyla, kaya gazı üretimine sıcak bakmayan ülkeler arasındadır ve 2011 yılında hidrolik çatlatma ülkede yasaklanmıştır (US EIA, 2013a).

Rusya; Rusya çok büyük konvansiyonel petrol ve gaz rezervlerine sahip olması nedeniyle şeyl gaz üretimine ihtiyacı olmayan, en büyük tedarikçi ülke durumundadır. TRR değerinin 285 Tcf olduğu tahmin edilmektedir (Rezaee ve Rothwell, 2015).

İskandinavya; İskandinavya Bölgesinde, İsveç ve Danimarka'da Alum Baseninde hesaplanan TRR değeri 10 Tcf olup, Danimarka 32 Tcf rezerve sahiptir. Verimli hedef şeyller denizel kökenli ve Ordovisiyen yaşlı olmakla birlikte sadece bir alandaki şeyller gaz penceresindedir. Yüksek organik zenginlik (ort. TOC %10), sığ derinlik (3300 ft), düşük kil içeriği, oldukça iyi kalınlık (150 ft) ve gaz penceresindeki olgunluk değeri nedeniyle oldukça iyi bir şeyl gaz rezervinden bahsedilebilir (Rezaee ve Rothwell, 2015). Shell tarafından İsviçre'nin güneyinde bir araştırma programı tamamlanmıştır. Alum şeylleri ile ilgili Danimarka ve Norveç'te sınırlı olarak araştırmalar bulunmaktadır ve araştırma kuyularının açılması planlanmıştır (US EIA, 2013a).

Orta Doğu; Orta Doğu şeyl gaz değeri yaklaşık 138 Tcf olarak belirtilmiştir. Ancak bu alanla ilgili detay çalışma bulunmamaktadır. Bol miktarda geleneksel petrol ve gaz kaynağı olması nedeniyle bu enerji kaynağına ilginin fazla olmadığı açıkça görülmektedir (Rezaee ve Rothwell, 2015).

Hindistan; Cambay, Domodar Valley, Krishna-Godavari ve Cauvery Basenleri olmak üzere 4 farklı alanda toplam TRR değeri 201 Tcf olup, ilk iki basen denizel, son ikisi ise karasal şeyllerdir. Cambay Baseni şeylleri nispeten daha derindedir (13 000 ft) ve bunların dışındaki diğer tüm şeyller yüksek kil içeriklidir. Cambay Baseni şeylleri aşırı olgun (Ro %1.1) ve ortalama organik zenginliğe sahiptir (TOC %3). Kalın bir istif (500 ft) olması nedeniyle de verimli bir seviye olarak tanımlanır (Rezaee ve Rothwell, 2015). Krishna-

Godavari Baseninde Permiyen-Triyas yaşlı şeyllerde 57 Tcf lik rezerv bulunmaktadır (US EIA, 2013a).

Pakistan; Southern Indus Basenindeki Sembar ve Ranikot formasyonlarında toplam 105 Tcf şeyl gaz rezervi bulunmaktadır. Hedef şeyller denizel kökenli olup, foreland basende çökelmiştir. Net kalınlıkları (300-450 ft) ve düşük kil içeriklerine rağmen, ortalama organik zenginliğe sahiptir (TOC %2) ve hedef zonlar ıslak gaz-kuru gaz penceresindedir (Ro % 1.15-1.25) (Rezaee ve Rothwell, 2015).

Kuzey Batı Afrika: Fas ve Cezayir, Batı Sahara ve Moritanya bölgelerindeki en önemli ve verimli şeyl gaz sahası olan Tindouf Basenini (50 Tcf şeyl gaz rezervi) paylaşmıştır (Rezaee ve Rothwell, 2015). Tindouf Baseni yeterli organik zenginlik (ortalama TOC %5), düşük kil seviyesi ve iyi olgunluk düzeyine sahip olmakla birlikte sınırlı yatay yayılımı üretim için sınırlayıcı bir etki olarak dikkat çekmektedir.

Doğu Avrupa; Polonya hariç, Doğu Avrupa'nın şeyl potansiyeli çevresel potansiyel etkileri nedeniyle araştırılmamıştır. Ancak Baltic (Litvanya), Lublin Baseni ve Dnieper-Donets Basenleri (Ukrayna) oldukça önemlidir. Tüm bu şeyller denizel kökenlidir.

a- Baltic Baseni (Litvanya); Hesaplanan TRR değeri 2 Tcf olup Siluriyen yaşlı denizel şeyllerle ilgilidir. Ancak bu şeyller Polonya'daki eşdeğer düzeylerden daha az olgun (Ro % 1.2) ve daha sığdadır (6700 ft, Polonya'daki 12000 ft). Bu sahada herhangi bir araştırma bulunmamaktadır

b- Carpathian Foreland Baseni (Ukrayna); Bu basen Polonya'daki Lublin Baseninin uzantısıdır ve hesaplanan TRR değeri 72 Tcf dir. Şeyl özellikleri benzer olup, L. Siluriyen formasyonunda ortalama TOC yaklaşık %2.5 dir. Ancak Polonya'daki çalışma ve araştırmalar bu havzada (Ukrayna) yoktur.

c- Dnieper-Donets Baseni (Ukrayna); Ukrayna'da bulunan bu basenin Alt Karbonifer istifinde TRR değeri 76 Tcf dir. Hedef şeyl nispeten kalın (100 ft), derin (13000 ft) ve ıslak-kuru gaz penceresindedir (Ro % 1.3). Bu basende de önemli bir şeyl araştırması bulunmaktadır. Doğu Avrupa'nın doğusunda ise West Siberian Central ve West Siberian North Basenlerinde 285 Tcf lik rezerv bulunmaktadır. Ukrayna/Romanya ve Romanya/Bulgaristan sınırlarındaki Moesian Platformundaki L. Siluriyen ve Etropole birimlerinde 47 Tcf rezerv belirlenmiştir (Rezaee ve Rothwell, 2015; US EIA, 2013b).

Almanya ve çevre ülkeler; Kuzey Denizi- German Baseni, Kuzey Almanya, Belçika ve Batı Hollanda boyunca uzanır. Bu alanda yaklaşık 32 Tcf rezerv hesaplanmış olup, bu 2 farklı verimli şeyl formasyonundadır. Bütün şeyller denizel kökenlidir ve Karbonifer, Jura, Kretase dönemlerindeki rift baseninde çökelmiştir. Şeyl düzeyleri kalındır (75-120 ft) ve orta dereceli kil içeriği, yeterli organik bileşim ve olgunlaşma değeri ile ıslak-kuru gaz penceresindedir (Ro %1.25-2.5). Wealden şeyli 6500 ft, Posidonia ve Namurian şeylleri ise yaklaşık 10 000-12 000 ft derinliklerdedir. ExxonMobil, Almanya'da önemli şeyl gaz araştırmaları yapmaktadır. Son yıllarda hidrolik çatlatmaya olan tepkiler nedeniyle bu süreç rafa kaldırılmıştır (Bloomberg, 2011 ve 2012). Hollanda ise, West Netherlands Basenindeki birimlerde 26 Tcf lik rezerv belirlenmiştir (US EIA, 2013a).

İngiltere; Şeyl gaz rezervi 26 Tcf olup, bunun 20 Tcf lik kısmı "Kuzey Petrol sistemi/ Northern UK Carboniferous Shale Region"nde ve 1 Tcf lik kısmı ise "Güney petrol sistemi/ Southern UK Carboniferous Shale Region"ndedir. Herikisi de denizel kökenli şeyller içerir ve Karbonifer ve Jura yaşlı pasif kıta kenarı ile ilgili çökelim sistemleridir. Kuzey petrol sisteminde hedef

seviye daha sığdadır (4800 ft). Yüksek organik bileşim (%5.8), uygun kalınlık (150 ft) ve ıslak-kuru gaz penceresi zonundadır (ortalama % 1.4 Ro). Ancak kil oranı yüksektir. Güney petrol sisteminde ise derinlik (13500 ft), organik bileşim ortalama %2.4 TOC ve Ro %1.15 olup, Kuzey Petrol sistemi üretim için daha elverişli özelliklere sahiptir (Rezaee ve Rothwell, 2015).

