

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2017 Cilt 60 Sayı 2
April 2017 Volume 60 Issue 2

ISSN 1016-9164



TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD

Hüseyin ALAN
Yüksel METİN
Faruk İLGÜN
D. Malik BAKIR
Canan DEMİRAL
Düzgün ESİNA
Murat AKGÖZ

Başkan / *President*
İkinci Başkan / *Vice President*
Yazman / *Secretary*
Sayman / *Treasurer*
Mesleki Uygulamalar Üyesi / *Member of Professional Activities*
Sosyal İlişkiler Üyesi / *Member of Social Affairs*
Yayın Üyesi / *Member of Publication*

TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ
Geological Bulletin of Turkey

Yayın Kurulu / Publication Board

Editör / Editor

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

Yardımcı Editör / Associate Editor

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

İngilizce Editörü / English Editor

Margaret SÖNMEZ

Yazı İnceleme Kurulu / Editorial Board

AKGÜN Funda (İzmir, Türkiye)
AKSOY Ercan (Elazığ, Türkiye)
ALDANMAZ Ercan (Kocaeli, Türkiye)
ALTUNEL Erhan (Eskişehir, Türkiye)
BABA Alper (İzmir, Türkiye)
BATI Zühtü (Ankara, Türkiye)
BOZKURT Erdin (Ankara, Türkiye)
CAPUTO Ricardo (Ferrara, İtalya)
DEMİREL İsmail Hakkı (Ankara, Türkiye)
EKMEKÇİ Mehmet (Ankara, Türkiye)
EYÜBOĞLU Yener (Trabzon, Türkiye)
GENÇ Yurdal (Ankara, Türkiye)
GÜL Murat (Muğla, Türkiye)
GÜLEÇ Nilgün (Ankara, Türkiye)
GÜLER Cüneyt (Mersin, Türkiye)
GÜRİSOY Halil (Sivas, Türkiye)
HELVACI Cahit (İzmir, Türkiye)
JOLIVET Laurent (Orleans, Fransa)
KARAYİĞİT Ali İhsan (Ankara, Türkiye)
KAZANCI Nizamettin (Ankara, Türkiye)
KUSKY Timothy (Wuhan, Çin)
KUŞÇU İlkay (Muğla, Türkiye)
MAMEDOV Musa (Bakü, Azerbaycan)
NAZİK Atike (Adana, Türkiye)
OBERHANSKI Roland (Potsdam, Almanya)
OKAY Aral (İstanbul, Türkiye)
ÖZCAN Ercan (İstanbul, Türkiye)
ÖZDEMİR Yavuz (Van, Türkiye)
ÖZKUL Mehmet (Denizli, Türkiye)

ÖZMEN Bülent (Ankara, Türkiye)
PARLAK Osman (Adana, Türkiye)
PAVLIDES Spyros (Selanik, Yunanistan)
PIPER John D.A. (Liverpool, İngiltere)
PIPIK Radovan Kyska (B. Bystrica, Slovakya)
POLAT Ali (Windsor, Ontario, Kanada)
ROBERTSON Alastair (Edinburgh, İngiltere)
ROJAY Bora (Ankara, Türkiye)
SAN Bekir Taner (Antalya, Türkiye)
SARİ Erol (İstanbul, Türkiye)
SEYİTOĞLU Gürol (Ankara, Türkiye)
SÖZBİLİR Hasan (İzmir, Türkiye)
ŞENGÜLER İker (Ankara, Türkiye)
TEKİN Uğur Kağan (Ankara, Türkiye)
TEMEL Abidin (Ankara, Türkiye)
TOPUZ Gültekin (İstanbul, Türkiye)
TÜYSÜZ Okan (İstanbul, Türkiye)
ÜNLÜ Taner (Ankara, Türkiye)
ÜNLÜGENÇ Ulvi Can (Adana, Türkiye)
VASELLİ Orlando (Floransa, İtalya)
YAĞBASAN Özlem (Ankara, Türkiye)
YALÇIN Hüseyin (Sivas, Türkiye)
YALÇIN Gürhan (Antalya, Türkiye)
YALTIRAK Cenk (İstanbul)
YAVUZ Fuat (İstanbul, Türkiye)
YILMAZ İsmail Ömer (Ankara, Türkiye)
YİĞİTBAŞ Erdinç (Çanakkale, Türkiye)
YUSUFÖĞLU Halil (Ankara, Türkiye)
ZAGORCHEV Ivan (Sofya, Bulgaristan)

Yazışma Adresi

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

Corresponding Address

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

Yayın Türü : Yaygın Süreli Yayın
Yayının Şekli : 4 Aylık Türkçe - İngilizce
Yayın Sahibi : TMMOB JMO Adına Hüseyin ALAN
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü : Hüseyin ALAN
Yayının İdari Adresi : Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara Tel: 0 312 432 30 85 Faks: 0 312 434 23 88
Baskı (Printed by) : ERS Matbaacılık Kazım Karabekir Cad. Altuntop İşhanı No: 87/7 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88
Baskı Tarihi : Nisan 2017
Baskı Adedi : 500

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2017 Cilt 60 Sayı 2
April 2017 Volume 60 Issue 2

ISSN 1016-9164

İÇİNDEKİLER CONTENTS

- Akın Alak, Ökmen Sümer**
Marmara ve Karadeniz Kıyılarındaki Güncel Sedimanlar İçinde Antroposen'in Varlığına Ait Yeni Bulgular
New Findings of Existence Anthropocene in Recent Sediments at Marmara and Black Sea Coast..... 145
- Çağlar Özkaymak, Hasan Sözbilir, İbrahim Tiryakioğlu, Tamer Baybura**
Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzeysel Deformasyonlarının Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi
Geologic, Geomorphologic and Geodetic Analyses of Surface Deformations Observed in Bolvadin (Afyon-Akşehir Graben, Afyon)..... 169
- Hülya Erkoyun**
Eskişehir Neojen Alpu Havzasındaki Kömürle Ara Katkılı Killi Kayaçların Mineralojisi ve Jeokimyası
Mineralogy and Geochemistry of Clayey Rocks Intercalated with Coal Seams in the Neogene Alpu Basin, Eskişehir, Central Turkey..... 189
- Yunus Levent Ekinci**
A Comparative Study on Computing Horizontal Derivatives of Gravity Data for Geological Contact Mapping
Jeolojik Dokanak Haritalama İçin Gravite Verilerinin Yatay Türevlerinin Hesaplanması Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma..... 209
- İnan Ulusoy, Erdal Şen, Alaettin Tuncer, Harun Sönmez, Hasan Bayhan**
3D Multi-view Stereo Modelling of an Open Mine Pit Using a Lightweight UAV
Hafif bir İHA ile bir Açık Maden Ocağının 3B Çok-bakılı Stereo Modellemesi..... 223
- Belgin Kaçar, Süha Özden, Özkan Ateş**
Güre (Balıkesir) Jeotermal Alanının Jeolojisi, Hidrojeokimyası ve Aktif Tektonikle İlişkisi
Geology and Hydrogeochemistry of Güre (Balıkesir) Geothermal Field and its Relationship with Active Tectonic..... 243

Türkiye Jeoloji Bülteni makale dizin ve özleri:

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

Geological Bulletin of Turkey is indexed and abstracted in:

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

TÜRKİYE JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey



**Marmara ve Karadeniz Kıyılarındaki Güncel Sedimanlar İçinde
Antroposen'in Varlığına Ait Yeni Bulgular**

New Findings of Existence Anthropocene in Recent Sediments at Marmara and Black Sea Coast

Akın Alak*, Ökmen Sümer

Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, Buca-İzmir

Geliş/Received : 16.05.2016 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 10.10.2016 • Kabul/Accepted : 14.10.2016 • Baskı/Printed : 01.04.2017

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Sanayileşme, fosil yakıtların kullanımı, kontrolsüz tarım ve buna benzer insan faaliyetleri her geçen gün artmakta, bu faaliyetler sonucunda doğada bir takım değişiklikler ve antropojenik kirlilikler meydana gelmektedir. Bu çalışma kapsamında, Marmara'da İzmit Körfezi (IZC-01), Karadeniz'de Sürmene (SC-01) ve Hopa (HC-01) kıyılarından alınan karot örnekleri, antropojenik kirliliğin varlığının araştırılması adına, litolojik, sedimantolojik, paleontolojik ve jeokimyasal açıdan incelenmiş, her bir karottan 15 numune olmak üzere toplamda 45 örneğin As, Ba, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti ve Zn gibi ağır metal konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Karot örneklerindeki As, Ba, Pb, Cr, Ni, ve Zn elementlerinin analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan PLI (Kirlilik Yükü İndeksi; Pollution Load Index) kirlilik değerleri, İzmit Körfezi için 3.255, Sürmene ve Hopa'da sırasıyla 2.195 ve 1.706 olarak ölçülmüştür. Hesaplanan PLI değerleri sonuçları, İzmit Körfezi'nin kabul edilir kirlilik seviyesinin üzerinde, Sürmene ve Hopa'nın ise kirli olmalarına rağmen nispeten daha az kirli olduğunu göstermektedir. Bunun yanında EF (Zenginleşme Faktörü; Enrichment Factor) değerleri, İzmit Körfezi'nde As, Ni ve Cr elementlerinin belirgin bir zenginleşme, Pb ve Zn elementlerinin ise orta derecede zenginleştiğine işaret eder. Sürmene ve Hopa lokasyonlarında ise As, Ba ve Cr gibi elementler yetersiz zenginleşme gösterirken, Ni, Pb ve Zn elementlerde belirgin bir zenginleşme olduğu gözlenmiştir. Marmara karotu özelinde kirliliğe bağlı gelişmiş jips kristalizasyonu da dikkat çekicidir. Karotlardaki paleontolojik bulguların bolluğu ve çeşitliliği de, kirlilik oranlarıyla uyumlu şekilde azalır artar. Her 3 karotta da derine gidildikçe Pb, Zn, Cr ve As gibi elementlerin konsantrasyonlarında bir azalma olduğu görülmüş ve bu azalmaların anomali verdiği seviyelerden alınan kavrakların radyokarbon yaşları sırasıyla Sürmene'de 420±55 (GÖ), Hopa'da 500±50 (GÖ) olarak elde edilmiştir. Ayrıca bölgede yapılan diğer sedimantasyon hızına dayanan çalışmaların sonuçları ile bu yaşlar uyumluluk gösterir. Belirlenen bu yaş aralıkları Antroposen'in başlangıcı ile ilgili literatürdeki görüşler ile karşılaştırılmış ve değişimlerin bariz bir şekilde gözlemlendiği seviyeler, olası Antroposen sınırı olarak yorumlanmıştır. **Anahtar Kelimeler:** Ağır metal analizi, Antropojenik kirlilik, Antroposen, Karadeniz, Marmara.

Abstract: *With each passing day, industrialization, the use of fossil fuels, uncontrolled agriculture and similar human activities are increasing. As a results of these activities, the nature is impacted by a number of changes and anthropogenic pollution. In this study, drilling core samples from the Izmit Bay (IZC-01) in the Sea of Marmara, Sürmene (SC-01) and Hopa (HC-01) coasts in the Black Sea have been investigated with lithological, sedimentological, paleontological and geochemical perspectives. The concentrations of heavy metals as Ba, As, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti and Zn were considered from total of 45 samples which are covering 15 samples from each three cores. PLI (Pollution load index) values are calculated by using the results of As, Ba, Pb, Cr, Ni, and Zn elements, stand out 3.255 for the Gulf of Izmit, 2,195 and 1,706 for Sürmene and Hopa in respectively. PLI values indicate accepted level of pollution above for the Gulf of Izmit and despite being dirty Sürmene and Hopa relatively less polluted. In addition, EF values indicate a significant enrichment of the As, Ni and Cr and moderate enrichment of Pb and Zn elements at Izmit Gulf. In locations Hopa and Sürmene; As, Ba and Cr elements showing insufficient enrichment*

and Ni, Pb and Zn was observed a significant enrichment. Besides, pollution related gypsum crystallization is also remarkable for Marmara core. The abundance and diversity of paleontological records in the cores are also compatible in line with the decreasing and increasing rate of pollution. Towards the deepest part of the all 3 cores, a reduction in the concentrations of elements such as Pb, Zn, Cr and As is seen. Radiocarbon dates obtained from the shells of these reduction levels are measured in Sürmene 420 ± 55 (BP) and Hopa 500 ± 50 (BP). In addition, results of the other previous studies based on sedimentation rate and these ages are compatible. These specified age ranges were compared with opinions in the literature which are related to the beginning of Anthropocene and because of the overlapping, these clearly observed levels have been interpreted as the limit of the possible Anthropocene time.

Key Words: Anthropocene, anthropogenic pollution, Black Sea, Heavy metal analysis, Sea of Marmara

GİRİŞ

İnsan faaliyetleri her geçen gün giderek artmakta ve bu faaliyetler, doğa koşullarını olumlu ya da olumsuzdaha çok da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkiler, insanı doğada yaşayan sıradan bir türün ötesine taşıyarak, küresel çapta, doğanın kendi işleyişi dışında belirleyici gücü olan, katalizör görevinde biyolojik, kimyasal ve jeolojik bir aktör haline getirmiştir (Crutzen ve Stoermer, 2000; Andersson vd. 2005; Crossland vd. 2005; Crutzen, 2006). İnsanın doğal ortam üzerindeki etkisi, makineleşme ve bunun sonucu olan sanayileşme ile ivmelenmiş, nüfus artışı ile birlikte bu etki yeryüzünün büyük bir bölümüne yayılmıştır. Literatürde, insanın doğa üzerine etkisinin ciddi bir şekilde kanıtlarıyla ilk araştırıldığı çalışma Marsh (1864) ile başlamaktadır. Diğer yandan insanın doğa üzerinde aslında kirlilik bazında yarattığı bu etkileri, terminolojik olarak ilk kez 1922 yılında *Alexei Petrovich Pavlov* Antropojenik kirlenme/etkiler olarak tanımlamıştır (Bampton, 1999). İnsanoğlunun ekosistemlere etkisiyle oluşmuş/oluşan bu kirlenmelerin sonucunda ise antropojenik biyomlar ortaya çıkmaktadır (Ellis ve Ramankutty, 2008). Bu antropojenik etkilerin, jeolojik kayalar veya olaylarda gözlenebilir ve ölçülebilir olmasından yola çıkarak, Crutzen ve Stoermer (2000) içinde bulunduğumuz jeolojik seri olan Holosen'in zamansal olarak ayrılması ve Antroposen şeklinde yeni bir jeolojik seriye girilmesi gerektiğini savunmuştur. Son yıllarda özellikle bu alanda yapılan bilimsel çalışmalarla,

Antroposen'in varlığı ile ilgili bir fikir birliğine gidilse de, başlangıcı ile ilgili farklı görüşler olduğu görülmektedir. Genel yaklaşımda 3 ana görüş bulunur; (1) Antroposen, kontrolsüz tarımın başlaması ve verimsiz arazi kullanımının artması gibi erken insan etkileri sonucunda, karalarda ve denizlerdeki biyolojik habitatın değişimi ve buna bağlı CO₂ seviyesinin artmasının tetiklendiği dönemlerden itibaren, yaklaşık 8000-3000 yıl önce başlamış olmalıdır (Ruddiman, 2003; Certini ve Scalenghe, 2011; Ellis, 2011; Wilkinson vd. 2014). (2) Fosil yakıtların kullanılmasının yaygınlaşması ve özellikle 18.yüzyıl sonlarında gerçekleşen sanayi devrimi ile artarak tetiklenmiş etkilerin, gözlenir bir şekilde doğa üzerindeki etkisinin ortaya çıkmasıyla birlikte son 200 – 500 yıl içinde başlamış olmalıdır (Crutzen ve Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Davis, 2011; Fischer-Kowalski vd. 2014). (3) Özellikle 2. Dünya savaşı sonrasında, insan popülasyonunun ve global ekonomik gelişmelerin devasa boyutlardaki artışı ile, buna ek olarak antropojenik sinyallerin ilk atom bombası ile radyoaktif bir kirlenmeye sebebiyet verdiği ve daha ölçülebilir hale geldiğinden yola çıkarak, Antroposen – Holosen sınırı 20. yy ortalarına karşılık gelmelidir (Steffen vd. 2007; Wolfe vd. 2014; Zalasiewicz vd. 2015; Waters vd. 2016). Özellikle bu jeolojik zaman sınırının araştırılması dışında, Dünya ve Türkiye özelinde antropojenik etkilerin incelendiği ve ölçüldüğü çalışmalar da oldukça yaygındır (örng. Balkıs vd. 2012; Kaska vd., 2010; Şener vd., 2013; Gürbüz ve Gürer,

2008; Yatkın ve Bayram, 2008; Aslan-Yılmaz vd. 2004; Güler vd. 2012; Yang vd., 2015; Eichler vd. 2014; Moore vd. 2011; Bhuiyan vd. 2010; Essien vd. 2009; Ray vd. 2006; Bermejo vd. 2003; Owen vd. 2000; Palanques ve Diaz , 1994).