Güney Amerika Kuzeyi; Güney Amerika kuzeyinde hesaplanan toplam şeyl gaz rezervi 1431 Tcf dir. Bunlar Maracabio Baseni (Venezuela) ve Catatumbo alt basenindedir (Kolombiya). 3 adet verimli şeyl seviyesi belirlenmiş olup, bunlar ıslak-kuru gaz oluşum penceresinde, orta kalınlıkta (yaklaşık 200 ft), orta kil içerikli ve Amerika'daki Eagle Ford şeyl sahaları ile aynı yaştadır. Kolombiya'daki La Luna Formasyonu (Catatumbo Baseninde) yüksek organik madde içeriği (% 4.5) ve sığ derinliği (6600 ft) ile daha ümitli görülmüştür. Diğer iki saha ise şeyller düşük organik içerikli (ortalama %1.3) ve nispeten daha derindedir (13500 ft). Heriki verimli basen de önemli konvansiyonel gaz sahaları ile ilişkilidir ki bu alanlar zaten jeolojik olarak kompleks özelliklerdedir (Rezaee ve Rothwell, 2015).

Türkiye; Ülkenin hesaplanan TRR potansiyeli 17 Tcf dir. Bunun 11 Tcf lik kısmı Güneydoğu Anadolu (Dadaş Formasyonu), 6 Tcf lik kısmı ise Trakya Baseni'ndedir (Hamitabat Formasyonu). Tüm verimli şeyller denizel kökenlidir, şeyl gaz özellikleri elverişli görünmektedir. Ancak GD Anadolu Baseni daha sığ derinliklerde şeyl içermektedir (8000 ft) ve kalınlıklarda daha uygundur (150 ft). Yüksek organik zenginlik (%5.5) ve olgunluktadır (Ro %1.1). Dadaş Formasyonu, Siluriyen-Devoniyen yaşlıdır ve organik madde miktarı, olgunluk açısından uygun özelliklere sahiptir. Dadaş Formasyonu Oklohoma'daki Woodford şeyllere benzetilmiştir. Trakya Baseni'ndeki

birimlerden biri çok derinde (14000 ft), diğeri ortalama organik zenginlikte (TOC %2.5) ve Ro %1.1 olgunluk seviyesindedir. Türkiye'deki kaya gazı potansiyelinin değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar halen TPAO öncülüğünde yürütülmektedir. Bu kapsamda 2010 Transatlantic Petroleum firması ile 2011 yılında ise Shell ile arama ve üretim anlaşmaları yapılmıştır (Bahtiyar, 2012; US EIA, 2013a).

Yukarıda bahsedilen ülkeler dışında Moğolistan (7Tcf), Taylanda (5 Tcf), Endonezya (76Tcf), Ürdün(7Tcf) lik rezervlerde belirlenmiştir (US EIA, 2013b).

5. ARAŞTIRMA, ÜRETİM VE PAZARLAMA

Şeyl gaz araştırmalarının temelinde, bu birimlerin bulunduğu sahalarının oluşumlarına etki eden jeolojik süreçlerin değerlendirilmesi, şeylli seviyenin makroskobik ve mikroskobik, organik jeokimyasal olarak detaylı incelenmesi yer alır. Özellikle şeyl düzeylerinin çökelim ortam özellikleri, birimin kalınlığı, organik jeokimyasal nitelikleri, ısıl tarihçesi, mineralojik bileşim ve porozite başta olmak üzere petrofiziksel özellikler gibi jeolojik bilgilerin net bir şekilde sağlanması üretim için oldukça önemlidir ve maliyetli bir yatırımda zarar veya kar potansiyelini etkileyen bir unsur olarak dikkat çeker. Etkin ve verimli bir gaz sahası için yüksek organik karbon içeriği (TOC) en az %2, ısıl olgunlaşma (Ro%1.1.-1.5) ve birimin yüksek kırılabilirliğe sahip olmasını sağlayacak mineralojik bileşimi yani düşük kil içeriği oldukça önemlidir. Ancak porozite, stres etkisi, stres tarihçesi de önemli olan diğer faktörlerdendir. Şeyl gazı potansiyeli taşıyan birimlerin yeterli kalınlığa ve yayılıma sahip olduğu alanlarda öncelikle hedef şeyl seviyesi tanımlanır. Deneme kuyuları ile gerekli bilgiler alındıktan sonra "Pilot proje" hazırlanır ve "pilot üretim" denilen öncül üretim yapılır. Kuyudaki

üretim tamamlandığında ise çevre düzenleme aşamasına geçilerek işlem bitirilir. Bir kuyuda ortalama bir çalışma hızıyla çatlatma yaklaşık 130 gün sürer, burada coğrafi faktörler ve diğer etkenler çalışma hızını oldukça etkiler. 3000 m lik dik bir kuyuda sondaj maximum 100 gün, çatlatma hazırlık aşaması 1 hafta gerçek çatlatma ise, 20 m lik bir zonda, 1 gün sürer (Aytuna, 2016, sözlü görüşme). Çatlatma yapıldıktan sonra çatlatma sıvısı kuyu içindeki basınç düşürülerek yüzeye doğru çekilir. Bu şekilde kuyudan gaz üretimi başlar. Kuyudaki üretim ekonomik anlamını yitirdiğinde gerekli emniyet önlemleri uygulanarak kuyu terkedilir.

Şeyl kaynak kayasının geçirgen olmayan, gözeneksiz yapısı üretim için en büyük engeldir. Bu nedenle öncelikle hapsediği gazı serbest bırakacak duruma getirilmesi gerekmektedir. Şeyllerden doğalgaz ve petrol elde edilebilmesi için gerekli teknolojik uygulamalar;

- **Hidrolik çatlatma:** Formasyonlar içine belirli özellikte sıvıların yüksek basınçla pompalanarak çatlaklar oluşturulması, bu sayede hidrokarbonların sızması ve üretim için yüzeye çekilmesine yardımcı olunması işlemlerinin tamamı “Hidrolik Çatlatma-suyla çatlatma” olarak tanımlanır ve bu yöntem 1940’lı yıllarda Amerika’da keşfedilmiştir.
- **Yatay sondaj:** Petrol sektörü tarafından 1980’lerden beri kullanılmaktadır. Oldukça pahalı olması nedeniyle hedef şeyl seviyelerinde oldukça detay mikro-makro ön incelemeler ve modellemeler sonrasında uygulanabilecek bir yöntemdir (Zhang vd., 2007).
- **Sismik arama teknolojileri:** Teknolojik gelişmeler paralelinde daha geniş teknik imkânlarla üç boyutlu yeraltı haritaları çıkartılmaya başlanmış olup, incelenecek hedef şeyl alanının detaylı sismik profilleri ile yeraltı ve yüzey koordinasyonu sağlanarak

muhtemel operasyon riskleri en aza indirilebilir.

- **Ekstraksiyon Yöntemleri:** Şeyl gaz ekstraksiyonu, araştırma ve pilot üretim aşaması ile başlar. Hedef alanda 2-3 deneme kuyusu delindikten ve şeyl seviyesi çatlatıldıktan sonra, eğer ekonomik şeyl gazı varsa üretim için planlama aşamasına geçilir. Bu süreçte daha fazla kuyu ile şeyl seviyesi hakkında detaylı bilgi sağlanarak üretimin en ekonomik nasıl gerçekleşeceğine dair program hazırlanır.

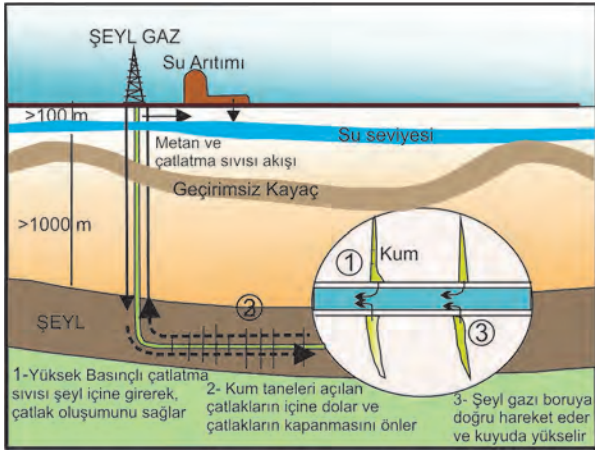
5.1. Üretim Süreci

Her şeyl formasyonun kendine has petrolojik özellikleri olduğu için, gaz veya petrol üretimi için uygulanacak yöntem ve teknolojilerin her bir sahada birbirinden farklı olması ve farklı bir üretim planının izlenmesi de kaçınılmazdır. Büyük şeyl sahalarında tek bir şeyl istifinde bile yatay ve düşeyde bu tip heterojenlik nedeniyle üretim sürecinde farklı yöntemlerin uygulanması gerekebilmektedir.

Kaya gazı çıkartmak için kullanılan yöntemler ve teknolojiler, şirketlerin optimizasyon çalışmaları ve bu alanda deneyimin artmasıyla sürekli değişmektedir. Ancak genel hatlarıyla bir kaya gazı çıkartma operasyonunun başlıca aşamaları Şekil 8’ de belirtilmektedir.

Hidrolik çatlatma yöntemi; geçirimliliği çok az olan şeyller ve kömür tabakalarında yapılan sondajlarda basınçlı özel bir karışıma sahip su kullanarak çatlaklar oluşturulması ve bu çatlaklar sayesinde gazın sondaj kuyusuna akışının sağlanması esasına dayanmaktadır. Günümüzde hidrolik çatlatma için kullanılan sıvı yaklaşık %94 su, %5 kum ve %1’e yakın oranlarda sürtünme azaltıcı, antimikrobiyal ile artık birikmesini önleyici kimyasallar içermektedir. Kullanılan kimyasallar polikrilamid, bromin, metanol,

naftalin, hidroklorik asit, etilen glikol, bütanol vb. maddelerden oluşur. Şeyl kayaçlarına ve kömür tabakalarına bu amaçla yatay sondaj yapılmaktadır. Böylelikle daha uzun bir mesafede gazı barındıran tabaka içinde çatlakların oluşturulması ve maksimum verimin sağlanması amaçlanmaktadır (King, 2010; Reddy ve Nair, 2012). Yatay olarak şeyl tabakası içine birden fazla sondaj borusu uzatılmaktadır ve yatayda her birinin uzunluğu 2 kilometreye kadar ulaşmaktadır. Sondaj kuyusu içindeki perfore (delikli) boru sayesinde basınçlı olarak kaya tabakasına enjekte edilen suyun içine belirli oranda kum gibi taneli bir malzeme karıştırılmaktadır (Şekil 8). Suyla beraber kum karışımının enjekte edilmesinin gerekçesi, kaya tabakasında çatlakların sonradan kapanmaması ve üretim seviyesinin düşmemesini sağlamaktır. Bu sıvı içindeki bazı kimyasallar ise bu çatlatma işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olur.



Şekil 8. Şeyl gazı operasyonunun şematik kesiti (www.propublica.org/special/hydraulic-fracturing)

Figure 8. Schematic section of shale gas operation (www.propublica.org/special/hydraulic-fracturing)

Çevrecilerin çabaları ile şeyl gaz kuyularında geleneksel sulu sistemlere alternatif olarak sondaj ve üretim aşamalarında yeni

yöntemler ve ürünler denenmiş ve bunlar “yeşil” yani toksik olmayan eklentiler olarak tanımlanmıştır (Fisher vd. 2014). Yapılan son çalışmalarda, hidrolik çatlatmada kullanılan kimyasal madde içerikli basınçlı su yerine, “sıvılaştırılmış propan” kullanılmasının, hem kirliliği azaltacağı, hem de yüksek orandaki su kullanımını ortadan kaldıracığı düşünülmektedir.

Hidrolik çatlatma sonunda, su yüzeye geri alınmaktadır (Şekil 8). Havuz ve tanklarda depolanıp, gerekli temizleme/arıtma işlemi yapıldıktan sonra yeniden kullanılabilir. Bu şekilde, geri dönen sıvıların kazanımı operasyonlardaki tatlısu ihtiyacını azaltarak, zaman ve para tasarrufu da sağlamaktadır. Buna ek olarak, günümüzde Pensilvanya’da terkedilen madenlerde drenajı yapılan sular da hidrolik çatlatma için kullanılmaktadır. Bu kazan-kazan anlayışı açısından önemlidir ve özellikle kömür madenciliği için bu ilişki yaygınlaştırılabilir. Ancak terkedilen bu madenlerdeki sulara bulunan yüksek sülfat konsantrasyonu, çatlatma etkinliğini etkilediği için bu konuda araştırma ve geliştirme çalışmalarının detaylı olarak yapılması gerekmektedir.

6. ŞEYL GAZININ EKOLOJİ VE SOSYAL HAYATA ETKİLERİ

Şeyl gaz üretimi birçok ülkede politik- ekonomik ve sosyal alanda değişimlere neden olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Bu gelişmeler yanısıra gelecekte nasıl bir manzara ile karşılaşılacağı ve potansiyel çevresel etkileri üzerine devam eden tartışmalar sürmektedir. Çevresel etkiler özellikle ankonvansiyonel gaz üretimi sırasında kamuoyu tarafından en fazla dikkat çekilen konuyu oluşturmaktadır. Özellikle suyun sağlanabilirliği ve kullanımı, potansiyel yeraltısu kirliliği, yüzeye sızan çatlatma sıvıları, hava kirliliği,

sarsıntı nedeniyle yollarda ve binalarda gelişen çatlaklar ve deformasyonlar ile diğer konular sayılabilir. Bunun dışında ise geri alınan suyun temizlenmesi ile atmosfere salınan sera gazları da diğer sorunlar olarak değerlendirilir (Schrag, 2012; Shine, 2009) (Şekil 9).

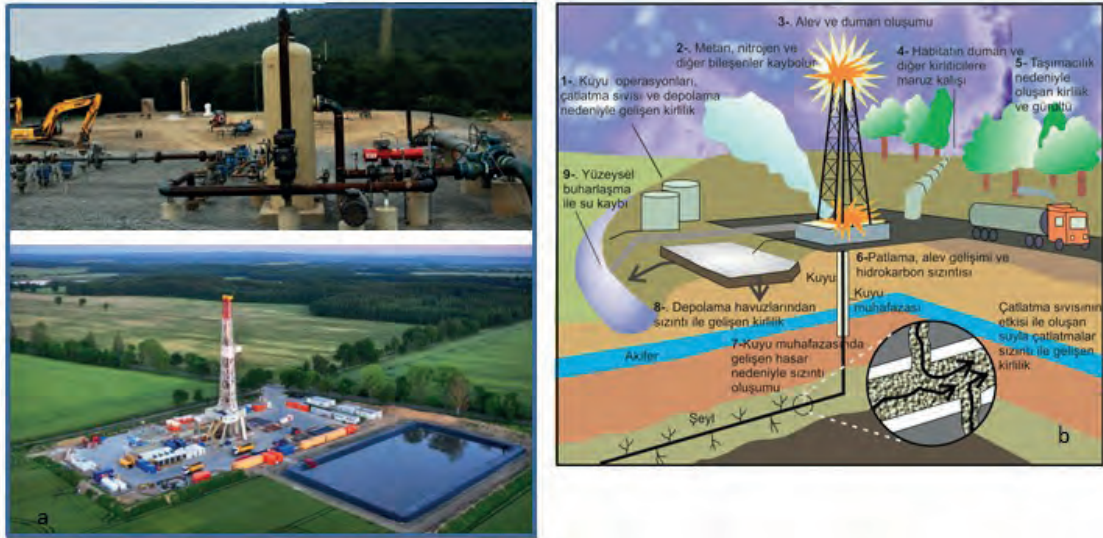
6.1. Doğal olarak oluşan Radyoaktif Materyaller ve iz elementler