Ağır metaller toksik etkileri ve birikim özellikleriyle, çevre için önemli ölçüde bir kirlilik oluşturduğu bilindiği için (Omgbu ve Kokogbo, 1993), Türkiye genelinde, özellikle antropojenik etkilerle ilgili çalışmalar daha çok ağır metal kirliliğinin ölçülmesi ile araştırılmaktadır. Benzer yöntemlerle, Ergin vd. (1991) Haliç ve İzmit Körfezine ait 57 adet yüzey sediman örneğinde; Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Zn, Pb ve Cu gibi ağır metallerin konsantrasyonunu araştırmış, Haliçteki konsantrasyonun İzmit Körfezine nazaran daha yoğun olduğunu belirtmiş. Yaşar vd. (2001), İzmit Körfezi'nden aldıkları 24 örnekten yaptıkları analizlerde sedimanlarının toplam organik karbon ve sülfür ile gelişen Ag, As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Mo, P, Pb, Sb, Ti, V, ve Zn gibi ağır metal yoğunluklarında artış olduğunu belirtmekte ve bu artışın bölgedeki sanayileşme ile ilişkili olduğunu savunmaktadır. Aynı şekilde Aksu vd. (1998) ise İzmir Körfezi yüzey sedimanlarında 84 örnekten 42 elementin yoğunluklarını değerlendirmiş, toplam organik karbon ve sülfür ile bağlantılı olarak gelişen Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, P, Pb, Sb, Sn, V, ve Zn gibi ağır metallerin belirgin bir zenginleşme gösterdiğini belirtmiş, bu kirlenmenin 1976'dan 1990 yıllarına kadar körfezde yapılan kirli sedimanlarının tarama ve döküm işlemleri sonucunda oluştuğu yorumunu yapmıştır. Balkıs vd. (2012) İstanbul Boğazı'nın farklı lokasyonlarından aldıkları 5 örneğin Pb, Cd ve Hg konsantrasyonlarını değerlendirmiş ve Kirlilik Faktörü açısından; Hg için herhangi bir antropojenik kirlenme olmadığını, Pb ve Cd açısından ise orta seviye bir kirlenmenin var olduğunu belirtmişlerdir. Evans vd. (1989) ise diğer çalışmalardan farklı biçimde, kuzeydoğu Marmara'daki iki karotta, ağır metal kirliliklerinin derine doğru değişimlerini incelemiş ve

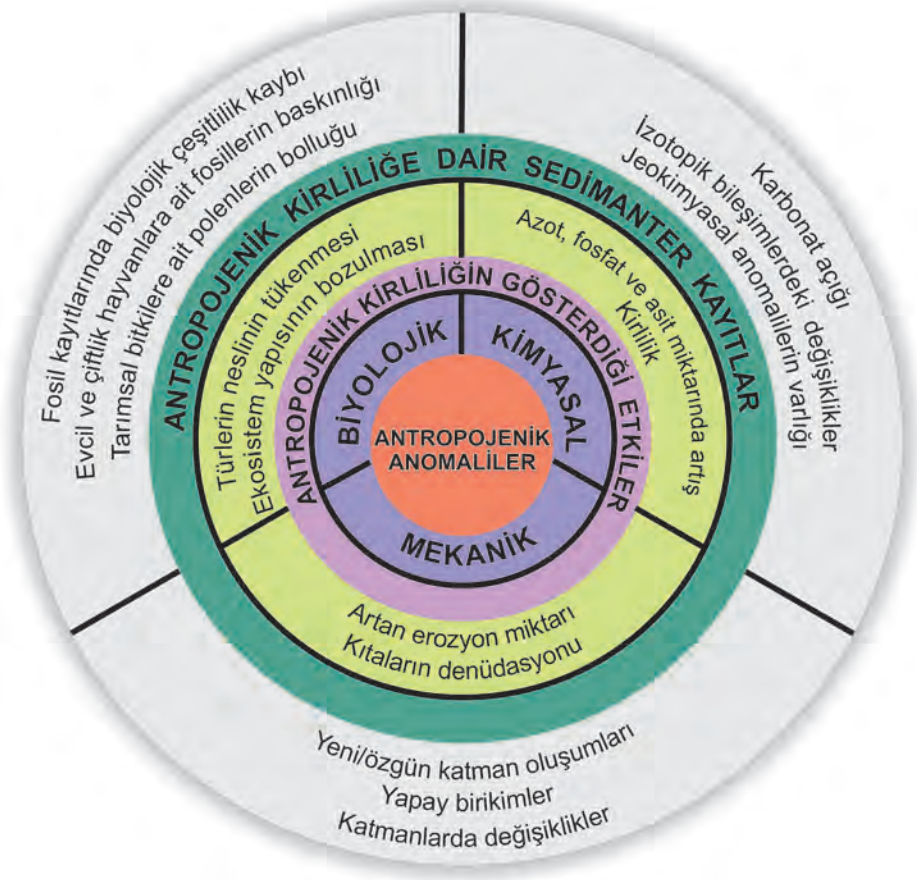
antropojenik kirliliğin son 1000 yıl içinde arttığını belirtmiştir. Fakat araştırmacılar doğal olarak, Crutzen ve Stoermer (2000) tarafından Antroposen kavramının ortaya atıldığı dönemden önceki bir dönemde yaptıkları çalışmalarında, bu zaman diliminin ayrımı ile ilgili tartışmalara değinememiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, Türkiye özelinde antropojenik kirlenmenin varlığı yoğun bir şekilde araştırılsa ve hatta varlığı desteklenmiş olsa da, bu kirlenmenin başlangıcı ve/veya varsa jeolojik zaman içindeki değişimleri, kontrollü bir biçimde yöntemsel olarak katmanlar içinde jeolojik olarak eski dönemlere gidilerek Marmara'da Evans vd. (1989), Ege Denizi'nde ise Atalar vd. (2013) dışında hiç araştırılmamıştır. Fakat bu çalışmalarda da, kirlenmenin başlangıcına ait bir kronolojik yaklaşım mutlak yaş verileriyle tartışılmamıştır. Bu çalışma kapsamında, İzmit Körfezi (Marmara Denizi), Trabzon ili Sürmene ilçesi ve Artvin ili Hopa ilçesi kıyılarından (Karadeniz) alınan karot örneklerindeki ağır metal bulgularının, sedimanlardaki derinliğe bağlı değişimi incelenerek, bu değişimlerin günümüzden ne kadar süre önce başladığı ve zamana bağlı değişim miktarları, Antroposen'in başlangıcının araştırılmasına yönelik ilk kez incelenmiştir. Elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının birbirlerine göre benzerlikleri ve farklılıkları, örneklerin alındığı lokasyonlara göre irdelenecek, daha önce dünyadaki farklı bölgelerde yapılmış çalışmalardan elde edilen değerler ile karşılaştırılacaktır. Karotlardaki metal konsantrasyonlarının değişim gösterdiği derinliklerden alınan radyometrik yaş verileri (¹⁴C) ile, antropojenik etkilerin başlangıcına dair kronolojik bir yaklaşım sağlanacaktır. Ayrıca, her bir lokasyon için, literatürdeki veriler kullanılarak olası sedimantasyon hızlarından yola çıkılarak yaklaşık yaş değerleri hesaplanmış ve saptanan ağır metal değişimlerinin hangi tarih aralıklarında gerçekleştiği, radyometrik yaş verileri de harmanlanarak yorumlanmıştır. Örneklerin analizinden elde edilen bulgular

ile, hesaplanan ve global ölçekte kullanılan antropojenik kirlenme ile ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanılan Kirlilik yük indeksi (*PLI*; *Pollution Load Index*) ve Zenginleşme Faktörü (*EF*; *Enrichment Factor*) değerleri hesaplanarak, lokasyonlardaki kirlenmenin küresel ölçekte diğer bölgelere göre durumu da irdelenmiştir. Son olarak bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veriler ışığında, Antroposen'in başlangıcına yönelik jeolojik bir ilişkilendirilmenin mümkün olup olmadığı tartışılacaktır.

MATERYAL VE METOD

Antropojenik etkilerin araştırılması için literatürde birçok değişik yöntem kullanılmaktadır. Bu etkiler antropojenik anomaliler şeklinde tanımlanmakta ve mekanik, biyolojik, kimyasal olarak 3 ana işlev altında değerlendirilmektedir (Glauszka vd. 2014) (Şekil 1). Özellikle sedimanter kayalar içindeki antropojenik etkilerin araştırılmasında kullanılan en önemli yöntemlerden biri ise jeokimyasal anomalilerin varlığının araştırılmasıdır. Bu çalışma kapsamında da, benzer şekilde güncel deniz sedimanlarının içindeki jeokimyasal anomaliler değerlendirilmiştir.



Şekil 1. İnsan kaynaklı antropojenik değişikliklerin olası etkileri ve sedimanlarda gözlenen olası kayıt türleri (Glauszka vd. 2014'den yeniden düzenlenmiştir).

Figure 1. Types of human-induced anthropogenic changes and their possible effects on sedimentary record (modified from Glauszka et al., 2014).

Örneklerin Temini ve Yer Seçimi

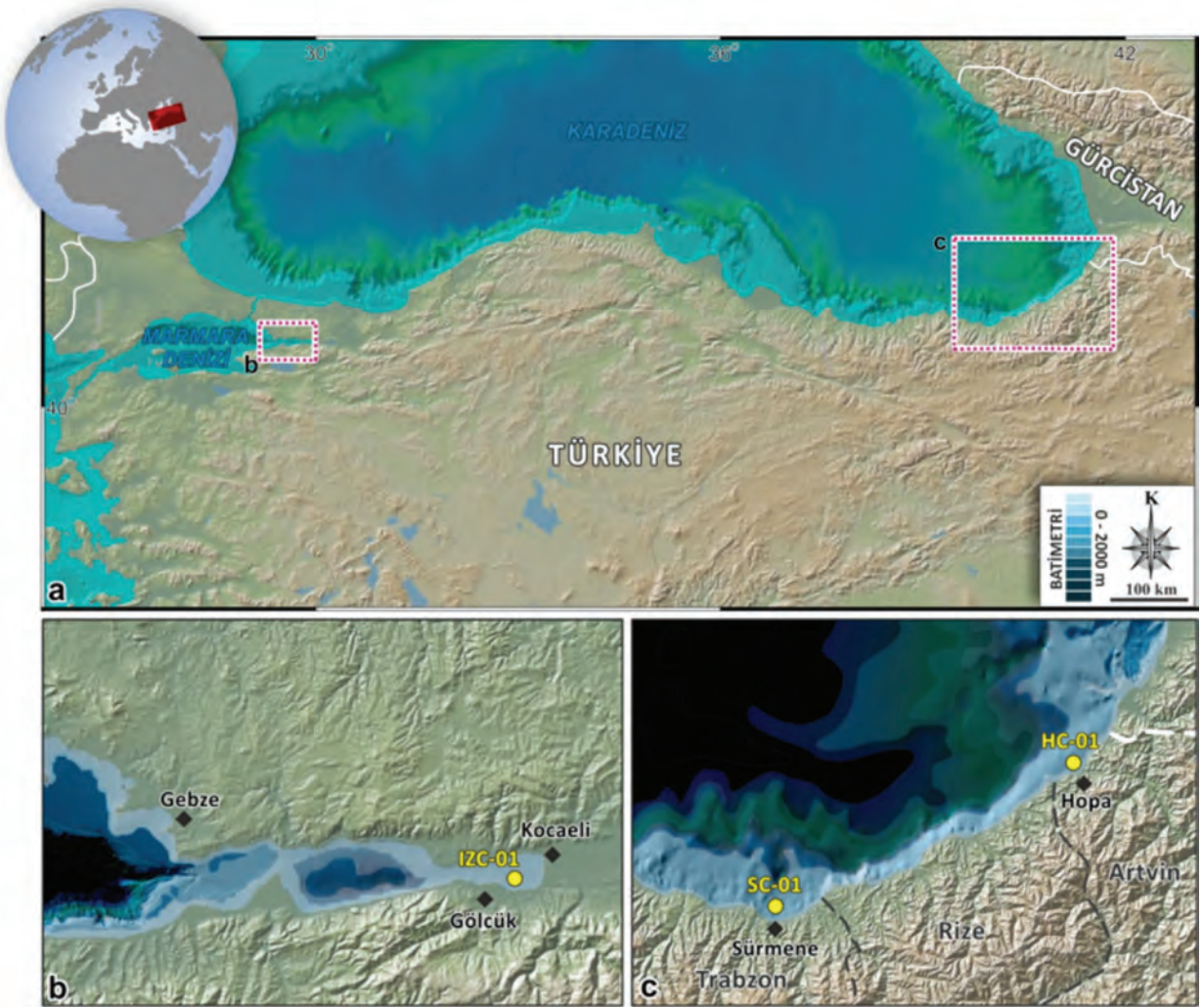
Bu çalışma kapsamında Marmara ve Karadeniz kıyılarındaki üç farklı bölgenin deniz tabanından alınan, güncel sedimanlardan oluşan ve farklı boylarda karot örnekleri kullanmıştır. Karot örnekleri, İzmit Körfezi, Trabzon ili Sürmene ilçesi ve Artvin ili Hopa ilçesi kıyılarından alınmıştır (Şekil 2). Alınan karotların boyları Marmara, Sürmene ve Hopa lokasyonları için sırası ile 2 metre, 1,5 metre ve 1 metredir. Dokuz Eylül Üniversitesi'ne ait R.V.K. Piri Reis araştırma gemisi tarafından *gravity core* yöntemi kullanılarak alınan karotlardan; İzmit Körfezinin güney kıyısına yakın olan örnek, kıyı çizgisine 110 metre uzaklıkta olup tortul su ara yüzeyi seviyesi 10 metredir (Çizelge 1). Bu bölge ve civarında yerleşim alanları, endüstriyel ve liman faaliyetleri çok aktiftir. Ayrıca uydu görüntülerinden ve topoğrafik haritalardan elde edilen bilgiler ışığında bölgede körfezi besleyen birçok akarsuyun mevcut olduğu da görülmektedir. Diğer bir karot lokasyonu ise Trabzon iline ait Sürmene ilçesi kıyılarıdır. Manahoz Çayının Karadeniz'e döküldüğü bölgeye yakın olan örnekleme alanının güncel kıyı çizgisine uzaklığı 330 metre ve tortul su ara yüzeyi derinliği ise 44 metredir. Bölge civarında ise başta Sürmene ilçesi olmak üzere

birçok yerleşim birimi bulunmaktadır. Ayrıca bölgede tarımsal ve endüstriyel faaliyetler de sürdürülmektedir. Bu çalışma için kullanılan son örnek lokasyonu ise, Artvin ilinin Hopa ilçesi kıyı açığında olup, alan Hopa Deresinin Karadeniz'e döküldüğü denizel akarsu deltası içinde yer almaktadır. Bu lokasyonun güncel kıyı çizgisine uzaklığı 440 metre, tortul su ara yüzeyi derinliği ise 40 metredir (Çizelge 1). Alınan karot örneklerinin yer seçiminde, nüfus, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yoğunluğu dikkate alınmıştır. Ayrıca örneklerin alındığı lokasyonların güncel akarsuların denize döküldüğü deltaların üzerinde olması nedeniyle, bölgedeki antropojenik etkilerin taşınarak toplanması açısından önemlidir. Bahsedilen kriterlerin dışında örneklerin yer seçiminde rol alan bir diğer parametre ise bölgelerin coğrafik durumlarıdır. İzmit Körfezi'nin bir iç denizde yer alması ve Marmara Denizi'nin en dingin su altı akıntıları içinde bulunması, bölgede endüstriyel (petrokimya, demir çelik sanayi vb.) faaliyetlerin yoğunluğu, Sürmene ve Hopa ilçesine oranla çok daha fazladır. Bu bağlamda, Marmara ve Karadeniz içinde bulunan ve birbirinden gerek coğrafik gerekse antropojenik olarak farklı seviyelerde olduğu düşünülen bu lokasyonlardaki etkilerin birbirleriyle karşılaştırılarak test edilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 1. Karadeniz ve Marmara'dan alınan karotların detay bilgileri.

Table 1. Detailed description of the cores from the Black Sea and the Marmara Sea.

Lokasyon	Karot kodu	Su derinliği (m)	Kıyı çizgisine uzaklığı (m)	Karot Boyu (cm)	Enlem	Boylam
Artvin/Hopa	HC-01	21	440	100	0701594 D	4584951 K
Trabzon/Sürmene	SC-01	45	330	150	0593770 D	4531950 K
İzmit/Başiskele	IZC-01	11	110	200	0744815 D	4511572 K



Şekil 2. Marmara ve Karadeniz kıyılarından alınan karotlara ait yer bulduru haritası (Sayısal haritalar Marine Geoscience Data System (MGDS) “<http://www.marine-geo.org/>” veri tabanı üzerinden, batimetrik veriler ise Marmara için Le Suroît gemisinin 2000 yılı çalışmalarındaki verileri kullanan Demirbağ vd. 2003’den ve Karadeniz için Hall, 2002’den alınmıştır).

Figure 2. Location map of the cores taken from Marmara and Black Sea (digital elevation maps are taken from Marine Geoscience Data System “<http://www.marine-geo.org/> database, bathymetric data modified after Demirbağ et al. 2003 who was using data from the vessel Le Suroît in 2000 at Sea of Marmara and Hall, 2002 for Blacksea).

Örneklerin Analiz Aşamaları

Örnekler, Antroposen’in başlangıcına yönelik farklı görüşler bulunduğundan dolayı, karotların bulunduğu lokasyonlara ait olası sedimantasyon hızları göz önüne alınarak ve günümüzden yaklaşık

1000 yıl öncesine denk gelen seviye düşünülerek, su tortul ara yüzeyindeki sedimandan başlamak üzere Hopa ve Sürmene karotlarında önce 3 cm, İzmit karotunda ise önce 4 cm, sonrasında derine doğru eşit aralıklarla kesilerek bölümlere ayrılmıştır.

Bu sayede örnekler içerisinde, stratigrafik olarak daha yaşlı olan bölümlerden günümüze gerçekleşmiş olan antropojenik değişimlerinin saptanması amaçlanmıştır. Çalışmada kirlilik artışını araştırmak için, literatürde (örn: Palanques ve Diaz, 1994; Owen ve Sandhu, 2000; Birch vd. 2001; Loska ve Wiechula, 2003; Essien vd. 2009; Yang vd. 2016'de olduğu gibi) yaygın bir şekilde kullanılan As, Ba, Sn, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti ve Zn elementleri seçilmiştir. Yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olarak tanımlanan (Kahvecioğlu vd. 2003) bu ağır metallerin genelde insan faaliyetleri ile doğaya salındığı bilindiği için (Sağlam ve Cihangir, 1995), belirlenen ağır metallerin konsantrasyonları değerlendirilerek Antropojenik değişimler incelenmiştir.

Alınan karotlar Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Örnek Hazırlama Laboratuvarında kesilerek açılmış, öncelikle litolojik, paleontolojik, stratigrafik ve sedimantolojik özellikleri loglanarak, sonrasında belirtilen aralıklarda ayrılan parçalardan, numuneler jeokimyasal analizi için tane boyutu yaklaşık 150µm olacak şekilde öğütülmüştür. Daha sonra örnekler MTA (Maden Tetkik Arama) Genel Müdürlüğü Jeokimya Laboratuvarında; As, Ba, Sn, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti ve Zn elementleri için 3'lü asit çözme yöntemi ile 1:2:2 oranında derişik HClO₄+HCl+HNO₃ ile 300°C ısıtıcı tablada 2 saat bekletildikten sonra, derişik 3:1 oranında HCl+HNO₃ çözücünde 300 °C ısıtıcı tablada 2 saat bekletilmiş, daha sonra ise saf su ile ICP-OES yöntemi kullanılarak sonuçlar ppm (parts per million) değeri cinsinden elde edilmiştir.

HC-01 (Artvin/Hopa) ve SC-01 (Trabzon/Sürmene) karotlardaki ağır metal konsantrasyonlarının stratigrafik olarak derine doğru değişimlerinin gözlemlendiği seviyelerden elde edilen kavkı parçaları radyokarbon yaş tayini için ayırtlanmış ve örnekler analiz için Conventional Carbon Dating Laboratory (CCDL) Kiev/Ukrayna'ya gönderilmiştir. Analizler, Dr.

Mykhailo Buzynnyi tarafından Quantulus 1220TH kütle spektrometresi kullanılarak Skripkin ve Kovaliukh (1998)'in geliştirdiği Lithium carbite ve benzen solusyonu teknikleri yardımıyla, Ramsey ve Lee (2013)'ün OxCal v4.2.4 programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kirlilik Yük İndeksi (PLI; Pollution Load Index) Değerinin Saptanması

PLI değeri, elementlerin dünya ölçeğinde antropojenik kirlenmenin seviyesini tespit etmek için kullanılan bir katsayıdır (Tomlinson vd. 1980; Ray vd. 2006; Huerta-Diaz vd. 2008; Essien vd. 2009; Mohiuddin vd. 2010; Zhang vd. 2011; Galuszka vd. 2014). Bu değer ilk kez Tomlinson vd. (1980) tarafından tanımlanmıştır. Bu değer saptanması için ilk önce Kirlilik faktörünün (CF) bulunması gerekmektedir. CF değeri, çökellerin kalitesi ile ilgili olarak Hakanson (1980) tarafından ortaya atılmış olup, örneğin analizinden elde edilen sonucun (C_i), dünya çapındaki genel oranları betimleyen Clarke veya ilgili ortalama kabuk değerlerine (C_n) bölünmesi ile hesaplanır:

CF değerleri her element için bulunduktan sonra, PLI değeri analizi yapılmış her bir element için bulunan CF değerlerinin birbirleri ile çarpımının, element sayısına (n) bağlı kökünde değerlendirilir:

Bulunan sonucun >1 (1'den büyük; kirlilik fazla) veya <1 (1'den küçük; kirlilik az) olması durumuna göre yorum yapılmaktadır (Ray vd. 2006; Galuszka vd. 2014).