Şeyl gaz üretim çalışmalarında doğal olarak serbestleşen radyoaktif minerallerin (NORMs) hareketliliği rezervuar, sondaj kesintileri ve çatlatma sonucunda geri alınan suya da dikkatleri çekmiştir. Marcellus şeylleri gibi siyah şeyllerde genellikle eser miktarlarda da olsa ^{238}U , ^{235}U , ^{40}K , ile daha yüksek oranlarda da ^{232}Th bulunmaktadır. Organik maddece zengin şeyllerde U ve Th yanısıra, Mo, V, Cr, Ti ve Mn gibi diğer iz ve eser element zenginleşmeleri de görülebilmektedir. Bunlardan özellikle Cr ve V yeraltılarına karışması durumunda önemli sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Petrol ve gaz endüstrisi tarafından, üretim ve araştırmalar sırasında çevreye salınan zararlı gazların azaltılması ve çevresel etkilerinin en aza indirilmesi için yüksek

standartlarda önlemler alınmaya çalışılmaktadır (Smith, 2011).

6.2. Yüze ve Yeraltı kaynaklarına etkileri

Yeraltı suyu kirliliği genellikle sığda yapılan "sondaj" veya "çatlatma" işlemleri nedeniyle gelişir ve içme sularına karışan metan ve çatlatmada kullanılan kimyasallar bu kirliliğin en önemli nedenleridir. Hidrolik çatlatma için büyük miktarda su ve kimyasal maddenin yeraltına enjekte edilmesi gerekir ki, suyun miktarı her bir çatlatma için 50 000-100 000 galon ($190\text{-}380\text{ m}^3$) olup, yatay bir şeyl kuyusu için 1-8 milyon galon ($3800\text{-}30\ 000\text{ m}^3$) su ve binlerce ton veya daha fazla kimyasal maddeye ihtiyaç vardır. Bu kadar suyu hayal edebilmek için ExxonMobil tipik bir yatay şeyl kuyusunda sondaj ve çatlatma için 3-6 olimpik havuz dolusu suya ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir (Olimpik havuz hacmi 2500 m^3 veya 660 000 US galon) (US EIA, 2013a). Bu rakamlar tatlı su kullanımı için oldukça çarpıcı değerlerdir ve özellikle günlük hayat ve tarımsal faaliyetler, gelecekte temiz su sağlanabilirliği için çok önemlidir.



Şekil 9. Şeyl gaz üretimi yapılan bir sahanın genel görünümü (a) ve çevreye olan bazı etkileri (b)
Figure 9. Field overview of performed shale gas production area (a) and some effects of environment (b)

Hidrolik çatlatma amacıyla kuyulara pompalanan suyun yaklaşık üçte biri yeryüzüne geri dönmektedir. Bu suyun sızmalara karşı güçlendirilmiş havuzlarda toplanması gerekir (Şekil 9). Havuzlarda biriktirilen su, ya yeniden çatlatma sıvısı olarak kullanılır, ya da arıtılarak kanalizasyona verilir. Terkedilen kuyulara ek olarak, sığ akiferlerdeki doğal gazlar da tehlike yaratan etkilere sahiptir. Bu tip kirlilik kaynaklarından daha kötüsü ise arsenik, baryum ve NORM gibi kirleticilerin varlığıdır. İçme suyuna karışan metan özellikle insan ve diğer canlı sağlığı açısından zararlı olsa da patlama riski de bulunmaktadır (Molofsky vd., 2011; Vidic vd., 2013). Bu kirlilik kaynaklarının ortadan kaldırılması için bazı önlemler alınmaktadır. Örneğin kuyulardan geri alınan suyu, açık havuzlarda biriktirmek yerine, kapalı birikim alanları hazırlanmaktadır. Pensilvanya'daki geri kazanılan suların işlendiği veya temizlendiği tesislerde yapılan araştırmalarda, bu suların aslında tamamen temizlenmesinin mümkün olmadığı görülmüştür (Artur ve Cole, 2014). Ayrıca, bu işlemler için oldukça fazla zaman ve para harcanması gerekmektedir ki üretici için bu istenmeyen ekstra bir yük olarak değerlendirilir.

6.3. Hidrokarbon Çıktılarının Atmosfere Etkisi

Doğal gaz kullanımı, dünyada özellikle kömür kullanılan termik santrallerin atmosfere verdiği partikül ve gazlar ile karşılaştırıldığında çevre için önemli faydalar sağlamaktadır ve birim enerji üretimi için atmosfere salınan gaz miktarının diğer konvansiyonel enerji kaynaklarına oranla daha az olduğu görülmüştür (US EPA, 2012). Son 25 yılda doğal gaz kullanan termik santrallerdeki CO₂ emisyonu kömür kullananlara göre %44 daha azdır.

7. ŞEYL GAZI VE KÜRESEL EKONOMİ

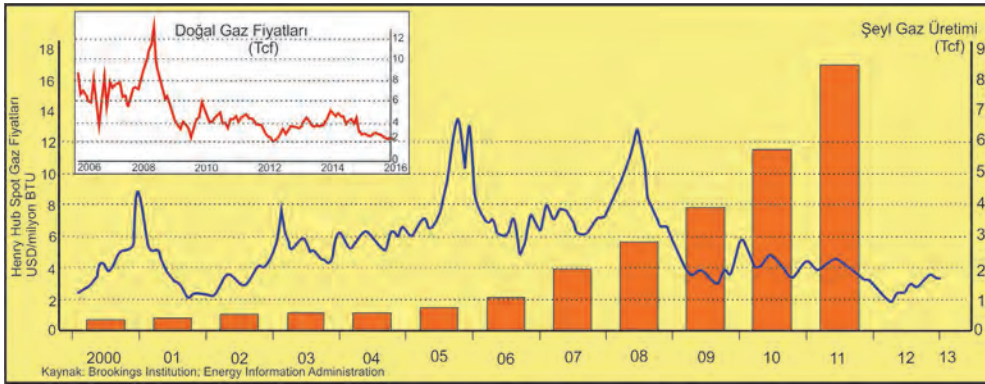
Şeyl gazı araştırmaları diğer fosil enerji kaynaklarına göre yeni bir alandır ve özellikle Amerika dışındaki ülkeler için bilgi ve teknoloji açısından büyük bir birikim ve yatırıma ihtiyaç duyar. Dünyada pek çok ülkede şeyl gaz rezervi olan sahalarda belirlenmekle birlikte, her bölgede aynı ekonomik getirinin olması da beklenmemelidir. Örneğin Polonya'daki şeyl gaz üretimi ABD'den 3 kat daha pahalıdır. Şeyl gazı üretim maliyetleri sermaye, işletme, nakliye maliyetleri ile vergi ve imtiyaz paylarından oluşmakta olup, ülkeye, coğrafyaya ve operasyonun büyüklüğüne göre çeşitlilik göstermektedir. Sermaye maliyetleri temelde arama ve geliştirme maliyetlerini içermekte ve büyük bölümü ise kuyuların inşası (sondaj maliyeti) ile ilgilidir. İşletme maliyetleri, üretim faaliyetinin kendisinden kaynaklanan ve değişkenlik sunan maliyetlerdir. Nakliye maliyetleri ise daha çok gazın satılacağı pazarlara olan uzaklıkla ilgilidir. Dikkate alınması gereken bir diğer veri ise kuyularda kullanılacak su miktarıdır. Bu suyun tedarik edilmesi ve depolanması da önemli bir harcama kalemi oluşturur. Şeyl gazı kuyularından elde edilmesi beklenen toplam gazın yaklaşık %25'i üretimin ilk yılında, %50'si de ilk 4 yılda üretilmektedir. Hedef bölgeye özgü maliyet bileşenleri ve çıkarılabilecek gaz miktarı birlikte değerlendirildiğinde, operasyonun reel bir getiri sağlaması için piyasada doğalgazın fiyatının ne olması gerektiğine ilişkin bir başabaş noktası belirlenmektedir.