Zenginleşme Faktörü (EF; Enrichment Factor) Değerinin Saptanması

Zenginleşme faktörü zaman içinde değişik çevresel ortamların değerlendirilmesinde ve metal kirliliğinde antropojenik katkının hesaplanmasında da yoğun olarak kullanılan bir değerdir (Morillo vd., 2002; Adamo vd., 2005; Valdés vd., 2005). İlk

kez Buat-Menard ve Chesselet (1979) tarafından ortaya atılan bu faktörün hesaplanmasında ve değerlendirilmesinde, diğer kirlilik indekslerinden farklı olarak, bir referans element seçilerek normleştirme yapılmaktadır. Normleştirmede kullanılacak elementin seçimi konusunda kesin bir kabul olmamakla birlikte, genellikle alüminyum, demir, lityum, zirkon ve titanyum gibi jeokimyasal olarak aktif olmayan ve ince taneli materyallerde rahatlıkla rastlanabilen elementler kullanılır (Reinmann vd., 2000; Schiff ve Weisberg, 1999; Sutherland, 2000; Ray vd. 2006; Huerta-Diaz vd. 2008; Essien vd. 2009; Mohiuddin vd. 2010; Zhang vd. 2011; Galuszka vd. 2014). Bu çalışma kapsamında, Titanyum elementi karot içinde büyük varyasyonlar göstermemesi dolayısıyla referans element olarak değerlendirilmiştir. Zenginleşme faktörü, uluslararası yayınlarda Buat-Menard ve Chesselet (1979)'a sadık kalınarak aşağıdaki formül ile hesaplanır.

Formüldeki EF: Zenginleşme faktörü, C_{Metal} (Örnek): İlgili elementin konsantrasyonunu, C_{Ref} (Örnek): referans olarak alınan elementin ölçülen konsantrasyonunu, C_{Metal} (Kabuk): İlgili elementin kabuktaki ardaalan (background) değerini, C_{Ref} (Kabuk): referans olarak alınan elementin kabuktaki ardaalan (background) değerini tanımlamaktadır. Genellikle hesaplanan EF değeri sonucunun 1'e yakın ($EF < 1$) olması kabuk kökenine, 3-5 arasında olması tartışmalı olarak kabuk kökenine, $EF < 5$ 'ten büyük değerlerinde ise kabuk kökenli olmadığı yönünde bir kabul görmektedir (Galuszka vd. 2014; Halstead vd. 2000). EF için farklı standartlar ve referans aralıkları önerilsede, literatürde en yaygın şekilde Sutherland (2000)'in önerdiği aralıklar kullanılır. Söz konusu çalışmada EF değerleri zenginleşme ölçütüne göre 5 farklı kategoriye ayrılarak verilir; $EF < 2$, en az zenginleşme/kirlilik, $2 \leq EF \leq 5$, orta zenginleşme/kirlilik; $5 \leq EF \leq 20$, belirgin zenginleşme/kirlilik; $20 \leq EF \leq 40$, çok yüksek zenginleşme/kirlilik; $EF > 40$, son derece yüksek zenginleşme/kirlilik.

Ayrıca bu çalışma kapsamında hesaplanan PLI ve EF değerlerinin sonuçlarının elde edilmesinde, dünya standartlarında, benzer çalışmalarda en sık kullanılan ve tane boyu, litoloji gibi faktörler gözetilerek ayrı ayrı hesaplanmış Turekian & Wedepohl (1961)'in önerdiği ardaalan (background) değerleri kullanılmıştır. Seçilen referans değerlerinin ilgili çalışmadan alınmasının bir diğer önemli sebebi, en sık kullanılmasının yanında, bu çalışmada sunulan sonuçların, Dünya'daki farklı alanlarda yapılan ve aynı değerler kullanılarak hesaplanmış benzer çalışmalarla kıyaslanmasının amaçlanmış olmasıdır.

JEOKİMYASAL ANALİZ ÇALIŞMALARI

Jeokimyasal analiz çalışmalarında, 3 farklı lokasyondaki karotlardan her birinde 15 numune olmak üzere toplamda 45 örneğin ağır metal (As, Ba, Sn, Pb, Cd, Cr, Ni, Sn, Ti ve Zn) konsantrasyonları ppm cinsinden elde edilmiştir. Bu elementlerden As, Ba, Cr, Ni, Pb, Ti, Zn ve Cd oranları Çizelge 2'de verilmektedir. Özellikle Karadeniz'den alınan Sürmene ve Hopa karotlarındaki örneklerin 150-420 ppm arasında değişiklik gösteren yüksek Ti oranları dikkat çekicidir. Zn oranları ise Hopa karotunda 66-87 ppm, Sürmene'de ise 62 -100 ppm arasında değişiklik gösterir. Marmara karotunda (IZC-01) ise Ti değerleri, Karadeniz örneklerine oranla 10 ve 20 katına varan miktarlarda konsantrasyon düşüklüğü gösterir. Ni oranı Marmara karotunda, Karadeniz örneklerinden yaklaşık 3 kat fazla bir konsantrasyona sahip ve 27-44 ppm arasında salınım sunar. Ba oranları ise en az Hopa, sonrasında Sürmene ve en yüksek değerlerde Marmara karotunda ölçülmüştür ve birbirlerine oranla yaklaşık 2 kat artış ile temsil edilirler (Çizelge 2). Cd değerleri ise, ölçüm sınırlarının yetersizliği dolayısıyla ayrılaştırılmamış ve 0.3 ve < 0.1 değerlerle temsil edildiği gözlenmiştir. Literatürde özellikle antropojenik kirliliğin ölçümünde en çok kullanılan Pb, Cr, Zn ve As gibi elementlerin

değerleri dikkate alınmış ve bulunan değerlerin derine doğru değişimleri üzerinde durulmuştur. As değerleri 4–28 ppm gibi geniş bir aralıkta değişim sunmakta ise de, oransal olarak yine Marmara karotunun orta seviyelerinde en yüksek değerlerle ölçülmüştür. Cr oranları Karadeniz ait Sürmene ve Hopa karotlarında birbirlerine yakın değerlerle ve 8–19 ppm arasındaki konsantrasyonlarla karakteristiktir. Marmara'dan alınan İzmit karotunda ise, Karadeniz numunelerine oranla 3 kata varan bir Cr artışının bulunduğu gözlenmektedir. Pb oranlarının ortalamaları,

lokasyon olarak Sürmene ve İzmit'te birbirlerine benzer, Hopa'da ise yarı yarıya az ve 6–14 ppm arasında değişen konsantrasyonlara sahiptir. Özellikle her 3 karottaki Pb ve Zn oranlarında, derine doğru bir azalmanın gözlenmesi dikkat çekicidir. Bu azalmanın hangi aralıklarda olduğu ve nasıl salınım gösterdiği, değişimlerin elde edilen radyometrik yaşlar ile hesaplanan olası sedimantasyon hızlarına bağlı olarak, hangi zaman aralıklarında gerçekleştiği, tartışma ve sonuç bölümünde irdelenmiştir.

Çizelge 2. Karotlardan alınan örneklerde yapılan jeokimyasal analiz sonuçları.

Table 2. Geochemical analysis results of the samples taken from the cores.

Karot	Örnek	Derinlik (cm)	Ağır metallerin konsantrasyonu (ppm)							
			As	Ba	Cr	Ni	Pb	Ti	Zn	Cd
Artvin/ Hopa Karadeniz HC-01	H1	1.5	13	16	14	15	11	330	75	0.2
	H2	4.5	10	19	16	18	14	380	87	0.1
	H3	7.5	11	16	16	18	12	420	73	0.1
	H4	10.5	4	17	15	17	9	400	76	<0.1
	H5	13.5	5	17	14	17	8	310	68	<0.1
	H6	17.5	6	17	13	15	7	370	67	<0.1
	H7	20.5	5	16	14	22	6	370	67	<0.1
	H8	23.5	6	17	14	17	8	340	69	<0.1
	H9	28.5	6	21	16	22	9	280	70	<0.1
	H10	31.5	6	19	16	19	8	300	71	<0.1
	H11	34.5	5	18	14	17	7	350	66	<0.1
	H12	37.5	5	17	15	18	7	330	70	<0.1
	H13	47.5	6	16	14	17	7	360	67	<0.1
	H14	67.5	5	14	13	14	6	350	67	<0.1
	H15	87.5	5	16	12	14	7	400	66	<0.1

Çizelge 2 devam ediyor/*continued*

	S1	1.5	7	27	11	11	18	160	74	0.2
	S2	4.5	7	26	12	11	17	170	71	0.2
	S3	7.5	8	30	16	12	21	140	84	0.2
	S4	10.5	13	33	15	14	24	150	100	0.3
	S5	13.5	14	32	19	13	23	140	88	0.2
	S6	17.5	11	33	15	15	22	160	86	0.2
Trabzon/Sürmene	S7	20.5	11	33	13	14	23	160	81	0.2
Karadeniz	S8	23.5	9	30	13	14	22	160	77	0.2
SC-01	S9	28.5	10	34	13	15	23	170	77	0.2
	S10	31.5	9	31	13	14	23	150	73	0.1
	S11	41.5	7	26	11	12	17	160	66	0.1
	S12	61.5	14	30	14	15	19	160	70	0.1
	S13	81.5	8	30	13	14	20	160	74	0.2
	S14	101.5	8	27	10	11	16	150	79	0.1
	S15	121.5	6	24	8	9	13	180	62	0.1
	M1	1	7	35	32	56	21	19	60	<0.1
	M2	3	6	43	33	58	20	19	61	<0.1
	M3	6	4	55	39	66	20	23	67	<0.1
	M4	10	4	50	40	68	20	19	67	<0.1
	M5	14	5	62	41	72	21	21	67	<0.1
	M6	18	6	48	44	77	22	23	71	0.1
İzmit/Başiskele	M7	22	5	38	41	68	22	24	69	<0.1
Marmara	M8	26	7	54	42	68	18	22	67	0.1
IZC-01	M9	30	28	32	42	77	15	19	66	0.2
	M10	34	19	37	42	79	15	20	65	0.2
	M11	38	7	56	37	82	13	20	57	0.2
	M12	50	8	74	31	69	11	21	51	0.2
	M13	80	5	74	29	64	10	22	47	0.1
	M14	120	7	75	27	61	10	22	46	0.2
	M15	170	18	55	30	69	11	25	48	0.2

JEOLOJİK BULGULAR

Karot örnekleri üzerinde yapılan jeolojik incelemeler, genelde litolojik, sedimantolojik ve paleontolojik veriler ışığında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, İzmit Körfezine ait olan karot örneğinin (IZC-01), Karadeniz'e ait karotlardan daha ince taneli sedimanlardan oluştuğu görülür. Litolojik olarak ince kum, kil ve çamurdan yapıları

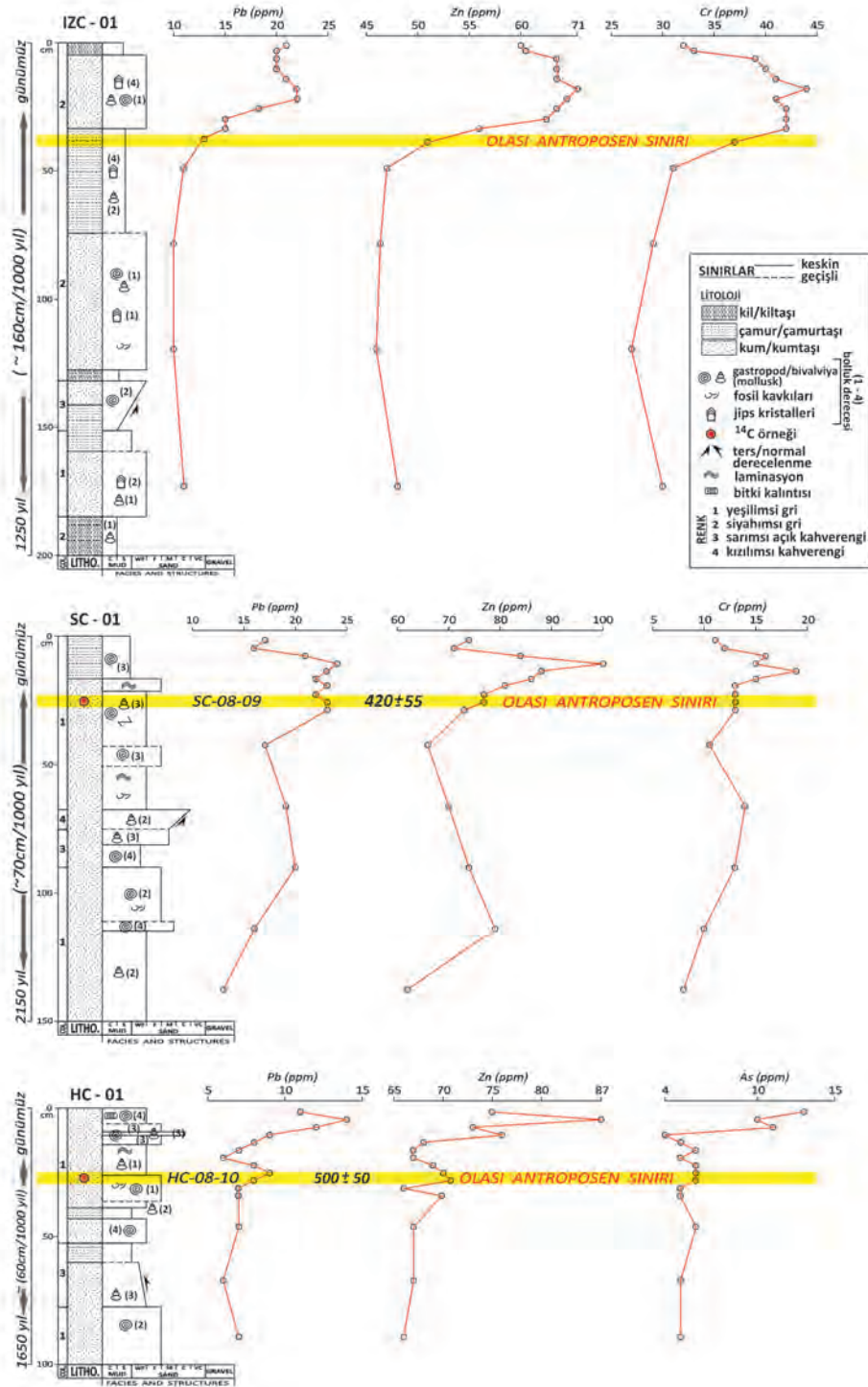
olan karotta genel bir düzen içinde ardalanma mevcuttur (Şekil 3). Karotta farklı litolojilerde de olsa baskın renk siyahımsı gridir. Karotun yüzeyden 135–150 cm arasındaki tortullarda net bir şekilde ters derecelenme olduğu gözlenmektedir. Organik madde bakımından, karotun genelinde eş oranda kavkılı canlı kalıntılara rastlanmıştır. Sadece Marmara karotu özelinde, boyutları 0.5-1.5 cm arasında değişen jips kristallerinin varlığı dikkat

çekicidir. Hatta bu jips kristallerinin boyları, karotun stratigrafik olarak üst seviyelerinde, alt bölümlerine oranla daha iri kristallere sahiptir. Sürmene karotunda (SC-01) ise kaba kumdan çok ince kuma değişen ve genelde baskın olarak kum boyu tortullardan yapıli bir litoloji hâkimdir. Karotun ilk 15 cm'lik bölümü ise yeşilimsi gri renkli çamurdan yapılidir. Karotta, birimlerin tane bileşenleri genelde mika grubu litik kaya kırıntılarınca zengindir. İzmit karotuna benzer şekilde, Sürmene karotunun 60–70 cm'leri arasında orta kumdan kaba kuma bir ters derecelenme söz konusudur. Karotun orta üst seviyesindeki bazı orta kumlarda dalgalı laminasyon olağandır. Sürmene karotu, İzmit karotundan çeşitlilik ve bolluk açısından, paleontolojik olarak daha zengindir. Kavkı bolluğu, istifte alttan üste belirgin bir farklılaşma göstermese de tür ve cins bakımından bir azalma olduğu açıkça görülmektedir. Hopa karotu ise, litolojik olarak çok kaba kumdan çamura değişen bir tane boyu dağılımı göstermektedir. Karot stratigrafisinde, istifin nispeten üst bölümü alt bölümlerine oranla daha kaba kırıntılıdır. Bu karotta, diğer iki karotun aksine 70- 60 cm aralığında yukarıya doğru ince kumdan çok ince kuma doğru normal bir derecelenme gözlenir. Karotun üst seviyelerinde aynı Sürmene karotunda olduğu gibi dalgalı laminasyon gösteren 10 cm kalınlığında ince kumdan yapıli bir seviye de bulunmaktadır. Hopa karotu paleontolojik olarak, gerek kavkı bolluğu gerekse tür ve cins çeşitliliği bakımından en zengin karot olmakla beraber, diğer iki karottan farklılık göstermektedir. Bu farklılaşma kendi içinde Sürmene'den az, İzmit karotundan ise fazladır. Karotun üst seviyelerindeki paleontolojik

bolluk ve çeşitlilik, alt bölümüne göre oldukça fazladır. Bunun yanında, sadece Hopa karotunun yüzeye yakın ilk 10 cm'lik bölümünde bitkisel kalıntı ürünlerine rastlanmıştır (Şekil 3).

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Karadeniz ve Marmara'daki 3 farklı lokasyondan alınan karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına göre, İzmit Körfezi'ndeki sediman örneklerinin Sürmene ve Hopa örneklerine oranla daha fazla As, Ba, Cr, Ni gibi ağır metal kirlenmesine maruz kaldığı gözlenmektedir. Sürmene ve Hopa karotlarından alınan örneklerin Titanyum konsantrasyonları, İzmit Körfezi örneklerinin sonuçlarına oranla oldukça fazladır. Karadeniz özelinde titanyum elementinin bu yüksek konsantrasyonu, Çağatay vd. (1987) tarafından da açıkça vurgulanmaktadır. Çalışmacılar, güncel sedimanlar üzerinde yaptıkları jeokimyasal analizlerde en düşük Ti değerinin 300 ppm, en yüksek değerinin ise 4000 ppm olduğunu belirterek, bu yüksek Ti anomalisini, bazik volkanik kökenli kırıntı malzeme ile ilişkili olduğunu savunurlar. Benzer şekilde bu çalışma kapsamında da Karadeniz örneklerinden elde edilen yüksek Ti konsantrasyonunun antropojenik bir kirlenme ile ilişkili olmadığı, beslenme alanı kaya litolojisine ait bileşimsel bir katkıdan kaynaklandığı düşünülmüş ve bu nedenle kirlilik hesaplarında Ti elementinin kontaminasyonu göz ardı edilmiştir. Hatta Ti elementinin karotlar içerisindeki varyasyonlarının değişmemesi, bu elementin Zenginleşme Faktörü hesaplamalarında referans element olarak kullanılmasına uygunluk sağlamıştır.



Şekil 3. İzmit (IZC-01), Sürmene (SC-01) ve Hopa (HC-01) karotlarının logları ve karotlardan alınan örneklerin, ağır metal konsantrasyonlarındaki derinliğe bağlı dağılımları.

Figure 3. Logs of the cores and vertical distribution of the heavy metal concentration of samples taken from İzmit (IZC-01), Sürmene (SC-01) ve Hopa (HC-01) cores.

Karot örneklerinde As, Ba, Pb, Cr, Ni ve Zn elementlerinin analiz sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak 3 farklı lokasyon için PLI değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 3'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre; İzmit Körfezi, Sürmene ve Hopa'ya ait örneklerden elde edilen PLI değeri $1 < PLI$ (1'den büyük ve sırasıyla; 3.255, 2.195 ve 1.706 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar alanların kirli bölge grubuna dahil edilmesi gerektiği yönündedir. Bunun yanında, orantısız olarak İzmir Körfezi'ne ait karotun, kirlilik yönünden en yüksek değere sahip olduğu gözlenirken, Hopa karotu örneklerinin de PLI değerinin Sürmene karotuna göre düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, kirlilik bazında İzmit Körfezi kirli, Sürmene daha az kirli ve Hopa ise en az kirli lokasyon olarak değerlendirilmektedir.

Özellikle üç farklı lokasyon için elde edilen PLI değerinin kirlilik sınırının üzerinde olması ve kirlilik seviyesinin anlaşılması açısından, Dünya'nın farklı bölgelerinde benzer yöntemlerle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması gereğini doğurmaktadır. Ray vd. (2006) tarafından Hindistan'da yapılan çalışmada PLI değerinin 0.34 ile 1.03 arasında değiştiği görülmektedir. Bu durumda İzmit Körfezi'nin, Hindistan'ın Kakinada, Godavari, Coringa ve Gaderu kıyılarından daha fazla kirlenmiş olduğu yorumu yapılabilir. Aynı şekilde, Essien vd. (2009) Nijerya'nın güneyindeki Cross Nehri ve Mangrove Bataklığı çevresindeki PLI değerlerinin 1.26 ile 1.76 arasında değiştiğini vurgulamaktadır. Mohiuddin vd. (2010) Japonya, Yokohama'da yaptıkları çalışmada 1.24–7.65 arasında, Huerta-Diaz vd. (2008) Baja California'da yaptıkları çalışmada 1.01–4.29 arasında, Bhuiyan vd. (2010) Bangladeş'te yaptıkları çalışmada 1.67–4.02, Rashed (2010) Mısır'ın güneydoğusunda yaptıkları çalışmada ise 0.64–2.92 arasında değişen değerler rapor etmektedir. İzmit Körfezi'ne ait PLI değerinin, Dünya'da kirliliği bildirilen alanlardaki değerler ile benzer

olduğu görülmektedir. Fakat kirliliği aşırı derecede ön plana çıkmış Yokohama (Japonya) ve Baja (Meksika) gibi alanlardaki oranlara kıyasla, İzmit Körfezi'nin ağır metal konsantrasyonuna bağlı kirlilik seviyesinin ortalama değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, İzmit Körfezi'nin Dünya'nın birçok farklı bölgesine kıyasla kirlilik seviyesinin üstünde ya da ortalamasında yer aldığı, fakat çok kirli alanlardan daha az bir kirliliğe sahip olduğu gözlenmiştir.

Yine karot örneklerinden elde edilen As, Ba, Cr, Ni, Pb ve Zn elementlerinin ağır metal konsantrasyonlarından yola çıkarak 3 farklı lokasyon için Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Sutherland (2000)'e göre İzmit Körfezinde As, Ni ve Cr elementlerinin belirgin bir zenginleşme, Pb ve Zn elementlerinin orta derecede zenginleşme, Ba elementinin ise yetersiz zenginleşme gösterdiği saptanmıştır. Sürmene lokasyonunda ise As, Ba ve Cr elementinin yetersiz zenginleşme gösterdiği, fakat Ni, Pb ve Zn elementlerinde belirgin bir zenginleşmenin olduğu gözlenmiştir. Sürmene lokasyonuna benzer şekilde Hopa lokasyonunda As, Ba, Cr ve Pb elementlerinde yetersiz zenginleşme olduğu gözlenirken, Ni ve Zn elementleri bakımından belirgin bir zenginleşmenin olduğu saptanmıştır. Diğer yandan, İzmir Körfezi, Sürmene ve Hopa'dan alınan karot örneklerinden elde edilen EF değerleri, kirlilik seviyesinin anlaşılabilmesi açısından Dünya'nın farklı bölgelerinde benzer yöntemlerle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Szefer vd. (1998) tarafından Polonya'nın Puck Körfezi'nde yapılan çalışmada Zn elementi için hesaplanan EF değerinin 1.7–14.6 arasında değiştiği belirtilmektedir. Bu duruma İzmir Körfezi, Sürmene ve Hopa lokasyonlarında Zn elementi için hesaplanan EF değerinin Puck Körfezi'nden elde edilen değerlere benzer sonuçlar gösterdiği anlaşılmaktadır. Aynı

şekilde Szefer vd. (1998) Puck Körfezi için Pb elementi için hesaplanan EF değerinin 2.4–24 arasında değişiklik gösterdiğini belirtmektedir. Bu bağlamda Pb elementinin Hopa lokasyonunda Puck Körfezi'ne oranla daha az miktarda zenginleştiği, İzmit Körfezi ve Sürmene lokasyonlarının ise benzer aralıklarda salındığı görülmektedir. Aynı şekilde Abraham ve Parker (2008) Yeni Zelanda, Auckland (Tamaki)'de yaptıkları çalışmada Pb ve Zn elementleri için EF değerinin sırasıyla 0.7–6.8 ve 2.2–4.0 aralığında olduğunu, Spencer vd. (2003) ise Büyük Britanya'nın Kent bölgesinde yaptıkları çalışmada Pb ve Zn elementleri için

elde edilen EF değerinin sırasıyla 0.9–10 ve 0.8–2.6 olduğu bilinmektedir. Bu durumda her üç lokasyon için de Pb elementindeki zenginleşmenin, Yeni Zelanda'dan ve Büyük Britanya'nın Kent bölgesinden elde edilen değerlerle benzer olduğu, ancak Zn elementindeki zenginleşmenin Yeni Zelanda ve Büyük Britanya'nın Kent bölgesine kıyasla daha fazla olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak gerek Karadeniz gerekse Marmara örneklerindeki Zn ve Pb elementleri zenginleşme faktörlerinin dünyadaki kirliliği EF cinsinden ortaya konulan alanlarla, çoğunlukla benzer özellikler taşıdığı saptanmıştır.

Çizelge 3. Hopa, Sürmene ve İzmit karotlarından ölçülen PLI değerleri (CF, kontaminasyon faktörü, $C_{i/o}$ (ppm) değerleri ilgili element için karot içindeki ortalama konsantrasyon hesaplanarak kullanılmıştır).

Table 3. PLI values measured on the Hopa, Sürmene and İzmit cores sites ($C_{i/o}$ values (ppm) were calculated mean concentration values for the corresponding elements in the core).

Karot (Bölge)	Ba	Konsantrasyon (ppm)					PLI
		Cr	Cd	Ni	Pb	Zn	
Artvin/Hopa (HC-01)	$C_{i/o}$	17.06	14.40	0.133	17.33	8.06	70.60
	CF	0.026	0.115	4.444	0.298	0.403	26.148
Trabzon/Sürmene (SC-01)	$C_{i/o}$	29.73	12.46	0.1733	12.93	20.06	77.46
	CF	0.0467	0.0997	5.666	0.2229	1.0033	28.691
İzmit/Başiskele (IZC-01)	$C_{i/o}$	52.53	36.66	0.1333	68.93	16.60	60.60
	CF	0.0825	0.310	14.03	1.118	0.9	22.44

Çizelge 4. Hopa, Sürmene ve İzmit karotlarından ölçülen elementlere ait EF değerleri.

Table 4. EF values of measured elements on the Hopa, Sürmene and İzmit cores.

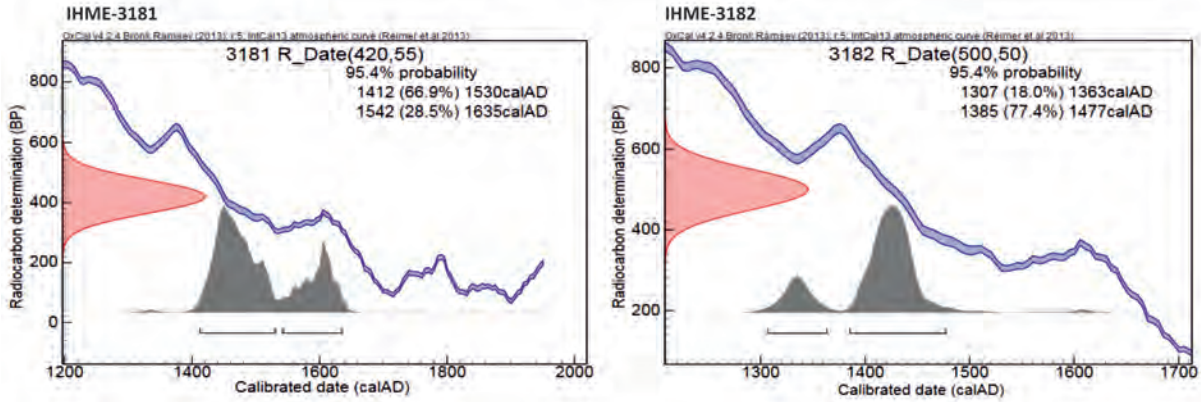
Karot (Bölge)	EF (Zenginleşme Faktörü)					
	As	Cr	Ba	Ni	Pb	Zn
Artvin/Hopa (HC-01)	0.67	7.66	0.1	19.06	3.9	4.44
Trabzon/Sürmene (SC-01)	1.84	0.94	0.39	16.37	5.08	5.6
İzmit/Başiskele (IZC-01)	13.11	0.46	1.7	9.82	1.36	5.0

Ayrıca, İzmit Körfezine ait karot örneğinin içerisinde daha önce de belirtildiği gibi boyutları 0.5–1.5 cm arasında değişen jips kristallerinin varlığı oldukça dikkat çekicidir. Marmara içinde yapılan önceki çalışmalarda da jips kristalinin varlığı rapor edilmektedir (Stanley ve Blainpied, 1980; McHugh vd. 2008). Özellikle Stanley ve Blainpied (1980)'in vurguladığı ve çalışmasında G6 nolu karotta gözlediğini belirttiği jips kristalleri, karotun üst seviyelerinde gözlenmemektedir. Fakat bu çalışma kapsamında değerlendirilen IZC-01 karotunda hemen hemen her seviyede jips kristalizasyonuna rastlanmış, hatta bu jips kristallerinin bolluğunda ve iriliğinde karot stratigrafisinde daha genç katmanlara gidildikçe bir artış olduğu görülmüştür. Van Driessche vd. (2011) jips kristalinin, düşük sıcaklıkta (<55 °C'de) ölçülebilir büyüme oranının $1.4 \pm 0.2 \times 10^{-5}$ nm/s olduğunu belirtir. Bu orandan yola çıkarak, 1.5 cm'lik bir kristalin oluşabilmesi için yeterli süre yaklaşık 2800-3000 yıl olarak hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda, karot içindeki jips kristallerinin buldukları stratigrafik pozisyonların, olası sedimantasyon hızı ile ilişkisi de orantılı gözükmemektedir. Literatürde, jips kristallerinin oluşumunun ve büyüme hızının artmasının gerek hava gerekse su kirliliği ile tetiklendiği ve ilişkilendirildiği bilinmektedir (Charola vd. 2007; Török vd. 2007; Gomez-Heras vd. 2008; Marszałek vd. 2014). Bu veriler ışığında, İzmit Körfezi karotundaki jips kristallerinin antropojenik kökenli bir etken sonucu gelişmiş olabileceği sonucuna varılması gerekliliği doğmaktadır. Buna ilaven, karotlar içerisindeki kavkılı canlı kalıntılarının bolluk ve çeşitliliği de bunu destekleyen özellikler göstermektedir. İzmit Körfezi karotunda paleontolojik örnekler ender miktarda rastlanırken, Hopa ve Sürmene karotlarında ise İzmit Körfezi'ne kıyasla bu

kalıntılarla daha sık karşılaşılmaktadır. Bu jeolojik gözlemler ile kirlilik bazında hesaplanan PLI değerleri de oldukça uyumludur.

Her karot kendi içinde değerlendirildiğinde, özellikle Pb, Cr, Zn ve As gibi ağır minerallerin sonuçlarının, karotlardaki derinliğe bağlı değişiminde bariz bir farklılık olduğu ve bu farklılığın derine doğru konsantrasyonlarda azalma şeklinde gerçekleştiği görülür (Şekil 3). Bu değişimler, Hopa karotunda (HC-01), Pb için 14–6 ppm, Zn için 87–66 ppm ve As için 13–5 ppm arasında salınır. Sürmene karotunda (SC-01) ise, konsantrasyonların Pb için 24–13 ppm, Zn için 100–62 ppm, Cr için 16–8 ppm arasında değiştiği gözlenmektedir. İzmit karotunda (IZC-01) Pb için 23–10 ppm arasında gerçekleşirken, Zn için 71–46 ppm ve Cr için 44–27 ppm bandında gerçekleşmektedir. Evans vd. (1989)'un Marmara karotlarında da, Pb, Cu, Cr ve Zn için derine doğru bir konsantrasyon azalması olduğu görülür. Fakat Karadeniz özelinde, yöntemsel olarak benzer bir bilimsel çalışma bulunmadığından, karşılaştırma yapılamamıştır. Bunun dışında, her 3 karotta da ilgili elementler için bu azalmaların bariz bir şekilde anomali gösterdiği bir hat ortaya çıkmaktadır (Şekil 3). Sürmene ve Hopa karotlarında bu seviye hemen hemen birbirlerine yakın ve 20–25 cm arasındaki bir hatta gerçekleşirken, İzmit karotunda ise orantısız olarak daha derinde ve 40–45 cm arasında kaldığı görülmektedir. Sürmene ve Hopa karotlarında, anomalilerin gözlendiği derinliklerden elde edilen kavkı parçalarının radyokarbon yaşları sırasıyla 420 ± 55 (GÖ) ve 500 ± 50 (GÖ), bu verilerden elde edilen kalibre yaşlar ise Sürmene karotu için MS 1412 (% 66.9) - MS1542 (% 28.5) ve Hopa karotu için MS 1385 (% 77.4) – MS 1307 (% 18.0) olarak hesaplanmıştır (Şekil 4).

Karot	Örnek No	Lab. No	Benzen miktarı (gr)	Süre (dakika)	Örnek sayım miktarı (CPM)	Radyokarbon yaşı (GÖ)	Kalibre yaşı (MS)
Sürmene SC-01	SC-08-09	IHME-3181	0.1314	2500	0.866	420 ± 55	1412 (% 66.9) 1542 (% 28.5)
Hopa HC-01	HC-08-10	IHME-3182	0.2945	2500	1.673	500 ± 50	1385 (% 77.4) 1307 (% 18.0)



Şekil 4. Sürmene ve Hopa karotlarından alınan kavkı örneklerinin radyokarbon yaşlarına ait veriler ve yaşların olasılık grafikleri. Analiz ölçümlmeleri için OxCal v4.2.4 programı Ramsey ve Lee (2013)'den, atmosferik eğri ise Reimer vd. (2013)'den alınmıştır.

Figure 4. Sequential radiocarbon age data on shell samples collected from the Sürmene and Hopa cores and probability distribution of calibrated age diagrams. OxCal v4.2.4 programme taken from Ramsey & Lee (2013) and atmospheric curve from Reimer et al. (2013).

Ayrıca bu sınırların jeolojik yaş ilişkilerinin denetlenebilmesi için, değerlendirilen karotların yakın çevresinde yapılan ve literatürde doğrudan ya da dolaylı bir şekilde sedimantasyon hızlarına değinilen çalışmalar irdelenmiş ve bu hızlar karotların boylarına göre oranlanarak, stratigrafik olarak olası bir jeolojik yaş ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır. Marmara Denizi içindeki çökelinin hızını çeşitli yöntemler kullanarak belirleyen çalışmalar oldukça yaygındır. Marmara için sedimantasyon hızına yönelik ilk açıklama Koreneva (1971)'in spor ve polenleri kullandığı çalışmasında verilir. Çalışmacı, 2 metreyi aşan karotların tabanında bile, Holosen sınırına inilmediğini dolayısı ile yüksek bir sediment akümülyasyonunun olması gerektiğini savunur. Stanley ve Blanpied (1980), radyokarbon verilerine dayanarak kuzeydoğu Marmara şelfinde 4500 – 5000 yıl arasında en az 70 cm/1000

yıllık bir hız önerir. Aynı çalışmada, 4 karotun da, farklı derinliklerden elde edilen radyometrik yaş verileri gözetilerek, hızların 2.5–23 cm/1000 yıl aralığında değiştiği hesaplanabilmektedir. Evans vd. (1989)'ın aynı kuzeydoğu Marmara şelfinde yaptığı çalışmasında verilen sediment ağırlıklarından yola çıkarak 100-140 cm/1000 yıl gibi değerler hesaplanabilir. Marmara Denizi özelinde ve doğrudan sedimantasyon hızını belirlemeye yönelik en kapsamlı çalışmalardan biri Ergin vd. (1994)'tür. Çalışmacılar, Marmara'nın güneyinde, kuzeyinde ve merkezinde aldıkları karotlarda, ^{210}Pb yöntemiyle yaşlar elde etmişler ve bunları sedimantasyon hızlarını bulmak için yorumlamışlardır. Çalışmanın sonucunda farklı alanlarda, ortalama 8–104 cm/1000 yıl gibi hızlar elde etmişlerdir. Gökmen vd. (1996) ise benzer alanlarda ve aynı yöntemle, sediment ağırlıklarından yola çıkarak, 60–260 cm/1000

yıl gibi hızlar rapor etmektedir. Aksu vd. (2002) verilerinden kuzey Marmara için 2–60 cm/1000 yıl gibi hızlar hesaplanabilmektedir. Mudie vd. (2002), Aksu vd (2002)'de sunulan karotlarda polen ve spor çalışması yaparak, 7–46 cm/1000 yıl gibi değerler rapor ederler. Londeix vd. (2009) ise kuzeybatı Marmara için yaklaşık son 4000 yıl için ortalama 40 cm/1000 yıl hızını önermektedir. Kurt ve Yücesoy (2009) İzmit Körfezi içindeki sismik yansıma kesitlerini kullanarak, 30–160 cm/1000 yıl arasında değişen sedimantasyon hızları önermektedir. Görüldüğü gibi Marmara'nın değişik alanlarında ve tortul derinliğine göre, hızlar aşırı derecede çeşitlilik göstermektedir. Bu çalışma kapsamında ise, İzmit karotunun (IZC-01) lokasyonuna en yakın alanda, Kurt ve Yücesoy (2009)'un önerdiği 160 cm/1000 yıllık sedimantasyon hızı kullanılmıştır. Çalışmacılar körfezin içindeki çökel paketini 3 ana sınırla ayırmış ve en üstte bulunan 19 metrelik sediment paketinin (T3) çökelme hızını 160 cm/yıl olarak belirlemişlerdir. İzmit karotunun (IZC-01) 200 cm'lik boyu ile bu sedimantasyon hızı birlikte değerlendirildiğinde, karotun toplam sedimantasyon yaşının ortalama 1250 yıl olduğu kabul edilmiştir. Karadeniz'de yapılan ve doğrudan sedimantasyon hızına yönelik bilimsel çalışmalar, Marmara'ya oranla oldukça kısıtlıdır. Ross (1970), Karadeniz özelinde, kullandığı karotlardan elde ettiği radyokarbon yaş verilerini kullanarak 0–10 cm, 10–30 cm ve > 30cm/1000 yıl şeklinde 3 alanlı genelleştirilmiş bir sedimantasyon hızı haritası verir. Bu haritada kıyı şeridi boyunca hız 30 cm/1000 ve üzeri hızlarla temsil edilmektedir. Sedimantasyon hızının, doğrudan karotlar içinde tespit edilen jeokronolojik yaşlarla ölçülebileceği diğer çalışmalar ise Guichard vd. (1993); Aksu vd. (2002); Lamy vd. (2006) ve Kwiecien vd. (2008)'dir. Bu çalışmalardan Aksu vd (2002)'de güneybatı Karadeniz kıyılarındaki karot ve radyokarbon yaş verileri doğrultusunda hızların 3.5–18 cm/1000 yıl arasında temsil edildiği görülür. Diğer çalışmalarda ise, Santori'nin Minoan