Maliyet için oldukça önemli bir yere sahip olan kuyuların sayısı binlerce olabilmektedir. Şeyl tabakasının derinliğine, yatay sondaj uzunluğuna ve yapısal, su temini gibi faktörlere bağlı olmakla birlikte ABD'de bir şeyl gazı kuyusunun maliyeti 4-10 milyon USD arasında değişmektedir. Kuyu başına elde edilebilen doğalgaz miktarı ise 8 ila 300 milyon m³ arasındadır. Yaklaşık bir

hesaplamayla 5 milyon USD'ye mal olan ve 30 milyon m³ gaz elde edilebilecek bir kuyunun ekonomik olarak anlamlı olması için piyasada doğalgaz fiyatının 5 USD/MBtu'nun üzerinde olması gerekmektedir (<http://ekonomi.isbank.com.tr>). Şeyl kuyuları yaklaşık 1000 metre ve daha da derinde olduğu ve açılan her 10 kuyudan yalnızca 1 tanesinde gaz elde edildiği istatistiksel olarak ortaya konulduğu düşünülürse alınan riskin büyüklüğü daha kolay anlaşılır. Bunun dışında şeyl gaz üretimleri günümüzde sadece karada yapılmakta, kuyu maliyetleri ve operasyonel zorluklardan dolayı denizel sahalarda üretim bulunmamaktadır.

-Ankonvansiyonel şeyl gaz teknolojisindeki gelişmeler, şeyl gazının konvansiyonel doğal gaz yerine tercih edilmesine neden olurken, her ülkede şeyl gaz endüstrisinin gelişebilmesi için çevre kanunları ve düzenlemelerinin yapılması gerekecektir.

Günümüzdeki yönelim, doğalgazın dereceli olarak küresel ekonomik pazarda artan oranlarla yer alacağı şeklindedir. Küresel bir etkileşim olması durumunda petroldeki gibi doğalgazda da küresel fiyat belirleyici organizasyonların kurulması ve petrol ve gazın dünyada dengeli fiyat politikası izlemesi sağlanabilecektir (US EIA, 2015). OPEC 2014



Şekil 10. Doğal gaz ve şeyl gazının ekonomik değerlendirmesi ve tarihsel olarak fiyat değişimleri
Figure 10. Economic evaluation of natural gas and shale gas and their historical price changes

Amerika'daki ticari doğal gaz üretim miktarı gittikçe artmakta olup, bu kapsamda şeyl gazının etkisi oldukça önemlidir (Şekil 10). 2040 yılında gaz üretiminin yaklaşık yüzde 50 sinin şeyl gazından üretileceği öngörülmektedir. Ridley (2011) tarafından vurgulandığı gibi, şeyl gazı gelecekte birçok diğer olayı da etkileyebilecektir. Bunlar;

-Şeyl gaz üretiminin artması, potansiyel olarak gaz fiyatlarındaki düşüşü geliştirirken, enerji ihtiyacının artması, gaz ihtiyacının da artması nedeniyle yeni pazarları ve yeni arama ve üretim hedeflerini oluşturabilecektir.

toplantısında petrol fiyatlarındaki devam eden düşüşe rağmen üretim kotasını azaltmama kararı almış ve fiyatlardaki düşüş oranı artmıştır. Ancak, 2016 Şubat ayında ise OPEC tarafından üretimi durdurma kararı alınmıştır (www.opec.com). Özellikle Suudi Arabistan'ın üretim kotasının azaltılmasına olan itirazları ABD ve Kanadalı şeyl gaz üreticilerini petrol piyasası dışına atma stratejisi olarak görülmüştür. Başka bir ifadeyle OPEC üyesi bazı ülkeler özellikle kaya gazı üreticileri ile "fiyat savaşı" na girmiştir.

8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde birçok ülke kendi konvansiyonel olmayan gaz rezervlerini ve bunlardan itibaren yapılacak üretimin, uluslararası doğal gaz piyasaları ve kendi ekonomik dengeleri üzerindeki muhtemel etkisini değerlendirmektedir. Özellikle gaz içeren şeyl tabakalarından hidrolik çatlatma yöntemiyle sağlanan gaz miktarında her bir kuyudan 20-30 yıl üretim yapılabilecek teknolojiye ulaşılmış olması bu parametrenin uzun süreçler ve onlarca değişken etkisiyle değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Şeyl gaz temini ve kullanım yaygınlığı, fosil yakıtlar enerji sektörü üzerindeki etkisini uzun zamandır göstermektedir. Bu, sadece küresel doğal gaz fiyatları ile sınırlı olmayıp, özellikle Amerika'nın büyük şeyl gazı potansiyeline sahip olması dünyada enerji dengelerini de etkilemiştir. Küresel enerji teminatı, enerji kaynaklarının kullanım oranları, enerji-su-iklim ve tüm bunların küresel enerji sağlanabilirliğine etkisi gün geçtikçe kendini daha fazla hissettirmektedir (US EIA, 2015). Amerika ve Kanada'nın şeyl gazı üretimini artırmasıyla gelişen konvansiyonel doğal gaz üretim-pazarlama dengesi, etkisini gelecek yıllarda da hissettirecek gibi görünmektedir. Günümüzde bile, 20 yıllık süreç içindeki hızlı değişim fosil yakıt dünyasında kuralları koyan Suudi Arabistan, Rusya ve İran'ın yeni enerji politikaları oluşturması yönünde zorlamaktadır. Şeyl gazı potansiyeli konusunda Amerika ve Kanada dışında tüm dünyada yeni rezervler belirleneceğinden küresel enerji denkleminin de önemli ölçüde değişebileceği öngörülmektedir. Ayrıca, Polonya ve İskandinav ülkelerinde bu gazın devreye girmesi ile Rus gazına, Güney Amerika'da ise yeni keşifler ile Bolivya gazına olan ihtiyaç azalacaktır. Amerika ve Kanada'da şeyl gaz üretiminin artması ve Irak'ın doğal üretimi ile dünya pazarlarına girmesi ile Rusya'nın Avrupa'ya karşı enerjiyi bir silah olarak kullanmakta zorlanacağı belirtilmektedir. Şeyl gazın Avrupa'da da enerji fiyatları üzerinde

güçlü bir etkisinin olacağı, hâlihazırda uzun süreli sözleşmeler ile Rusya'dan alınan gazın fiyatının önümüzdeki yıllarda düşeceği, Rus ekonomisinin bu durumdan etkileneceği ekonomi çevrelerince dile getirilmektedir. Ülkemiz için değerlendirildiğinde ise Trakya ve Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki hedef şeyl formasyonlarının, tabaka derinliği ve kalınlığı, kayaçların mineral bileşimleri bakımından ekonomik üretim için uygun özelliklerde olduğu ifade edilmektedir. Yaygın doğalgaz dağıtım ağı ve yatırımı kolaylaştırıcı yöndeki mevzuatın da şeyl gazı üretimini teşvik edeceği düşünülmektedir.

Şeyl gazın beklenen üretim seviyelerine ulaşmasının Çin gibi ülkelerde özellikle karbon emisyonlarını düşürmek ve enerji güvenirliliğini yükseltmek adına da çok önemli olduğu vurgulanmaktadır. Birçok ülkede hala çevresel etkileri tartışmalar yaratan şeyl gazının gelecekte giderek artan bir yaygınlığa sahip olacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak; uluslararası enerji politikalarında, şeyl gazına bağlı olarak güçlü değişimlerin olacağı açıkça görülmektedir. Gerek doğalgazın diğer fosil yakıtlara oranla daha temiz ve daha verimli bir enerji kaynağı olması, gerekse üretim maliyetlerinin görece düşüklüğü dikkate alındığında, uygun mevzuatın düzenlenmesi ve sektörün titizlikle denetlenmesi durumunda şeyl gazı üretiminin kayda değer bir çevresel tahribat yaratmayacağı; aksine kömür ve nükleer gibi daha riskli ve/veya çevreye zararlı yakıt türlerine alternatif yaratarak çevresel açıdan uzun vadede olumlu sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir.