patlamasıyla ilişkili Z-2 tefra seviyesi anahtar düzeyi olarak kullanılmıştır. Bu patlamanın yaşı ~ 3595 GÖ olarak kabul edilmektedir (Hammer vd. 1987; Friedrich vd. 2006). Guichard vd. (1993)'ün, Samsun ve Sinop açıklarındaki karotlarındaki tortul kalınlıklarından, sedimantasyon hızları 15–30 cm/ 1000 yıl olarak ölçülür. Sakarya Deltası'nın açıklarındaki karotların tefra seviyesinin üstündeki tortulların kalınlıkları gözetildiğinde, sedimantasyon hızları Lamy vd. (2006)'de 87–130 cm/1000 yıl, Kwiecien vd. (2008)'de ise 69–118 cm/1000 yıl olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde kullanılan Hopa ve Sürmene karotlarında, bu anahtar tefra seviyesi gözlenmemektedir. Dolayısıyla, karotların boyu oranısında sedimantasyon hızı, Sürmene için 40 cm/1000 yıl, Hopa için 30 cm/1000 yıldan fazla olmak zorundadır. Bununla birlikte Sürmene ve Hopa karotlarının lokasyonlarının Sakarya deltasına benzer şekilde, denizel deltaların üzerinde olduğu gözetilirse, sedimantasyon hızlarının deltalarındaki yüksek tortul girdisine paralel, diğer kıyı açığı enerjisi düşük alanlardan daha hızlı gerçekleşmiş olması sonucu ortaya çıkar. Doğal olarak, Sakarya nehrinin taşıdığı tortul yük ile Sürmene ve Hopa deltalarını besleyen akarsuların toplam yükü arasındaki farktan dolayı, Lamy vd. (2006) ve Kwiecien vd. (2008)'den hesaplanan maksimum sedimantasyon hızlarından daha yavaş bir hızın olma olasılığı kuvvetle muhtemeldir. Bütün bu veriler değerlendirildiğinde, Sürmene karotu için ortalama 70 cm/1000 yıl, Hopa için ise 60 cm/1000 yıl gibi bir sedimantasyon hızı önermek uygun olabilir. Belirlenen bu ortalama hızlara göre, Sürmene karotunun (SC-01, 150 cm) yaklaşık 2150 yıl, Hopa (HC-01, 100 cm) karotunun ise 1650 yıl olduğu hesaplanmaktadır (Şekil 3). Belirlenen bu olası yaşlara göre, karotlardaki ağır metal konsantrasyonlarının azalma eğilimine girdiği seviyeler, Sürmene ve Hopa karotlarında birbirine yakın olarak 20–25 cm derinliğinde ve 330–530 yıl arasında, İzmit karotunda ise 40– 45 cm derinliğinde ve 250–

330 yıl arasında hesaplanmaktadır. Karadeniz karotlarından elde edilen radyometrik yaşlarla, literatürde verilen sedimantasyon hızlarından yola çıkılarak hesaplanan ortalama değerlerin aşırı derecede bir tutarlılık içinde olduğu, İzmit karotu özelinde, Kurt ve Yücesoy (2009)'un önerdiği 160 cm/1000 yıllık sedimantasyon hızının da, bu çalışmada kullanılan karot lokasyonuna çok yakın bir alanda verildiği gözlemlenirse, değişimlerin bariz bir şekilde anomali verdiği seviyeleri olası Antroposen sınırı olarak yorumlamak mümkündür. Sonuç olarak, radyometrik yaş verileri sedimantasyon hızı hesaplamaları ile birleştirildiğinde, bu sınırın, literatürde Antroposen'nin başlangıcı olarak önerilen 3 ana görüşten, Crutzen ve Stoermer (2000), Crutzen (2002), Davis (2011) ve Fischer-Kowalski vd. (2014) gibi çalışmaların önerdiği ve son 200–500 yıl içinde başlamış olduğunu savunan görüşü destekleyen bir sonuca ulaşıldığı görülmektedir. Elbette ki Antroposen'nin başlangıcı bir süre daha jeoloji arenasında bilimsel olarak tartışılacak ve tartışılmalıdır. Fakat hiç şüphesiz yönetsel olarak bu çalışmaya benzer çalışmaların sayısının artması, veri setini zenginleştirilecek ve bu jeolojik fenomenin çözülebilmeye büyük katkı sağlayacaktır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, TÜBİTAK 2009/A destek programı kapsamındaki 1919B011500003 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, inceleme yapılan karotların temini için Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü'nden Prof. Dr. Doğan Yaşar'a, makalenin hakemliğini yapan ve bilimsel değerinin artırılması adına katkılarını sunan Dr. Şehnaz Şener ve ismini açıklamayan diğer hakeme teşekkürü borç bilir. Ayrıca Simge Şahin'e makalenin İngilizce bölümlerinin düzenlenmesi, Dilge Sümer'e araştırmaya sağladığı fondan dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

EXTENDED SUMMARY

Human activities are increasing with each passing day and this increase has affected the environment both negatively and positively but more so negatively. These effects are moving beyond ordinary the human race in nature, put forward them into a globally decisive force outside its functioning, and they make us an actor biologically, chemically and geologically (Crutzen & Stoermer, 2000; Andersson et al. 2005; Crossland et al. 2005; Crutzen, 2006).

Due to the fact that these anthropogenic affects are measurable on observed geological rocks, Crutzen & Stoermer (2000) claimed to leave the geological series Holocene, and should be entered into a new one namely the Anthropocene.

In the scientific literature, the initiation of Anthropocene is represented by 3 main views. The Anthropocene had taken places approximately 3000 to 8000 years ago as a result of early human impacts such as increase of inefficient land use and uncontrolled agricultural activities (Ruddiman, 2003; Certini & Scalenghe, 2011; Ellis, 2011; Wilkinson et al, 2014). However, others claimed that the initiation should had been started between 200 to 500 years ago with the emergence of the observed effects of human race impact into the nature such as industrialization and the use of fossil fuels (Crutzen & Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Davis, 2011; Fischer-Kowalski et al. 2014). And the last one is; it should be in hand in the mid-20th century with global economic growth and associated environmental change, following the end of World War II (Steffen et al. 2007; Wolfe et al. 2014; Zalasiewicz et al. 2015).

Even if presence of anthropogenic pollution in Turkey and even though this had been investigated, the beginning of this pollution or changing of it in geologic time has not been examined methodologically by going through geological layers in ancient times, except for Evans et al. (1989) in Marmara, Atalar et al.

(2013) in Aegean Sea. In this paper, we performed lithological, sedimentological, paleontological and geochemical studies in 3 drilling cores from the Izmit Bay (IZC-01) in the Sea of Marmara, Sürmene (SC-01) and Hopa (HC-01) coasts in the Black Sea. Heavy metals concentration on sedimentary rocks and their changes depending on the depth in core samples were examined for the first time to find the presence and/or beginning of the Anthropocene time. 15 samples from each 3 cores, total 45 samples were analyzed for heavy metals (As, Ba, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti and Zn) concentration in part per million (ppm) denominations. According to the obtained results of geochemical analysis, it indicates that the sediment samples in the Gulf of Izmit core have more heavy metal contamination than Sürmene and Hopa core samples.

PLI (Pollution load index) values are calculated by using the results of As, Ba, Pb, Cr, Ni, and Zn elements, stand out 3.225 for the Gulf of Izmit, 2,195 and 1,706 for Sürmene and Hopa in respectively, which solidifies that Gulf of Izmit is the most polluted one, Sürmene is at a lower pollution and Hopa is the lowest polluted area. When we compare the PLI value of Gulf of Izmit in contrast to findings in the literature from other polluted area in the world, a value above on average level of pollution is seen. In addition, EF values indicate a significant enrichment of the As, Ni and Cr and moderate enrichment of Pb and Zn elements at Izmit Gulf. In locations Hope and Sürmene; As, Ba and Cr elements showing insufficient enrichment and Ni, Pb and Zn was observed a significant enrichment.

Another remarkable fact is that the presence of gypsum crystals in size ranging between 0.5 cm and 1.5 cm in core samples from Gulf of Izmit at Marmara Sea. In addition, the size of the gypsum crystals can be seen in a coarser size younger stratigraphic level top of the core than the bottom side. It is well known in the literature that the forming of gypsum crystals and their triggering

of growth are directly related to air and water pollution (Charola et al. 2007; Török et al. 2007; Gomez-Heras et al. 2008; Marszałek et al. 2014). Considering the size of the gypsum crystals, their stratigraphic positions, and in the light of the data presented in the literature combined with together that the growth of the gypsum crystals in the core Gulf of Izmit have been triggered by an anthropogenic pollution.

Another important observation that trends of heavy metals concentration of elements such as Pb, Zn, Cr and As are going to decrease towards the deepest part of the cores.

Radiocarbon dates obtained from the shells of these reduction levels are measured in Sürmene 420 ± 55 (BP) and Hopa 500 ± 50 (BP). In addition, these common levels that give anomalies of this reduction fixed for each cores and measured ages of these levels have been compared for each ones by using studies in the literature based on the sedimentation rate from similar areas. Consequently, these stunning levels were found for Izmit core 250 to 330 years at 40 – 45 cm, Sürmene and Hopa cores close to each other 330 to 530 years at 20 – 25 cm from the sediment water interface into the deeper part of the cores. As a result we believe that these calculated geological ages supported the beginning of Anthropocene which has been forming within the time period between 200 to 500 years ago which is presented with a theory of Crutzen and Stoermer (2000), Crutzen (2002); Davis (2011) and Fisher-Kowalski et al. (2014). As a matter of course, the initiation of the Anthropocene is still unclear and should be discussed for a while in the scientific arena of geology. However as no doubt, increasing the number of methodically similar studies will enrich the data set, and will provide a significant contribution to solve this geological phenomenon.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Abraham, G. M. S. ve Parker, R. J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 227–238.
- Adamo, P., Arienzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., ve Stanzione, D., 2005. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port. *Chemosphere*, 61(6), 800-809.
- Aksu, A. E., Hiscott, R. N., Kaminski, M. A., Mudie, P. J., Gillespie, H., Abrajano, T. ve Yaşar, D., 2002. Last glacial–Holocene paleoceanography of the Black Sea and Marmara Sea: stable isotopic, foraminiferal and coccolith evidence. *Marine Geology*, 190(1), 119-149.
- Aksu, A. E., Yaşar, D. ve Uslu, O., 1998. Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Heavy metal and organic compound concentrations in surficial sediments. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 22(5), 387-416.
- Andersson, A. J., Mackenzie, F. T. ve Lerman, A., 2005. Coastal ocean and carbonate systems in the high CO₂ world of the Anthropocene. *American Journal of Science*, 305(9), 875-918.
- Aslan-Yılmaz, A., Okuş, E. ve Övez, S., 2004. Bacteriological indicators of anthropogenic impact prior to and during the recovery of water quality in an extremely polluted estuary, Golden Horn, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 49(11), 951-958.
- Atalar, M., Kucuksezgin, F., Duman, M., ve Gonul, L. T., 2013. Heavy metal concentrations in surficial and core sediments from Izmir Bay: an assessment of contamination and comparison against sediment quality benchmarks. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 91(1), 69-75.
- Balkıs, N., Aktan, Y. ve Balkıs, N., 2012. Toxic metal (Pb, Cd and Hg) levels in the nearshore surface sediments from the European and Anotolian Shores of Bosphorus, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 64 (9), 1938-1939.
- Bampton, M., 1999. Anthropogenic transformation. In *Environmental Geology* (pp. 22-27). Springer Netherlands.
- Bermejo, J. S., Beltrán, R. ve Ariza, J. G., 2003. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (Southwest Spain). *Environment International*, 29 (1), 69-77.
- Bhuiyan, M. A., Parvez, L., Islam, M. A., Dampare, S. B. ve Suzuki, S., 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 173 (1), 384-392.
- Birch, G., Siaka, M. ve Owens, C., 2001. The source of anthropogenic heavy metals in fluvial sediments of a rural catchment: Cox's River, Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 126 (1-2), 13-35.
- Buat-Menard, P. Ve Chesselet, R., 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and Planetary Science Letters*, 42 (3), 399-411.
- Certini, G. ve Scalenghe, R., 2011. Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. *The Holocene*, 21, 1269-1274.
- Charola, A. E., Pühringer, J. ve Steiger, M., 2007. Gypsum: a review of its role in the deterioration of building materials. *Environmental Geology*, 52(2), 339-352.
- Crossland, C. J., Kremer, H. H., Lindeboom, H., Crossland, J. I. M. ve Le Tissier, M. D., 2005. Coastal fluxes in the Anthropocene: the land-ocean interactions in the coastal zone project of the International Geosphere-Biosphere Programme. Springer Science & Business Media, Berlin, 232 s.
- Crutzen P. J. ve Stoermer, E. F., 2000. The Anthropocene. *Global Change Newsl.* 41, 17-18.
- Crutzen, P.J., 2002. Geology of mankind. *Nature*, 415, 23.
- Crutzen, P.J., 2006. The “Anthropocene”. Ehlers E. Ve Krafft T. (Eds.), *Earth System Science in the Anthropocene*. Springer Berlin Heidelberg, Heidelberg, 273 s.
- Çağatay, M.N., Saltoğlu, T. ve Gedik, A., 1987. Karadeniz'in güncel çökellerinin jeokimyası. *Geological Engineering*, 30-31, 47-64.
- Davis, R.V., 2011. Inventing the present: historical roots of the Anthropocene. *Earth Science History*, 30, 63-84.
- Demirbağ, E., Rangin, C., Le Pichon, X. ve Celal, A.M.C., 2003. Investigation of the tectonics of

- the Main Marmara Fault by means of deep-towed seismic data. *Tectonophysics*, 361, 1-19.
- Eichler, A., Tobler, L., Eyrikh, S., Malygina, N., Papina, T. ve Schwikowski, M., 2014. Ice-core based assessment of historical anthropogenic heavy metal (Cd, Cu, Sb, Zn) emissions in the Soviet Union. *Environmental science ve technology*, 48(5), 2635-2642.
- Ellis, E. C. ve Ramankutty, N., 2008. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(8), 439-447.
- Ellis, E. C., 2011. Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369 (1938), 1010-1035.
- Ergin, M., Bodur, M. N., Yıldız, M., Ediger, D., Ediger, V., Yemenicioğlu, S. ve Yücesoy, F., 1994. Sedimentation rates in the sea of Marmara: a comparison of results based on organic carbon-primary productivity and ²¹⁰Pb dating. *Continental Shelf Research*, 14(12), 1371-1387.
- Ergin, M., Saydam, C., Baştürk, Ö., Erdem, E. ve Yörük, R., 1991. Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and Izmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara. *Chemical Geology*, 91(3), 269-285.
- Essien, J. P., Antai, S. P. ve Olajire, A.A., 2009. Distribution, seasonal variations and ecotoxicological significance of heavy metals in sediments of cross river estuary mangrove swamp. *Water, Air, and Soil Pollution*, 197(1-4), 91-105.
- Evans, G., Erten, H., Alavi, S. N., Von Gunten, H. R. ve Ergin, M., 1989. Superficial deep-water sediments of the eastern Marmara basin. *Geo-marine Letters*, 9(1), 27-36.
- Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F. ve Pallua, I., 2014. A sociometabolic reading of the Anthropocene: Modes of subsistence, population size and human impact on Earth. *The Anthropocene Review*, 1, 8-33.
- Friedrich, W.L., Kromer, B., Friedrich, M., Heinemeier, J., Pfeiffer, T. ve Talamo, S., 2006. Santorini Eruption Radiocarbon Dated to 1627–1600 B.C. *Science*, 312, 548.
- Galuszka, A., Migaszewski, Z. M. ve Zalasiewicz, J., 2014. Assessing the Anthropocene with geochemical methods. *Geological Society, London, Special Publications*, 395(1), 221-238.
- Gomez-Heras, M., Smith, B. J. ve Viles, H. A., 2008. Laboratory modelling of gypsum crust growth on limestone related to soot pollution and gaseous sulphur: implications of 'cleaner' environments for stone decay. In Lukaszewicz, J.W., Niemcewicz, P. (Editors), 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (2 volumes). *Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikolaja Kopernika, Torun*. pp. 105-112
- Gökmen, A., Yıldız, M., Erten, H. N. ve Salihoğlu, İ., 1996. Dating the Sea of Marmara sediments by a uniform mixing model. *Journal of Environmental Radioactivity*, 33(1), 91-104
- Guichard, F., Carey, S., Arthur, M.A., Sigurdsson, H., Arnold, M., 1993. Tephra from the Minoan eruption of Santorini in sediments of the Black Sea. *Nature*, 363, 610-612.
- Güler, C., Kurt, M. A., Alpaslan M. ve Akbulut, C., 2012. Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414, 435-451.
- Gürbüz, A. ve Gürer, Ö.F., 2008. Anthropogenic affects on lake sedimentation process: a case study from Lake Sapanca, NW Turkey. *Environmental Geology*, 56(2), 299-307.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975–1001.
- Hall, K.J., 2002. Bathymetric compilations of the seas around Israel I: the Caspian and Black seas. *Geological Survey of Israel Current Research*, 13, 105-108.
- Halstead, M. J., Cunninghame, R. G. ve Hunter, K. A., 2000. Wet deposition of trace metals to a remote site in Fiordland, New Zealand. *Atmospheric Environment*, 34(4), 665-676.
- Hammer, C.U., Clausen, H.B., Friedrich, W.L. ve Tauber, H., 1987. The Minoan eruption of Santorini in Greece dated to 1864 BC? *Nature*, 328, 517-519.

- Huerta-Diaz, M. A., Delgadillo-Hinojosa, F., Hernández-Ayón, M., Segovia-Zavala, J. A., García-Esquivel, Z., López-Zárate, H., Siqueiros-Valencia, A. ve Galindo-Bect, S., 2008. Diagnosis of trace metal contamination in sediments: the example of Ensenada and El Sauzal, two harbors in Baja California, Mexico. *Marine Environmental Research*, 66(3), 345-358.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., 2003. Metallerin çevresel etkileri-I. *Metallurji Dergisi*, 136, 47-53.
- Kaska, Y., Başkale, E., Urhan, R., Katılmış, Y., Gidiş, M., Sarı, F., Sözbilen, D., Canbolat, A.F., Yılmaz, F., Barlas, M., Özdemir, N. ve Özkul, M., 2010. Natural and anthropogenic factors affecting the nest-site selection of Loggerhead Turtles, *Caretta caretta*, on Dalaman-Sarıgerme beach in South-west Turkey: (Reptilia: Cheloniidae). *Zoology in the Middle East*, 50(1), 47-58.
- Koreneva, E.V., 1971. Spores and pollen in Mediterranean bottom sediments. In: Funnell, B.M., Riedel, W.R. (Eds.), *The Micropaleontology of the Oceans*. Cambridge University Press, Cambridge, 828 s.
- Kurt, H. ve Yücesoy, E., 2009. Submarine structures in the Gulf of İzmit, based on multichannel seismic reflection and multibeam bathymetry. *Marine Geophysical Researches*, 30(2), 73-84.
- Kwiecien, O., Arz, H.W., Lamy, F., Wulf, S., Bahr, A., Röhl, U. ve Haug, G.H., 2008. Estimated reservoir ages of the Black Sea since the last glacial. *Radiocarbon*, 50, 99-118.
- Lamy, F., Arz, H.W., Bond, G., Bahr, A. ve Pätzold, J., 2006. Multicentennial-scale hydrological changes in the Black Sea and northern Red Sea during the Holocene and the Arctic/North Atlantic Oscillation. *Paleoceanography*, 21, PA1008.
- Londeix, L., Herreyre, Y., Turon, J. L. ve Fletcher, W., 2009. Last Glacial to Holocene hydrology of the Marmara Sea inferred from a dinoflagellate cyst record. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 158(1), 52-71.
- Loska, K. ve Wiechula, D., 2003. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. *Chemosphere*, 51(8), 723-733.
- Marsh, G.P., 1865. *Man and nature, physical geography as modified by human action*. Charles Scribner, New York, 593 s.
- Marszałek, M., Alexandrowicz, Z. ve Rzepa, G., 2014. Composition of weathering crusts on sandstones from natural outcrops and architectonic elements in an urban environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(24), 14023-14036.
- McHugh, C. M., Gurung, D., Giosan, L., Ryan, W. B., Mart, Y., Sancar, U., Burckle, L. ve Cagatay, M. N., 2008. The last reconnection of the Marmara Sea (Turkey) to the World Ocean: a paleoceanographic and paleoclimatic perspective. *Marine Geology*, 255(1), 64-82.
- MGDS (Marine Geoscience Data System), 2016. <http://www.marine-geo.org>, 01 April 2016.
- Mohiuddin, K. M., Zakir, H. M., Otomo, K., Sharmin, S. ve Shikazono, N., 2010. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science ve Technology*, 7(1), 17-28.
- Moore, F., Attar, A. ve Rastmanesh, F., 2011. Anthropogenic sources of heavy metals in deposited sediments from runoff and industrial effluents, Shiraz, SW Iran. *International Proceedings of Chemical, Biological ve Environmental Engineering*, 6, 215-219.
- Morillo, J., Usero, J., ve Gracia, I., 2002. Heavy metal fractionation in sediments from the Tinto River (Spain). *International Journal of Environmental & Analytical Chemistry*, 82(4), 245-257.
- Mudie, P. J., Rochon, A. ve Aksu, A. E., 2002. Pollen stratigraphy of Late Quaternary cores from Marmara Sea: land-sea correlation and paleoclimatic history. *Marine Geology*, 190(1), 233-260.
- Mudie, P. J., Rochon, A., ve Aksu, A. E., 2002. Pollen stratigraphy of Late Quaternary cores from Marmara Sea: land-sea correlation and paleoclimatic history. *Marine Geology*, 190(1), 233-260.
- Ongbu, J.A. ve Kokogbo, M.A., 1993. Determination of Zn, Pb, Cu and Hg in soils of Ekpan, Nigeria. *Environ Int*, 19, 611-612.

- Owen, R. B. ve Sandhu, N., 2000. Heavy metal accumulation and anthropogenic impacts on Tolo Harbour, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 40(2), 174-180.
- Palanques, A. ve Diaz, J. I., 1994. Anthropogenic heavy metal pollution in the sediments of the Barcelona continental shelf (Northwestern Mediterranean). *Marine Environmental Research*, 38(1), 17-31.
- Ramsey, C. B., ve Lee, S., 2013. Recent and planned developments of the program OXCAL. *Radiocarbon*, 55, 720-730.
- Rashed, M.N., 2010. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1), 739-746.
- Ray, A.K., Tripathy, S.C., Patra, S. ve Sarma, V.V., 2006. Assessment of Godavari estuarine mangrove ecosystem through trace metal studies. *Environment International*, 32(2), 219-223.
- Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55(4):1869-1887.
- Riemann, L., Steward, G. F., ve Azam, F., 2000. Dynamics of bacterial community composition and activity during a mesocosm diatom bloom. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(2), 578-587.
- Ross, D.A., 1970. Black Sea: Recent Sedimentary History. *Science*, 170 (3954), 163-165.
- Ruddiman, W.F., 2003. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change*, 61(3), 261-293.
- Sağlam, N. ve Cihangir, N., 1995. Ağır metallerin biyolojik süreçlerle biyosorbisyonu çalışmaları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(11).
- Schiff, K. C. ve Weisberg, S. B., 1999. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in southern California coastal shelf sediments. *Marine Environmental Research*, 48(2), 161-176.
- Skripkin, V. V. ve Kovaliukh, N. N., 1998. Recent developments in the procedures used at the SSCER laboratory for the routine preparation of lithium carbide. *Radiocarbon*, 40(1), 211-214.
- Spencer, K. L., Cundy, A. B., ve Croudace, I. W., 2003. Heavy metal distribution and early-diagenesis in salt marsh sediments from the Medway Estuary, Kent, UK. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 43-54,
- Stanley, D. J. ve Blanpied, C., 1980. Late Quaternary water exchange between the eastern Mediterranean and the Black Sea. *Nature*, 285, 537-541.
- Steffen, W., Crutzen, P. J. ve McNeill, J. R., 2007. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(8), 614-621.
- Sutherland, B. R., 2000. Internal wave reflection in uniform shear. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126(570), 3255-3286.
- Szefer, P., Kusak, A., Szefer, K., Glasby, G. P., Jankowska, H., Wołowicz, M. ve Ali, A. A. 1998. Evaluation of the anthropogenic influx of metallic pollutants into Puck Bay (southern Baltic). *Applied Geochemistry*, 13, 293-304.
- Şener, Ş., Davraz, A. ve Karagüzel, R., 2013. Evaluating the anthropogenic and geologic impacts on water quality of the Eğirdir Lake, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 70(6), 2527-2544.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R. ve Jeffrey, D. W., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33(1-4), 566-575.
- Török, Á., Siegesmund, S., Müller, C., Hüpers, A., Hoppert, M. ve Weiss, T. 2007. Differences in texture, physical properties and microbiology of weathering crust and host rock: a case study of the porous limestone of Budapest (Hungary). *Geological Society, London, Special Publications*, 271(1), 261-276.
- Turekian, K. K. ve Wedepohl, K. H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2), 175-192.

- Valdés, J., Vargas, G., Sifeddine, A., Ortlieb, L., ve Guinez, M., 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°S), Northern Chile: geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 50(12), 1558-1568.
- Van Driessche, A. E. S., García-Ruíz, J. M., Tsukamoto, K., Patiño-Lopez, L. D. ve Satoh, H., 2011. Ultraslow growth rates of giant gypsum crystals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(38), 15721-15726.
- Waters, C. N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Poirier, C., Gałuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Richter, D.D., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Wapreisch, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N. ve Wolfe, A.P., 2016. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 351(6269), aad2622,1-10.
- Wilkinson, I. P., Poirier, C., Head, M. J., Sayer, C. D. ve Tibby, J., 2014. Microbiotic signatures of the Anthropocene in marginal marine and freshwater palaeoenvironments. *Geological Society, London, Special Publications*, 395(1), 185-219.
- Wolfe, A. P., Hobbs, W. O., Birks, H. H., Briner, J. P., Holmgren, S. U., Ingólfsson, Ó., Kaushal, S.S., Miller, G.H., Pagani, M., Saros, J.E. ve Vinebrooke, R. D., 2013. Stratigraphic expressions of the Holocene–Anthropocene transition revealed in sediments from remote lakes. *Earth-Science Reviews*, 116, 17-34.
- Yang, K., Nam, T., Nam, K. ve Kim, Y. J., 2016. Characteristics of heavy metal contamination by anthropogenic sources in artificial lakes of urban environment. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(1), 121-128.
- Yaşar, D., Aksu, A. E. ve Uslu, O., 2001. Anthropogenic pollution in Izmit Bay: heavy metal concentrations in surface sediments. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25(4), 299-313.
- Yatkin, S. ve Bayram, A., 2008. Determination of major natural and anthropogenic source profiles for particulate matter and trace elements in Izmir, Turkey. *Chemosphere*, 71(4), 685-696.
- Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Williams, M., Barnosky, A. D., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, E., Ellis, A. M., Fairchild, J.I., Grinevald J., Haff, K.P., Hajdas, I., Leinfelder, R., McNeill, J., Odada, E.O., Poirier, C., Richter D., Steffen, W., Summerhayes, C., Syvitski, P.M.J., Vidas, D., Wapreisch, M., Wing, S.L., Wolfe, S.L.A., Zhisheng, A. ve Oreskes, N., 2015. When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International*, 383, 196-203.
- Zhang, C., Qiao, Q., Piper, J. D. ve Huang, B., 2011. Assessment of heavy metal pollution from a Fe-smelting plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods. *Environmental Pollution*, 159(10), 3057-3070.



Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzeysel Deformasyonlarının Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi
Geologic, Geomorphologic and Geodetic Analyses of Surface Deformations Observed in Bolvadin (Afyon-Akşehir Graben, Afyon)

**Çağlar Özkaymak^{1,2*}, Hasan Sözbilir^{3,4},
İbrahim Tiryakioğlu^{5,2}, Tamer Baybura⁵**

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyon
² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi, 03200 Afyon
³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35160 İzmir
⁴ Dokuz Eylül Üniversitesi, Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, 35160 İzmir
⁵ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyon

Geliş/Received : 22.08.2016 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 03.10.2016 • Kabul/Accepted : 10.10.2016 • Baskı/Printed : 01.04.2017
Araştırma Makalesi/Research Article *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

Öz: Batı Anadolu Genişleme Bölgesinde, son 10-20 yılda yıkıcı deprem olmaksızın oluşmuş ve oluşmaya devam eden yüzeysel deformasyonlarının belirgin örneklerinden biri, KB-GD uzanımlı Afyon-Akşehir Grabeni içerisinde yer alan Bolvadin yerleşim alanında gözlenmektedir. Bu alanda, bir kısmı imar planı içerisinde kalan bölge ile şehrin güneybatı kısmından başlayarak kuzeydoğu istikametine doğru yer alan bölgelerde, son 4 yıldan itibaren daha önceden olmayan bazı deformasyonlar oluşmuş ve oluşmaya devam etmektedir. Bölgede yapılan çalışmalarda, yıkıcı deprem olmaksızın, uzunlukları 300 metre ile 2 km; doğrultuları ise K15°D ile K70°D arasında değişen hareketler ve yarılmalarda gelişen kademeli yüzeysel deformasyonları haritalanmıştır. Yerleşim alanı içerisinde haritalanan yüzeysel deformasyonlarının en kuzeyde olanı Bolvadin Fayı'nın güneybatıdaki devamı niteliğindedir. Yapılan jeolojik ve jeomorfolojik analizler yüzeysel faylanmaları boyunca, güneydoğuda yer alan bloğun 10-40 cm arasında düştüğüne işaret etmektedir. Yapılan jeodezik analizler bölgedeki son dört yıllık düşey yerdeğiştirme hızının 7,1 cm/yıl olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, Bolvadin Fayı boyunca gelişen yüzeysel deformasyonlarının önemli bir nedeninin, yeraltı su seviyesi düşüşüyle ilgili olduğunu göstermektedir. Söz konusu yüzeysel deformasyonlarının oluşumuna, bölge tektoniğinin katkısını ortaya koymak için hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: aktif tektonik, aseismic yüzeysel deformasyonu, Batı Anadolu, Bolvadin.

Abstract: One of the prominent examples of the surface deformations that have been formed without destructive earthquake failure since last 10-20 years in the west Anatolian extensional province, observed in Bolvadin settlement area located at the middle part of the Afyon-Akşehir Graben. In this area, some linear surface deformations that starts on the southwestern side of the town and can be followed until the northwestern side have been observed since last 4 years. During the field studies in Bolvadin area, progressive surface deformations such as surface faults and earth fissures whose length varies between 300 meters and 2 kilometers and strike varies between N15°E and N70°E are mapped. The northernmost one of the surface deformations mapped in settlement area of Bolvadin have the characteristics of the southwestern continuation of Bolvadin Fault. Besides this, geologic and morphological analysis indicate that the southeastern block is a down-dropped block and vertical displacements along the deformation zone are varies between 10-40 cm. According to geodesic data, measured rates of vertical offset in the Bolvadin is 7.1 cm/year. In order to find out the effect of active tectonism on formation of surface deformations, further trench based palaeosismological studies are necessary.

Key Words: Active tectonics, aseismic surface deformations, Bolvadin, western Anatolia.

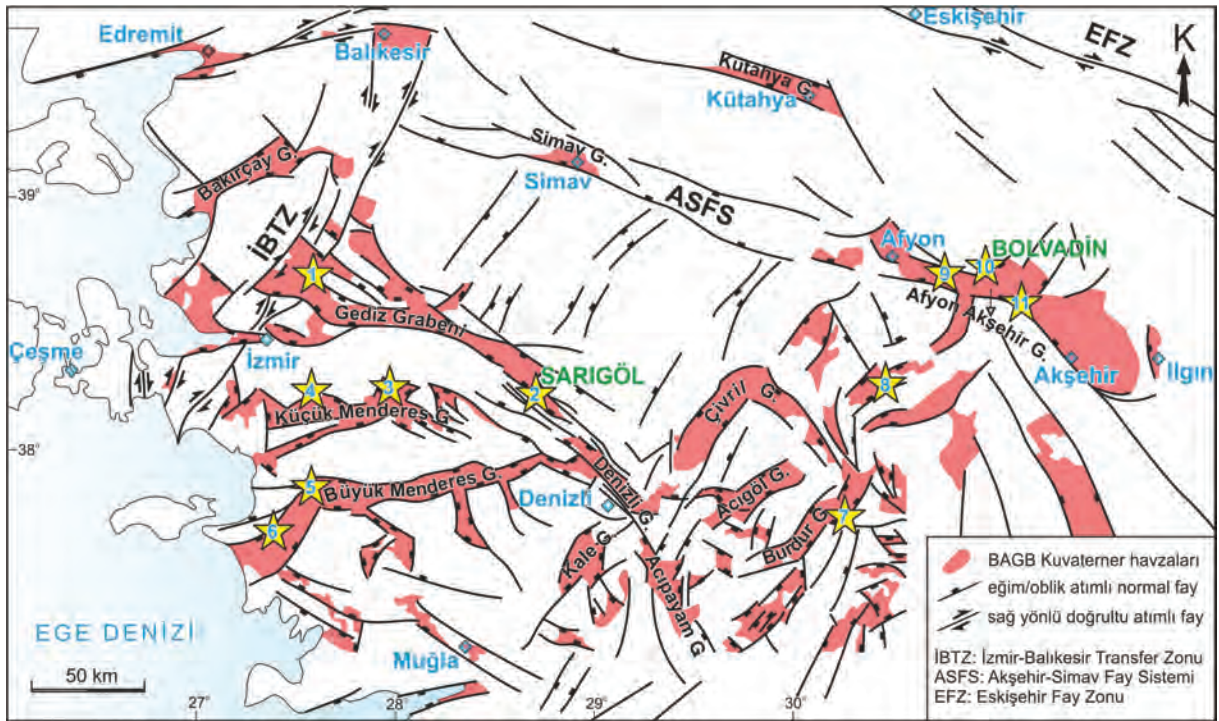
GİRİŞ

Asismik yüzey deformasyonları (AYD), genellikle insan aktiviteleri sonucu yeraltı su seviyesinin düşmesi sonucu yüzey altındaki konsolide olmayan sedimanların sıkışmasına bağlı olarak gelişen oturma ilişkili deformasyonlar olarak tanımlanır (Holzer, 1984; Pewe, 1990; Koca vd. 2011; Hernández-Madrigal vd. 2014). Yüzey yarıkları ve/veya yüzey faylanması şeklinde gelişen bu deformasyonlar özellikle yerleşim alanlarında, su/doğalgaz boruları, kanalizasyon sistemleri, gömülü boru hatları gibi yüzey altında, ve binalar, duvarlar, su kanalları, karayolu, demiryolu gibi yüzeyde yer alan insan yapımı kültürel eserler ve tesislere ciddi hasarlar vermektedir. Gelişen bu yüzey yarıkları genişleme gerilmesi ile ilişkilidir ve yarık düzlemine dik yönlü açılma geometrisine sahiptirler. Yeraltı su seviyesinin düşmesine bağlı olarak gelişen yüzey faylanmaları ise, o bölgede daha önceden varolan faylar boyunca meydana gelirler (Van Siclen, 1967; Holzer, 1980). AYD meydana gelen bölgelerde yapılan bazı hidrojeolojik çalışmalar, bölgede yer alan fayların yeraltı suları için bir bariyer niteliğinde olduğu; özellikle normal fayların her iki bloğundaki su seviyelerinin fayın ayırdığı bloklarda değişiklik gösterdiği saptanmıştır (Holzer, 1978, Pankratz vd. 1978; Koca vd. 2011). Benzer şekilde genellikle fayların her iki bloğundaki oturmaları denetleyen kayaç litolojisi aynı değildir ve bu alanlarda farklı yaşa/dayanıma sahip kayaç topluluklarının tektonik olarak yanyana gelmesi beklenir.

Aktif grabenler boyunca konsolide olmamış, genç alüvyal, fluvial, gölsel çökellerin ve bu çökelleri denetleyen aktif normal fayların baskın olduğu Batı Anadolu Genişleme Bölgesi (BAGB), AYD gelişimi bakımından dünyanın en uygun alanlarından birisidir. BAGB içerisinde yer alan, Karaağaçlı-Yeniköy, Sarıgöl-Manisa (Gediz Grabeni), Ödemiş, Bayındır-İzmir (Küçük Menderes Grabeni), Germencik, Söke-Aydın

(Büyük Menderes Grabeni), Yassıgüme-Burdur (Burdur Grabeni), Kınık-Dinar-Afyon (Gülovası Grabeni), Eber, Deresinek, Çobanlar ve Bolvadin-Afyon (Afyon-Akşehir Grabeni) bölgelerinde son 20 yıldır yıkıcı deprem olmaksızın gelişen yüzey deformasyonlarının varlığı rapor edilmiştir (Şekil 1) (Gürsoy vd. 1997; Demirtaş vd. 2008a; Koca vd. 2011; Özkaymak vd. 2014 ve 2015). Bu alanlardan birisi olan Sarıgöl (Manisa) yerleşim alanı, 1969 depreminin (M:6.8) yüzey kırığı oluşturduğu Gediz Grabeni'nin güneydoğu ucunda, grabenin güney kenar faylarından birisi olan Sarıgöl Fayı üzerinde yer alır (Şekil 1). Bu fay boyunca gözlenen güncel yüzey deformasyonlarının nedenleri, Koca vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada jeolojik haritalama, morfometrik ölçümler, karotlu zemin sondajı, konsolidasyon deneyleri gibi yöntemler kullanılarak detaylı olarak yorumlanmıştır. Batı Anadolu'da gözlenen asismik yüzey deformasyonlarının en güncel örnekleri, kuzeybatı-güneydoğu gidişli çok sayıda aktif normal fay segmentlerinden oluşan Akşehir-Simav Fay Sistemi'nin (ASFS) güneydoğu devamında yer alan Afyon-Akşehir Grabeni içerisinde gözlenmektedir. Bu alan, BAGB'nin en önemli sismojenik kuşaklardan birisidir. Grabenin kuzey kenar faylarından birisi olan Bolvadin Fayı boyunca meydana gelen güncel yüzey deformasyonları, aynı zamanda graben içerisinde meydana gelen en son yıkıcı ve yüzey kırığı oluşturan depremlerin episantırlarının (03 Şubat 2002 Çay Depremleri, Mw: 6.3 ve 6.0) hemen kuzeyinde yer alır.