KATKI BELİRTME

Makalenin değerlendirme aşamasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY (Akdeniz Üniv.) Prof. Dr. Doğan PERİNÇEK'e (ÇOMÜ)ve Dr. Sezgin AYTUNA (AYTUNA Consulting)' ya teşekkür ederim.

EXTENDED SUMMARY

It is possible that there is a great changing in the global energy markets, politics and economies in consequence of the rapid development of technology which can be used on the energy sources and to be used as common in the last year over the world. Especially, natural disasters which have been encountered at global scale have drawn attention to the effect of the chemical composition of the atmosphere and compositional changes on humanity and ecology in the 20th century. There is an increasing orientation through economic, continuity provided and clean energy sources because of that situation. These sources which are economically seen as a great contribution and are predicted that it will be greater impact potential in the fields of economic, social and politics in the future have been protested on the ground water, surface water and local air quality by millions of people in many countries because of harmful and it has necessitated that these subjects are evaluated in details with the economic benefits.

Today, many countries have assessed production to be made from their own unconventional gas reserves and the possible impact on the international natural gas market and its economic stability. In particular, unconventional resources such as shale gas supply and prevalence of use have affected global natural gas prices and it has also destroyed the balance of power in the world.

Natural gas production from tight shale formations, known as “shale gas”, is one of the most rapidly expanding trends in onshore domestic oil and gas exploration and production today. “Shale gas” is natural gas produced from shale formations that typically function as both the reservoir and source rocks for the natural gas. “Gas shales” are organic-rich shale formations that were previously regarded only as source rocks

and seals for gas accumulating in the strata near sandstone and carbonate reservoirs of traditional/conventional onshore gas development. Shale is a sedimentary rock that is predominantly composed of consolidated clay sized particles. Shales are deposited as muds in low-energy environments such as tidal flats and deep water basins where the fine-grained clay particles fall out of suspension in the quiet waters. During the deposition of these very fine-grained sediments, there can also be accumulation of organic matter in the form of algae, plant, and animal derived organic debris. The very fine sheet-like clay mineral grains and laminated layers of sediment result in a rock with permeability that is limited horizontally and extremely limited vertically. This low permeability means that gas trapped in shale cannot move easily within the rock except over geologic expanses of time, i.e., millions of years.

Natural gas is a mixture of light-end, flammable hydrocarbons primarily composed of methane (CH₄), but also containing lesser percentages of butane, ethane, propane, and other gases. Natural gas is burns cleanly and emits much smaller quantities of potentially harmful emissions than either coal or oil. The widespread use of natural gas—in the industrial, residential, and commercial sectors—is largely due to its versatility. In many countries, such as France, it has been thought that shale gas which has been still argued its environmental effects will have ever-increasing in the future.

Both natural gas is cleaner and more efficient rather than other fossils as a source of energy and when it is considered relatively low production costs and in case the sector carefully monitored, significant production of shale gas may not create any environmental damage arranging of appropriate legislation; unlike it has been thought producing positive results more risky, such as coal

and nuclear, and / or the environment, creating an alternative to long-term environmentally harmful fuel types. Orientation in our day determines that natural gas will be taken place in economic bazaar with increasing rates as progressively. Instruction of organizations which designates global prices and following a balanced price politics of oil and natural gas will be provided if an interaction comes out in natural gas like oil. So, This paper responds to these needs by describing the importance of shale gas in meeting the future energy needs of the world and providing an overview of modern shale gas development.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Arthur, M.A. ve Cole, D.R., 2014. Unconventional Hydrocarbon Resources: Prospects and Problems. Elements 10:257-264
- Bahtiyar, İ., 2012. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Basın Açıklaması. <http://www.haberturk.com/ekonomi/makro-ekonomi/haber/735797-turkiyede-40-yil-yetecek-kaya-gazi-var>. Erişim Tarihi 03.03.2016
- BBC. 2013. North American firms quit shale gas fracking in Poland. BBC News. Available at <http://www.bbc.co.uk/news/business-22459629>. Accessed May 8, 2013.
- Bloomberg. 2011. Shell ends shale gas search in Sweden; invests in China fields. Available at <http://www.bloomberg.com/news/2011-07-28/shell-ends-shale-gas-search-in-swedeninvests-in-china-fields.html>. Accessed December 1, 2014.
- Bloomberg. 2012. German lawmakers reject ban on shale gas fracking in parliament. Bloomberg News. Available at <http://www.bloomberg.com/news/2012-12-13/german-lawmakersreject-ban-on-shale-gas-fracking-in-parliament.html>. Accessed December 14, 2012.
- Bohacs, K.M., Passey, Q.R., Rudnicki, M., Esch, W.L., 2013. The spectrum of fine-grained reservoirs from shale gas to tight oil/tight liquids: Essential attributes, key controls, practical characterization. International Petroleum Technology Conference, IPTC 16676, 16 pp.
- Bryndzia, L.T., ve Braunsdorf, N.R., 2014. From source rock to reservoir: The evolution of self-sourced unconventional resource plays. Elements 14, 271-276.
- Buller, D., Hughes, S.N., Market, J., Petre, J.E., Spain, D.R., Odumosu, T., 2010. Petrophysical evaluation for enhancing hydrolic stimulation in horizontal shale gas wells. SPE Annual Technical Conf. And Exh., Florence, SPE-132900-MS.
- Bustin, R.M., 2006. Geology report: where are the high-potential regions expected to be in Canada and the U.S.? Capturing opportunities in Canadian shale gas. Second Annual Shale Gas Conference, The Canadian Institute, Calgary-Canada.
- Bustin, A.M.M., Bustin, R.M., Cui, X., 2008. Importance of fabric on the production of gas shales. SPE Paper No. 114167. Proceedings of the Unconventional Gas Conference, Keystone, Colorado, February 10-12.
- Caineng, Z., Dazhong, D., Wang, S., Jianzhong, L., Xinjing, L., Yuman, W., Denghua, L., Keming, C., 2010. Geological characteristics and resource potential of shale gas in China. Petrol Explor Dev; 37 (6): 641-653.
- Engelder, T., Cathles, LM, Bryndzia, LT, 2014. The fate of residual treatment water in gas shale. Journal of Unconventional Oil and gas resources 7, 33-48.
- CPFI, 2013. Shale gas exploration and production, Key issues and responsible business practices, Guidance note for financiers
- Etiopie, G., Schoell, M., 2014. Abiotic gas: Atypical, but not rare. Elements 10, 291-296.
- Fisher, M.K., Heinze, J.R., Harris, C.D., McDavidson, B.M., Wright, C.A., Dunn, K.P., 2004. Optimizing horizontal completion techniques in the Barnett shale using microseismic fracture mapping. Paper No. SPE 90051. Proceedings of the SPE Annual