Bu çalışma, Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) gözlenen asismik yüzey deformasyonlarının haritalanması, jeolojik, jeomorfolojik ve jeodezik yöntemler kullanılarak analiz edilmesini ve Sarıgöl'de (Gediz Grabeni, Manisa) gözlenen yüzey deformasyonları ile oluşum ve kökensel açıdan karşılaştırılmasını konu almaktadır.



Şekil 1. Batı Anadolu Genişleme Bölgesi'nin (BAGB) ana neotektonik yapılarını ve aktif havzalarını gösteren basitleştirilmiş harita (Kaymakçı, 2006, Emre vd. 2011; Özkaymak vd. 2013 ve Özkaymak, 2015'den düzenlenmiştir). Sarı dolgulu yıldızlar, BAGB içerisindeki Asismik Yüzey Deformasyonları (AYD) lokasyonlarını göstermektedir; 1: Karaağaçlı-Yeniköy, 2: Sarıgöl-Manisa (Gediz Grabeni), 3: Ödemiş, 4: Bayındır-İzmir (Küçük Menderes Grabeni), 5: Germencik, 6: Söke-Aydın (Büyük Menderes Grabeni), 7: Yassıgüme-Burdur (Burdur Grabeni), 8: Kınık-Dinar-Afyon (Gül Ovası Grabeni), 9: Çobanlar, Eber-Deresinek, ve Bolvadin-Afyon (Afyon-Akşehir Grabeni (AAG)).

Figure 1. Simplified neotectonic map showing the major active basins in West Anatolian Extensional Province (WAEP) (compiled from Kaymakçı, 2006, Emre et al., 2011; Özkaymak et al. 2013 and Özkaymak, 2015). Yellow filled stars show the locations of aseismic surface deformations in WAEP; 1.Karaağaçlı-Yeniköy, 2. Sarıgöl-Manisa (Gediz Graben); 3. Ödemiş, 4. Bayındır-İzmir (Küçük Menderes Graben); 5. Germencik, 6. Söke-Aydın (Büyük Menderes Graben); 7. Yassıgüme-Burdur (Burdur Graben); 8. Kınık-Dinar-Afyon (Gül Ovası Graben), 9. Çobanlar, Eber-Deresinek, and Bolvadin-Afyon (Afyon-Akşehir Graben (AAG)).

AFYON-AKŞEHİR GRABENİ

ASFS'nin güneydoğu kesiminde yer alan Afyon-Akşehir grabeni (AAG), kuzeydoğuda yer alan Orta Anadolu ile güneybatıda yer alan Isparta açısını (Blumenthal, 1963) birbirinden ayıran, yaklaşık 4-20 km genişliğinde, 130 km uzunluğunda olan, KB-GD uzanımlı, aktif olarak büyüyen bir kıtasal rift alanıdır (Koçyiğit, 1984, Koçyiğit vd. 2000; Koçyiğit ve Özacar, 2003). AAG'ni kuzeyden ve güneyden sınırlayan faylar

tipik olarak Pliyo-Kuvaterner öncesi yaşlı temel kayalar ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı modern havza dolgusu arasındaki yapısal dokanağı temsil ederler (Şekil 2). Grabenin kenar fayları, 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritasında diri fay sınıfında değerlendirilmiştir (Emre vd. 2011). Afyon yerleşim alanı doğusunda, kuzey sınır faylarından birisi olan Çobanlar Fay Zonu (ÇFZ) yaklaşık 30 km uzunluğundadır. Batıda Akcın doğusundan başlar ve Çavdarlı, Çobanlar Hamidiye üzerinden Bolvadin batısına kadar

BKB-DGD doğrultusu boyunca izlenebilir. Fayın gidişi özellikle Akçın ile Çobanlar arasında çizgiseldir (Şekil 2). Zon boyunca çok sayıda iyi korunmuş fay düzlemleri zonun eğim atımlı normal karakterine ait izler taşır. Afyon Akşehir Grabeni'ni güneyden sınırlayan Işıklar Fay Zonu (IsfZ) ise genel olarak BKB-DGD uzanımlı olup K-KKD'ya eğimli birbirine paralel/yarıparalel ve grabene doğru basamaklı bir geometri oluşturan fay kollarından oluşur (Şekil 2). Batıda Afyonkarahisar yerleşim alanı güneyinde yeralan Büyük Kalecik'ten başlayarak doğuya doğru Halimoru, Nuribey üzerinden Işıklara doğru ilerleyen ve doğuda Gözsüzlü ve Heybeli kaplıcasına kadar yaklaşık 35 km boyunca takip edilen normal/oblik atımlı fay kollarından oluşur.

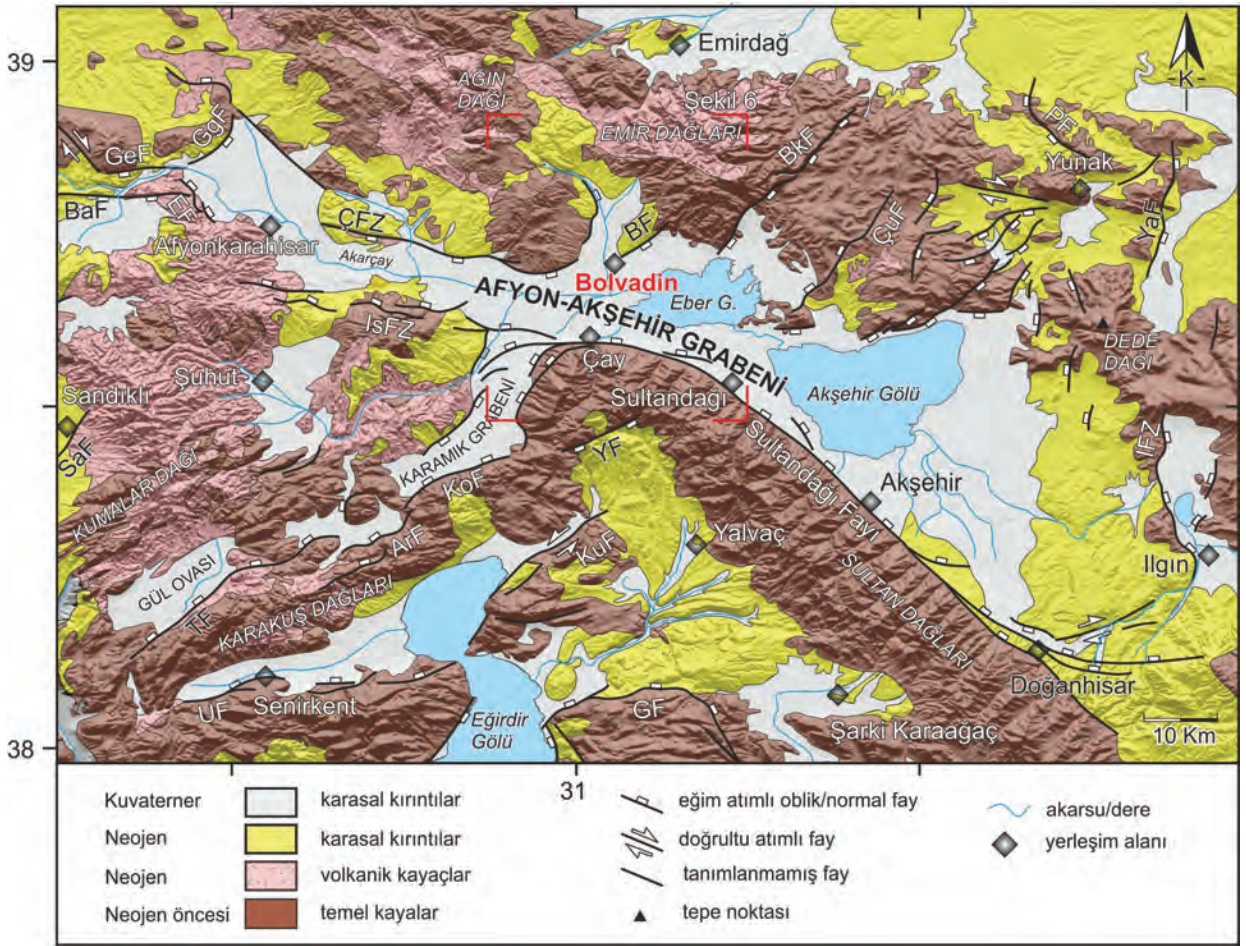
Afyon Akşehir Grabeni'nin Karamık Grabeni ile çakıştığı alandan itibaren daha doğuda yeralan Sultandağı Fayı baskın olarak Neojen öncesi metamorfik kayalar ile genç alüvyal kolüvyal ve flüvyal çökeller arasındaki keskin sınırı oluşturur (Şekil 2). Sultandağı Fayı yaklaşık 90 km uzunluğunda eğim atımlı normal faydır. Batıda Çay ile doğuda Doğanhisar arasında çizgisel bir gidiş sunan morfolojik olarak belirgin sarpıklar boyunca takip edilebilir, dağ önü boyunca iyi gelişmiş alüvyal yelpazeler tipiktir. Grabenin kuzeydoğusunda yer alan kuzey kenar fayları, en-eşelon dizilimlidirler ve batıdan doğuya doğru Bolvadin Fayı (BF), Büyük Karadağ Fayı (BkF), Çukurcak Fayı (ÇuF) gibi KD-GB uzanımlı eğim atımlı normal faylar ile temsil edilirler.

Afyon-Akşehir Grabeni ve çevresinde yüzlek veren kayalar başlıca üç grup altında toplanmaktadır; (1) Neojen öncesi Afyon Zonu, (2) Neojen birimleri ve (3) Pliyo-Kuvaterner yaşlı modern graben dolgusu (Şekil 2 ve 3). Afyon Zonu, kuzeyindeki Tavşanlı Mavişist Zonu, güneyindeki Menderes Masifi ve Likya Naplarına ait kayalar, batıda ise Bornova Filiş

Zonuna ait kayalar ile tektonik olarak sınırlanır (Okay ve Tüysüz, 1999; Bozkurt ve Oberhanslı, 2001). Afyon Zonu kayaları başlıca, Jura öncesi (Silüriyen-Geç Triyas zaman aralığı) oluşmuş düşük dereceli metamorfitle, Jura-Erken Kretase yaşlı platform karbonatları, Kretase yaşlı bazik-ultrabazik tektonik kaya dilimleri (başlıca peridotit, serpantin, gabro), Geç Kretase yaşlı ofiyolitik karışık (melanj), Eosen yaşlı filiş ile volkanitler ve Oligosen yaşlı orojenik molas (sığsu ve akarsu ortamında oluşmuş kalın sedimanter istif) ile temsil edilir (Okay vd. 1996).

Afyon Akşehir Grabeni çevresinde yüzlek veren Neojen yaşlı birimler, genel olarak, kalınlıkları 0,5-2 km arasında değişen iki istif ile temsil edilir; (1) Akarsu ve göl ortamlarında oluşmuş, yer yer ekonomik düzeyde kömür içeren sedimanter bir istif, (2) Alt ve orta düzeylerde kalk-alkali üste doğru egemen olarak alkali özellikler taşıyan volkanitlerdir (Şekil 2 ve 3) (Afyon Volkanitleri) (Çevikbaş vd. 1988; Aydar vd. 2003; Kibici vd., 2012). Neojen istifi, en altta yaşlı temel kayalardan türemiş çok tane bileşenli ve kötü boylanmalı bir taban çakıltaşı ile başlar ve yukarıya doğru kumtaşı, çamurtaşı-kıltaşı-marn ve ilk volkanizmanın verisi olan tuf ve kömür aradüzeyleriyle devam eder. Bu taban istifi daha üste doğru yer yer derin gölsel sedimanlara (organik maddece zengin şeyl ve gölsel kireçtaşı ardaşımı) geçiş gösterir, yer yer de kalın bir volkanik kayac topluluğu tarafından uyumlu olarak örtülür. Her iki istif birbirleriyle yanal-düşey geçişli dokanak ilişkisi sunar (Şekil 3).

Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı istif ise, modern graben dolgusu birimleri ile temsil edilir. İstif iki ana fasiyesten oluşur; (1) İri taneli kenar fasiyesi (Alüvyal yelpaze, kolüvyal sedimanlar/yamaç döküntüleri) (2) İnce taneli graben ortası fasiyesi (Alüvyal yelpazelerin uç kesimleri ve Akarsu tortulları) (Şekil 2 ve 3).



Şekil 2. Afyon-Akşehir Grabeni ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Emre vd. 2011 ve Turan, 2002'den düzenlenmiştir). Kısaltmalar: BaF: Balmahmut Fayı; GgF: Gazlıgöl Fayı; EF: Erkmek Fayı; ÇFZ: Çobanlar Fay Zonu; IsFZ: Işıklar Fay Zonu; BF: Bolvadin Fayı; BkF: Büyük Karabağ Fayı; ÇuF: Çukurcak Fayı; PF: Piribeyli Fayı; YaF: Yavaşlı Fayı; IFZ: Ilgın Fay Zonu; YF: Yarıkkaya Fayı; KuF: Kumdanlı Fayı; GeF: Gecek Fayı; GF: Gelendost Fayı; KoF: Koçbeyli Fayı; ArF: Arızlı Fayı; UF: Uluborlu Fayı; TF: Tatarlı Fayı; SaF: Sandıklı Fayı.

Figure 2. Simplified Geologic map showing the Afyon-Akşehir Graben and nearby area (compiled from Emre et al. 2011 and Turan, 2002). Abbreviations: BaF: Balmahmut Fault; GgF: Gazlıgöl Fault; EF: Erkmek Fault; ÇFZ: Çobanlar Fault Zone; IsFZ: Işıklar Fault Zone; BF: Bolvadin Fault; BkF: Büyük Karabağ Fault; ÇuF: Çukurcak Fault; PF: Piribeyli Fault; YaF: Yavaşlı Fault; IFZ: Ilgın Fault Zone; YF: Yarıkkaya Fault; KuF: Kumdanlı Fault; GeF: Gecek Fault; GF: Gelendost Fault; KoF: Koçbeyli Fault; ArF: Arızlı Fault; UF: Uluborlu Fault; TF: Tatarlı Fault; SaF: Sandıklı Fault.

Zaman	Sistem	Seri	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	PLIYO-KUVATERNER	PLIYOSEN		Kaba taneli kenar fasiyesi; kötü boylanmalı, kumlu çamurlu kaba çakıl-bloklardan yapıllı alüvyal yelpaze, kolüvyal çökeller ve yamaç döküntüleri. İnce taneli graben ortası fasiyesi; çapraz katmanlı kırmızı çamurlu, yer yer çakıllı kum ve killerden yapıllı alüvyal yelpazelerin uç kesimleri ve akarsu çökelleri <i>uyumsuzluk</i>
				Polijenik çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve kilttaşlarından yapıllı karasal kırıntılar <i>uyumsuzluk</i>
				Beyaz, sarımsı beyaz renkli, yer yer silisli, gastropod fosilli, orta-kalın tabakalı gölsel kireçtaşları
				Afyon Volkanitleri Trakit, andezit, trakiandezit bileşimli lav ve piroklastik çökeller
				Kumtaşı, kiltası, çamurtaşı, killi kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşan gölsel çökeller
				Andezit, trakiandezit bileşimli lav ve piroklastik çökeller
				Kumtaşı, çamurtaşı-kiltası, kömürlü-organik malzemece zengin şeyl
				Polijenik, kötü boylanmalı taban çakıltaşları <i>uyumsuzluk</i>
				Afyon Zonu Temel Kayaları Mikaşist, gnays ve başlıca serpantin, peridotit, gabro içeren bazik-ultrabazik tektonik kaya dilimleri, ofiyolitik melanj, masif mermer karbonatlar ve metakırntılar
				PALEOZOYİK-MESOZOYİK

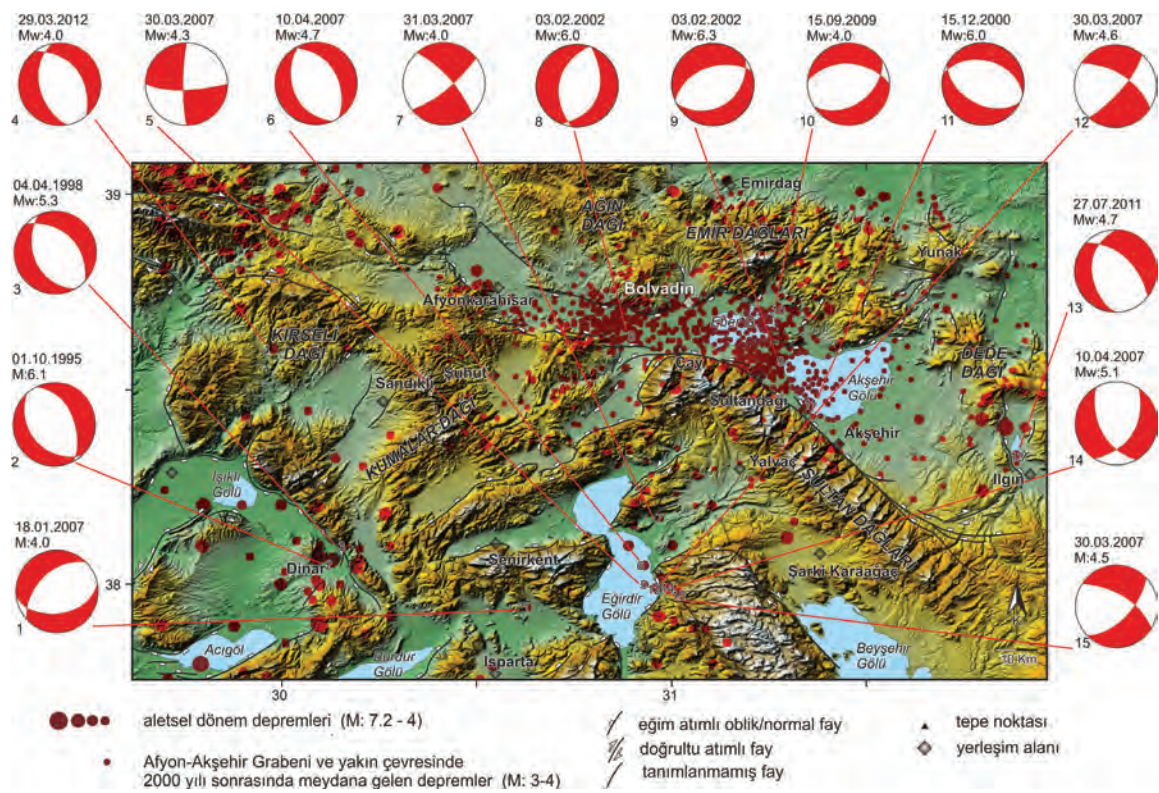
Şekil 3. Afyon-Akşehir Grabeni ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti

Figure 3. Generalised lithostratigraphic columnar section of the Afyon-Akşehir Graben

BOLVADİN VE YAKIN ÇEVRESİNİN SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ

Afyon Akşehir Grabeni ve yakın çevresi, sismik açıdan oldukça aktif bir yapı göstermektedir. Şekil 4'te verilen bölgede aletsel dönem boyunca büyüklükleri 4 ile 7.2 arasında değişen 267 adet deprem meydana gelmiştir (KOERİ, 2016). 1995 ve sonrasında meydana gelen bazı depremlerin

odak mekanizma sonuçlarına göre, bölgede yeralan faylar, doğrultu atımı ve eğim atımlı normal faylanma karakterinde çalışmakta ve deprem üretmektedir (Şekil 4). Bununla beraber, Afyon Akşehir Grabeni boyunca 2000 yılından sonra büyüklükleri 2 ile 4 arasında değişen yaklaşık 2000 adet deprem meydana gelmiştir (KOERİ, 2016).