- Technical Conference and Exhibition, 26-29 September, Houston, TX.
- Kavak, K., 2013. Dünyadaki enerji oyununu değiştiren yeni faktör: konvansiyonel olmayan petrol ve doğal gaz, Enerji Araştırmalar Merkezi Makale No:1
- Kennedy, R., 2010. Shale gas challenges/technologies over the asset life cycle. US China Oil and Gas Industry Forum. Baker Hughes.
- King, G.E., 2010. Thirty years of gas shale fracturing: what have we learned? Paper No. SPE 133456. Proceedings of the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, September, Florence, Italy.
- Lakatos, I., ve Szabo, J.L., 2009. Role of conventional and unconventional hydrocarbons in the 21st century: Comparison of resources, reserves, recovery factors and technologies. Society of Petroleum Engineers; SPE-121775-MS.
- Lash, G.G., Engelder, T., 2011. Thickness trends and sequence stratigraphy of the Middle Devonian Marcellus Formation, Appalachian Basin: Implications for Acadian foreland basin evolution. AAPG Bull. 95, 61-103.
- Lu, S., Huang, W., Chen, F., Li, J., Wang, M., Xue, H., Wang, W., Cai, X. 2012. Classification and evaluation criteria of shale oil and gas resources: Discussion and application. *Petrol Explor Dev* 39 (2): 268–276.
- Lucier, A.M., Hoffmann, R., Bryndzia, L.T., 2011. Evaluation of variable gas saturation on acoustic log data from the Haynesville shale gas play, NW Louisiana, USA. *The Leading Edge* 30, 300-311.
- Martini, A.M., Walter, L.M., Budai, J.M., Ku, T.C.W., Kaiser, C.J., Schoell, M., 1998. Genetic and temporal relations between formation waters and biogenic methane: Upper Devonian Antrim shale, Michigan Basin, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta* 62 (10), 1699-1720.
- Martini, A.M., Walter, L.M., Ku, T.C.W., Budai, J.M., McIntosh, J.C., Schoell, M., 2003. Microbial production and modification of gases in sedimentary basins: a geochemical case study from a Devonian shale gas play, Michigan Basin. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 87 (8), 1355-1375.
- Martini, A.M., Nüsslein, K., Petsch, S.T., 2004. Enhancing microbial gas from unconventional reservoirs: geochemical and microbiological characterization of methane-rich fractured black shales. Final Report. Subcontract No. R-520, GRI-05/0023. Research Partnership to Secure Energy for America, Washington, DC.
- Molofsky, L.J., Connor, J.A., Farhat, S.K., Wylie, A.S. Jr, Wagner, T., 2011. Methane in Pennsylvania water wells unrelated to Marcellus shale fracturing. *Oil and Gas Journal*, pp. 54-67.
- Odusina, E.O., Sondergeld, C.H., Rai, C.S., 2011. NMR study of shale wettability. Canadian Unconventional Resources Conf. Alberta-Canada, Soc. Of Petroleum Eng.
- Passey, Q.R., Bohacs, K.M., Esch, W.L., Klimentidis, R., Sinha, S., 2010. From oil-prone source rocks to gas-producing shale reservoir-geologic and petrophysical characterization of unconventional shale-gas reservoir. SPE Paper No. 131350. Proceedings of the CPS/SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition, June 8-10, Beijing, China.
- Ratner, M., ve Tiemann, M., 2013. An overview of unconventional oil and natural gas: Resources and Federal actions. Congressional Research Service Report R43148
- Reddy, T.R., ve Nair, R.R., 2012. Fracture characterization of shale gas reservoir using connectedcluster DFN simulation. Proceedings of the Second International Conference on Drilling Technology 2012 (ICDT-2012) and First National Symposium on Petroleum Science and Engineering 2012 (NSPSE-2012). Sharma, R., Sundaravadivelu, R., Bhattacharyya, S.K., Subramanian, S.P. (Eds.), 6-8 December, pp. 133_136.

- Rezaee, R., ve Rothwell, M., 2015. Gas Shale: Global Significance, distribution, and challenges Fundamentals of Gas Shale Reservoirs, First Edition. Edited by Reza Rezaee. © 2015 John Wiley & Sons, Inc.
- Ridley, M., 2011. The shale gas shock. The Global Warming Policy Foundation, Report 2
- Schrag, D.P., 2012. Is shale gas good for climate change? *Dædalus, J. Am. Acad. Arts Sci.* 141 (2), 72-80.
- Scott, A.R., Kaiser, W.R., Ayers, W.B., 1994. Thermogenic and secondary biogenic gases, San Juan Basin, Colorado and New Mexico: implications for coalbed gas productivity. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 78 (8), 1186-1209.
- Shine, K.P., 2009. The global warming potential-the need for an interdisciplinary retrial. *Clim. Change* 96 (4), 467-472.
- Smith, A.L., 2011. First correlation of NORM with a specific geologic hypothesis. SPE European Health, Safety and Environmental Conference in oil and gas production, SPE 138136, 17 p
- Speight, J.G., 2013. Shale gas production Process, Gulf Professional Publ. Elsevier, 162 p.
- Staff, 2010. Unconventional gas outlook, the next wave. Volume 1. Draft for participant review. Core Energy Group; Staff. 2025
- Tissot, B., ve Welte, D.H., 1984. Petroleum Formation and Occurrence: Springer-Verlag, Berlin.
- US EIA 2010. Schematic geology of natural gas resources. Available at http://www.eia.gov/oil_gas/natural_gas/special/ngresources/ngresources.html. Accessed April 19, 2013.
- US EPA, 2012. Regulation of Hydraulic Fracturing Under the Safe Drinking Water Act. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- US EIA, 2013a. Shale gas exploration and production Key issues and responsible business practices, Guidance note for financiers, 34 p.
- US EIA/ARI, 2013b. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States, 730 p.
- US EIA/ARI, 2014. Annual Energy Outlook 2014 with projections to 2040, www.eia.gov/forecasts/aeo
- US EIA, 2015. The Annual Energy Outlook 2015 (AEO2015), 154 s.
- Vidic, R.D., Brantley, S.L., Vandenbossche, J.M., Yoxtheimer, D., Abad, J.D., 2013. Impact of shale gas development on regional water quality. *Science* 340.
- Yalçın, M.N., 2013. Kaya Gazı (Shale Gas), *Doğal Gaz Dergisi*, Sayı: 75, (Kasım-Aralık 2012), s.67.
- Yergin, D., 1991. Petrol: Para ve güç çatışmasının Epik öyküsü, TC İş Bankası Yay. 332, 742 s.
- Wipf, R.A. ve Party, J.M., 2006. Shale Plays-A US Overview. AAPG Energy Minerals Division Southwest Section Annual Meeting.
- World Energy Outlook 2015. Yönetici özeti, Ocak 2016 Yayın No: TÜSİAD-T/2016/01/572
- Zhang, J., Delshad, M., Sepehrmoori, K., 2007. Development of a framework for optimization of reservoir simulation studies. *J. Pet. Sci. Eng.* 59, 135_146.
- www.ktwop.com
- <http://www.fractracker.org/2015/08/1-7-million-wells/>
- <http://www.propublica.org/special/hydraulic-fracturing>
- <http://ekonomi.isbank.com.tr>
- www.opec.com
-
- Makale Geliş Tarihi : 29 Şubat 2016
Kabul Tarihi : 22 Mart 2016
- Received* : 29 February 2016
Accepted : 22 March 2016



TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ

YAZIM KURALLARI

Yazıların hazırlanması

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

Yazılar, aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır.

- Başlık** (Türkçe ve İngilizce)
- Yazar adları** (koyu ve tamamı 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.)
- "Tartışma ve Sonuçlar"** veya **"Tartışma ve Öneriler"**
- "Extended summary"/"genişletilmiş özet"**
- Katkı Belirtme** (gerekliyorsa)
- Kaynaklar**
- Çizelgeler**
- Şekiller Dizini**
- Şekiller**
- Levhalar** (var ise)

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar farklı şekillerde ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Ana başlıklar büyük harflerle ve koyu yazılmalıdır. İkinci derece başlıklar alt başlık olarak değerlendirilmeli ve birinci ve ikinci derece alt başlıklar küçük harfle (birinci derece alt başlıklarda her kelimenin ilk harfi büyük) ve koyu, üçüncü derece alt başlıklar ise italik olmalıdır. Başlıkların önüne numara veya harf konulmamalıdır. Yazılar (öz, metin, katkı belirtme, kaynaklar, ekler ve şekiller dizini) A4 (29.7 cm x 21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlardan en az 2.5 cm boşluk bırakılarak, 1.5 cm aralıkla ve 12 puntoyla (Times New Roman) yazılmalı, ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

Başlıklar şu şekilde olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANABAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

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

Kapak Sayfası

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır.

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

Başlık ve Yazarlar

Yazının başlığı, çalışmanın içeriğini anlaşılır şekilde yansıtmalıdır. Eğer yazı Türkçe hazırlanmışsa, Türkçe başlığı (koyu ve kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde) İngilizce başlık (italik ve kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde) izlemelidir. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise, İngilizce başlık Türkçe başlıktan önce ve yukarıda belirtilen yazım kuralına göre verilmelidir.

Yazarlara ilişkin bilgi ise aşağıdaki örneğe uygun olarak verilmelidir:

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

ÖZ

Öz, çalışma hakkında bilgi verici bir içerikle (çalışmanın amacı, elde edilen başlıca sonuçlar) ve 300 kelimeyi aşmayacak şekilde hazırlanmalıdır. Özde kaynaklara atıfta bulunulmamalıdır. Özler, hem Türkçe hem, İngilizce olarak verilmelidir. Türkçe hazırlanmış yazılarda Öz'den sonra "Abstract" (italik) yer almalı, İngilizce yazılarda ise italik yazılmış Türkçe Öz Abstract'ı izlemelidir.

Anahtar Kelimeler

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

EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

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

KATKI BELİRTME

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

DEĞİNİLEN BELGELER

(aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır)

(a) Süreli Yayınlar :

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

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

(b) Bildiriler:

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

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

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

(c) Kitaplar:

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

(d) Raporlar ve Tezler:

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

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

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

(e) Kişisel Görüşme:

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

(f) İnternetten 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; l_d, x_2). Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (örneğin; $c_{mass} = s_{0.5}$). Çarpım işlemini göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda "*" işareti tercih edilmelidir (örneğin; $y = 5 \cdot 10^{-3}$). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} ve CO_3^- yerine Ca^{2+} ve CO_3^{2-} tercih edilmelidir. Metinde 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 cm x 22.5 cm) aşmayacak şekilde hazırlanmalı ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısmında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır (Çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir). Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı, İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, "Çizelge 1" vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler, metinde kullanılan karakterlerden daha küçük (10 veya 11 punto) karakterle yazılmalı ve Dergi'nin tek (7.3 cm-Genişlik) veya çift (15.8 cm-Genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir. Çizelgelerde düşey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için Dergi'nin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalara bastırılarak metnin sonunda (Kaynaklar dizininin sonra) sunulmalıdır. Çizelgelerdeki kısaltma ve simgeler daha küçük karakterlerle çizelgelerin altında verilmelidir (örneğin; c: tek ekseni sıkışma dayanımı; ll: illit;....vd.).

Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak "Şekil" başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekiller orijinal çıktılar olup, ayrı sayfalara bastırılarak ve katlanmadan gönderilmelidir. Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalı, ayrıca şekiller küçültülüp büyütülebilecek halde sunulmalıdır. Şekil açıklamaları; şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya bastırılarak "Şekiller Dizini" başlığıyla verilmeli, ayrıca "Şekil 1." olarak başlamalıdır. Çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe, hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Ayrı sayfalara bastırılmış olan şekiller, çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15.8 cm (Genişlik) x 22.5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin Dergi'nin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir. Katlanmış şekiller ile renkli şekiller Dergi'ye kabul edilmez. Özellikle haritalar, araziyle ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çubuk ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun olduğu takdirde, ulusal grid veya enlem/boylam değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları, şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde 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 değerlendirilmeli ve parlak kağıda basılmış orijinal halde verilmelidir. Levha sayısı mümkün olduğunca az tutulmalıdır. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

MAKALELERİN EDİTÖRLÜĞE GÖNDERİLMESİ

Makaleler yazım kurallarına uygun şekilde hazırlandıktan sonra www.jmo.org.tr adresi üzerinden elektronik olarak sisteme yüklenmeli yada doğrudan aşağıdaki e-posta adresine gönderilmelidir.

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ EDİTÖRÜ

Prof. Dr. Orhan TATAR

Tel : 0346-219 1010 / 1548

e-posta : orhantatar@gmail.com

YAYIMAKABULEDİLEN MAKALELERİN SUNUMU

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

PROVA BASKILAR

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

AYRI BASKILAR

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

TELİFHAKLARI

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 yayımlarını koruma olanağı sağlamakla birlikte, yazar(lar)ın makalenin sahibi olma haklarından vazgeçtiği anlamına gelmemektedir. Telif Hakkı Devir Formu, en kısa sürede Editör'e gönderilmelidir. Bu form Editör'e ulaştırılıncaya değin, makale 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. Papers should be original and comprise previously unpublished research, interpretations, or synthesis of two, or technical notes. Submission implies that the manuscript is not currently under consideration for publication elsewhere.

Manuscripts should generally be structured as follows:

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

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

Examples for headings:

ABSTRACT

INTRODUCTION

PRIMARY HEADING

Primary Sub-Heading

Secondary sub-heading

Tertiary sub-heading

CONCLUSIONS
EXTENDED SUMMARY
ACKNOWLEDGEMENTS
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). Fax and phone numbers 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.

The information related with authors should be given as follow:

Ahmet Ahmetoğlu

Ankara University, Engineering Faculty, Jeological Engineering Department,
Tandoğan 06100 Ankara

A. Hüsnu Hüsnuođlu

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

Abstract

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

Key Words

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

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. 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.

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

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

(d) Unpublished Reports and Thesis:

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

[Author(s), Date. Title of report. Name of Organization, Report No., Name of City (unpublished).]

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

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

(e) Personal Communications:

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

(f) Information Downloaded from the Internet

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

Turkish references can also be given directly in Turkish. For such references please use Turkish characters.

Mathematical Expressions

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

Where τ is the shear strength, c is cohesion, σ is normal stress and, ϕ is internal friction angle." Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller character (e.g. σ_1 , σ_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-} (not 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; II: Illite; etc).

Illustrations

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

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

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

SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Papers should be submitted electronically through web site www.jmo.org.tr or directly sent as an e-mail attachment to the editor at below address.

EDITOR

Prof. Dr. Orhan TATAR

Phone : 0346-219 1010 / 1548

e-mail : orhantatar@gmail.com

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

REPRINTS

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

COPYRIGHT

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

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2016 Cilt 59 Sayı 2
April 2016 Volume 59 Issue 2

İÇİNDEKİLER CONTENTS

- Gürol SEYİTOĞLU, Bülent KAYPAK, Bahadır AKTUĞ, Esra GÜRBÜZ, Korhan ESAT, Alper GÜRBÜZ**
A hypothesis for the alternative southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Northwest Turkey
KB Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun alternatif Güney Kol'u için bir hipotez..... 115
- Fırat ŞENGÜN**
Kazdağ Masifi'nde (Biga Yarımadası) Yer Alan Meta-Ofiyolitik Kayaların TitaniQ Termometresi ve Rutil İz Element Bileşimi
TitaniQ Thermometer and Trace Element Composition of Rutile in Meta-Ophiolitic Rocks From the Kazdağ Massif, Biga Peninsula..... 131
- Uğur TEMİZ, Y. Ergun GÖKTEN**
10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) depremi (M = 5.0); ilgili yapılar ve tektonik ortam, Orta Anadolu - Türkiye
10 January 2015 Hacıduraklı-Çiçekdağı (Kırşehir) earthquake (M = 5.0); implications about related structures and tectonic environment, Central Anatolia - Turkey 155
- Doğan PERİNÇEK**
Çetin Baraj Gövdesi ve Dolayının Jeolojisi ve Heyelan Araştırması
Geology and Landslide Investigations in and Around the Çetin Dam Site 167
- Nazan YALÇIN ERİK**
Şeyl Gazı; Jeolojik Özellikleri, Çevresel Etkileri ve Küresel Ekonomik Anlamı
Shale Gas; Geological Properties, Environmental Effects and Global Economic Meaning211

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

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

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

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

Makale Gönderim Adresi

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

Corresponding Address

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