Şekil 4. Afyon-Akşehir Grabeni ve yakın çevresinin sismotektonik haritası (Faylar Emre vd. 2011'den; Odak Mekanizma Çözümleri, EMSC, 2016'dan; Afyon-Akşehir Grabeni içerisinde 2000 yılından sonra meydana gelen (M:3-4) depremler KANDİLLİ, 2016'dan alınmıştır).

Figure 4. Seismotectonic map of the Afyon-Akşehir Graben (Faults are taken from Emre et al. 2011; Fault plane solutions are taken from EMSC, 2016; earthquakes data (M:3-4) occurred in Afyon-Akşehir Graben are taken from KANDİLLİ, 2016). For abbreviations, see Figure 2.

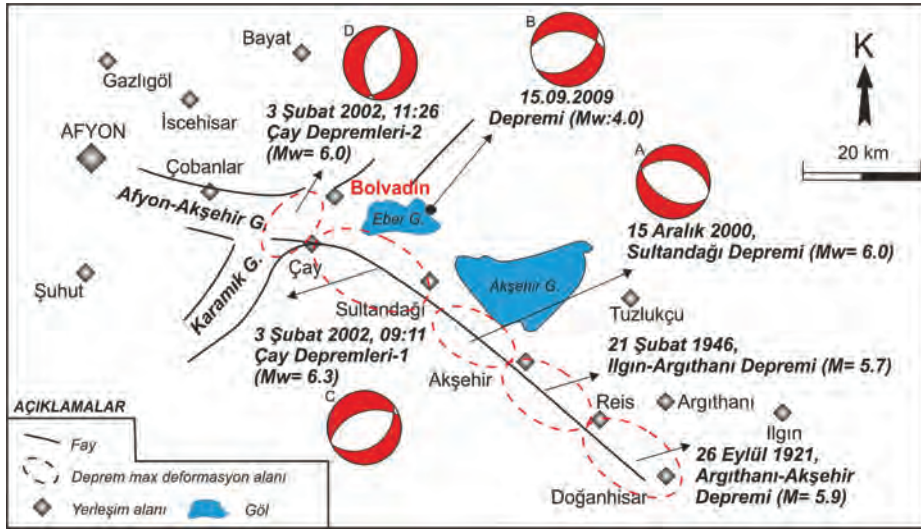
Afyon-Akşehir Grabeni içerisinde, 1911 yılında meydana gelen ve Bolvadin ve Çay'da etkili olan deprem ile Heybeli Kaplıcasında sıcak su çıkmaya başladığı belirtilmektedir (Pınar ve Lahn, 1952). Tarihsel dönem kayıtlara göre bu depremin şiddeti VIII'dir (Ergin vd. 1967). Sonraki yıllarda Afyon-Akşehir grabeni içerisinde meydana gelen orta büyüklükteki aletsel dönem depremlerin zaman ve dışmerkez dağılımları, Sultandağı Fayı üzerinde güneydoğudan kuzeybatıya doğru bir deprem göçünün varlığını ortaya çıkarmıştır (Şekil 5) (Demirtaş vd. 2002; Emre vd. 2003; Tiryakioğlu vd. 2015). Sultandağı Fayı'nın doğusunda, 1921'de Argıtanlı-Akşehir depremi (M:5.9) ile başlayan, 1946'da Argıtanlı-Akşehir arasında (5.7), 2000 yılında ise Sultandağı güneydoğusunda (Mw:6.0)

etkili olan sismik hareketlilik son olarak 3 Şubat 2002'de Sultandağı ve Çay bölgelerinde yüzeysel kırığı oluşturmuştur. 2000 ve sonraki yıllarda meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizma çözümleri Afyon Akşehir Grabeninin orta ve doğu bölümlerinde KD-GB ve KB-GD yönlü bimodal genişlemenin varlığına işaret etmektedir (Şekil 5). 3 Şubat 2002 tarihinde meydana gelen Çay depremleri ise, Çay ile Sultandağı arasında ve Çay batısında 30 cm'e varan düşey yerdeğiştirmeye sahip yaklaşık 26 km uzunluğunda yüzeysel kırığı oluşturmuştur (Emre vd. 2003; Akyüz vd. 2006). 3 Şubat tarihinde meydana gelen ilk deprem (Mw: 6.3) Eber Gölü güneyinde saat 09:11'de meydana gelmiştir. Bu deprem ile Sultandağı Fayının batısında, Eber Güneyi, Yeşilyurt Mahallesi, Çay

ilçe merkezi, Cumhuriyet ve Maltepe mahalleleri arasında yaklaşık D-B doğrultulu kuzeye eğimli ve kuzeyde kalan bloğu düşüren yüzey kırıkları oluşmuştur (Şekil 6). İkinci deprem (Mw: 6.0) ise, 11:26'da Çay batısında meydana gelmiştir. Bu depremle Kadıköy ve Maltepe mahalleleri yakın civarında K20D uzanımlı ve güneydoğuya eğimli yüzey kırıkları oluşmuştur (Şekil 6) ve kırığın doğusunda kalan blokta 10 cm'e kadar düşmeler gözlenmiştir (Özden vd. 2002). Bu depremlerin odak mekanizma çözümleri de arazi verilerini destekler bir şekilde, her iki depremi üreten fayın da eğim atımlı normal karakterde çalıştığını; ilk depremin DKD-BGB; ikinci depremin ise KKD-GGB doğrultulu fayların kırılması sonucu geliştiğini göstermektedir (Şekil 6). 3 Şubat Çay depremlerinden sonra bölgede çalışma yapan araştırmacılar (Demirtaş vd. 2002; Koçyiğit vd. 2002; Özden vd. 2002; Emre vd. 2003; Yürür vd. 2003; Ulusay vd. 2004; Akyüz vd. 2006), ilk depremin Sultandağı Fayı üzerinde meydana geldiği konusunda hemfikir iken, KKD-GGB uzanımlı yüzey kırığı oluşturan ikinci depremin

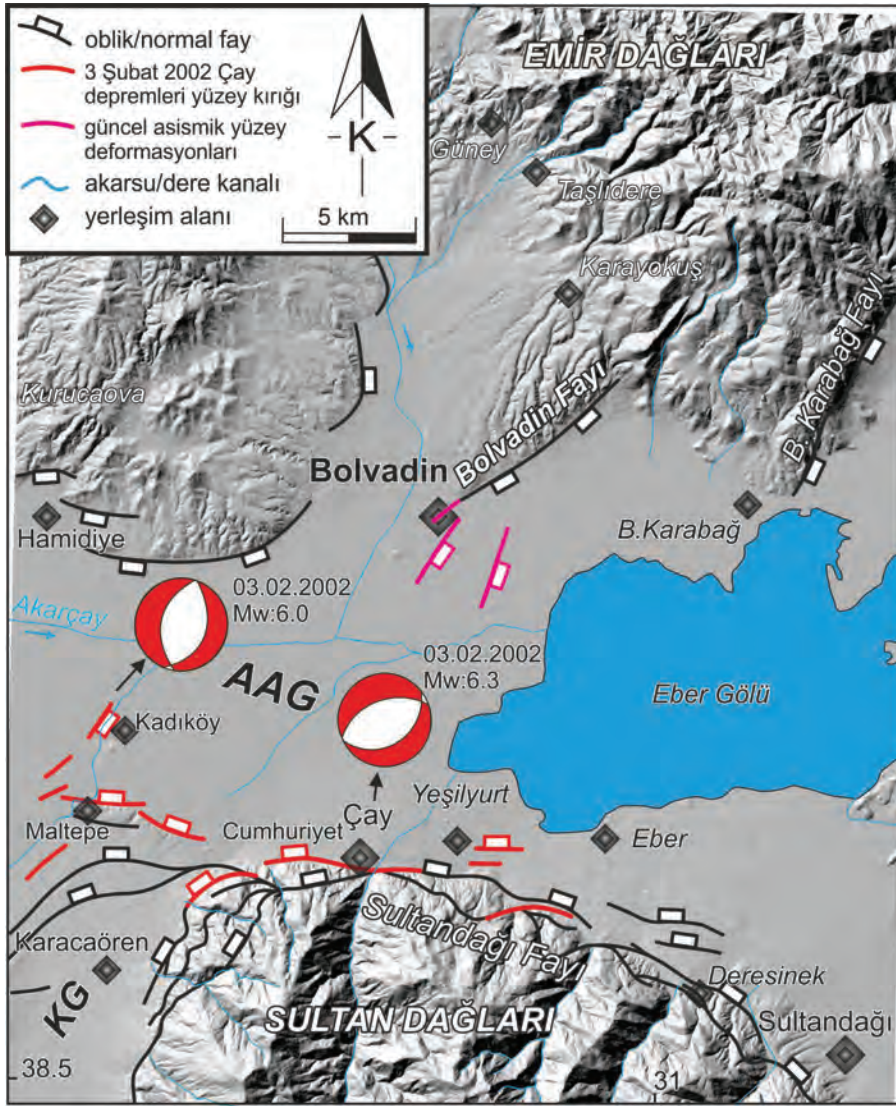
hangi fay üzerinde meydana geldiği tartışma konusu olmuştur. Bazı araştırmacılar (Koçyiğit vd. 2002; Akyüz vd. 2006), her iki depremin de Sultandağı Fayı üzerinde geliştiğini ifade ederken, Emre vd. (2003)'e göre ikinci deprem KD-GB uzanımlı Kali Çayı segmenti üzerinde yüzey kırığı oluşturmuştur. Demirtaş vd. (2002) ise, ikinci depremin Akşehir ile Eber Gölleri arasından geçen KD-GB uzanımlı Üçkuyu Fayı üzerinde meydana geldiğini ileri sürmüştür. Özden vd. (2002), ikinci depremin, ilk depremde oluşan yüzey kırıklarına yaklaşık dik olan farklı bir normal fay üzerinde meydana geldiğini ifade etmiştir.

Son depremlerden sonra, bu deprem göçünün KB'ya doğru mu devam edeceği yoksa Sultandağı fayı ile sınırlı mı kalacağı? Ya da farklı bir doğrultuda mı devam edeceği? soruları bir çok araştırmacı tarafından tartışılmıştır ve yakın gelecekte fayın Çay'ın batısında kalan parçasında yüksek sismik riske dikkat çekmişlerdir (Özden vd. 2002; Emre vd. 2003; Yürür vd. 2003; Ulusay vd. 2004; Akyüz vd. 2006).



Şekil 5. Sultandağı Fayı boyunca son yüzyılda meydana gelen yıkıcı depremlerin güneydoğudan kuzeybatıya doğru zaman içerisindeki göçünü gösteren harita (Demirtaş vd. 2002; Tiryakioğlu vd. 2015'den değiştirilmiştir; odak mekanizma çözümleri EMSC, 2016'dan alınmıştır).

Figure 5. The map showing northwestward trends of earthquake migration along the Sultandağı Fault during the last century (compiled from Demirtaş et al. 2002; Tiryakioğlu et al. 2015).



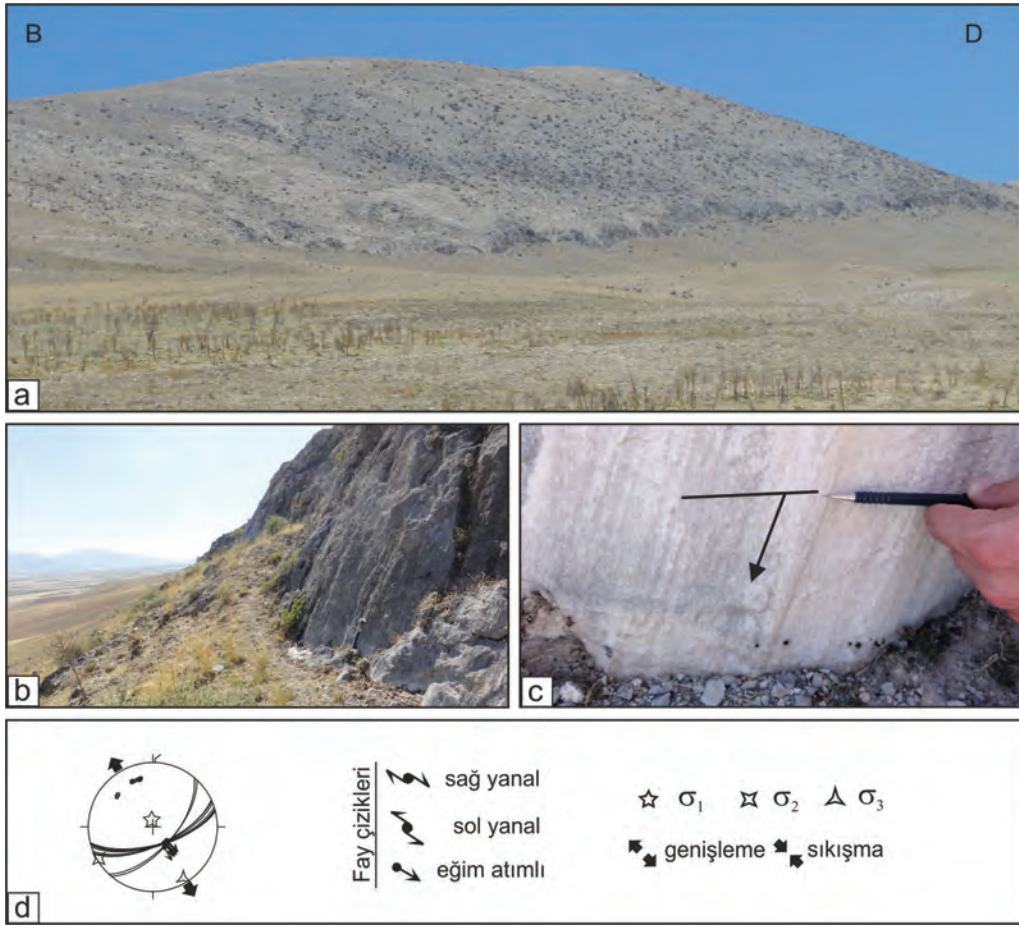
Şekil 6. Bolvadin ve yakın civarının diri fay haritası (YüzeY kırığı ve faylar Emre vd. 2011'den alınmıştır). Kısaltmalar: AAG: Afyon-Akşehir Grabeni, KG: Karamık Grabeni.

Figure 6. Active fault map of Bolvadin and nearby area (Surface ruptures of 3 February 2001 earthquakes and active faults are taken from Emre et al. 2011). Abbreviations: AAG: Afyon-Akşehir Graben, KG: Karamık Graben.

BOLVADİN FAYI

3 Şubat 2002 yılında meydana gelen depremler ile aktif çöküntü alanı olduğu belgelenen Eber Gölü'nün yer aldığı graben tabanını kuzeyden sınırlayan kenar faylarından birisi olan Bolvadin Fayı, yaklaşık 10 km uzunluğunda, KD-GB uzanımlı aktif bir faydır. Kuzeydoğusu boyunca morfolojik olarak belirgin çizgisellik sunan

fay (Şekil 7a ve b), güneybatısında alüvyon zemin üzerine kurulu olan Bolvadin yerleşim alanı içerisine girer ve bu noktadan itibaren takip edilemez. Fay düzlemleri üzerindeki kinematik göstergeler, fayın eğim atımlı normal fay karakterine işaret etmektedir. Bolvadin Fay düzlemi üzerindeki eğim atımlı normal faylanma ilişkili kayma yüzeyi fay çizizi seti (Şekil 7 c



Şekil 7. Bolvadin master fayının a) panoramik görüntüsü b) fay düzlemleri c) fay çiziklerini gösteren arazi fotoğrafları d) kayma yüzeyi kinematik ölçümlerine göre yapılan paleostres analizi.

Figure 7. a) Panoramic view, b) Fault planes, c) Faults striae d) Paleostress analyses of Bolvadin master fault.

ve d) ile hesaplanan sonuçlara göre asal gerilim eksenleri (σ_1 , σ_2 ve σ_3) sırasıyla $351^\circ/81^\circ$, $240^\circ/03^\circ$, $149^\circ/09^\circ$ (yönlem/dalım) olarak elde edilmiştir. Hesaplanan değerler Bolvadin Fayı üzerinde etkili olan gerilme rejiminin KB-GD yönlü saf genişleme şeklinde olduğuna işaret etmektedir.

BOLVADİN'DE GÖZLENEN YÜZEY DEFORMASYONLARININ JEOLJİK ANALİZİ

Genel olarak alüvyon zemin üzerinde yer alan Bolvadin yerleşim alanı merkezinde, bir kısmı imar

planı içerisinde kalan bölge ile şehrin güneybatı kısmından başlayarak kuzeydoğu istikametine doğru yer alan bölgelerde, son 4 yıldan itibaren daha önceden olmayan bazı deformasyonların olduğu ve oluşmaya devam ettiği gözlenmiştir (Şekil 8). Bölgede yapılan çalışmalarda, yıkıcı deprem olmaksızın, uzunlukları 300 metre ile 2 km; doğrultuları ise $K15^\circ D$ ile $K70^\circ D$ arasında değişen çizgisel gidişli çatlak ve yarıklar şeklinde gelişen kademeli yüzey deformasyonları haritalanmıştır. Yapılan analizler yüzey deformasyonu boyunca, güneydoğuda yer alan bloğun 10-40 cm arasında düştüğüne işaret etmektedir (Şekil 8). Yerleşim alanı içerisinde haritalanan deformasyon

yapılarının en kuzeyde olanı Bolvadin Fayı'nın güneybatıdaki devamı niteliğindedir (Şekil 6). Bu deformasyonlar, yer yer birkaç cm ile 70 cm arasında değişen genişlikte ve yer yer 2 metreye varan derinlikte yarıklar şeklinde izlenmektedir (Şekil 8f).

Arazi çalışmalarında yerleşim alanlarından geçen yüzey deformasyonu üzerinde yeralan

bazı konutlar ve okullarda ciddi derecede hasar meydana geldiği (Şekil 9); yeraltı su ve kanalizasyon kanallarının deforme olduğu ve kırıldıkları gözlemlenmiştir. Zon içerisindeki binalar üzerinde gözlenen deformasyonlar genellikle düşen bloğa doğru eğilmeler, rotasyonel hareketler, duvarlarda çatlak ve yarıklar oluşumları şeklinde gözlenmektedir (Şekil 9).



Şekil 8. Bolvadin yerleşim alanı içerisinde gözlenen yüzey deformasyonları. a-b) Akçan parkı ve yakın kuzeyinde yollar üzerinde gözlenen yüzey faylanmaları, c) Bir okulun bahçesindeki asfalt zeminde gözlenen çizgisel gidişli deformasyonlar, d) Bolvadin mezarlığında gözlenen yüzey faylanması, e) Bolvadin Abdülvahab Gazi Türbesi civarında gözlenen yüzey faylanması f) Bolvadin mezarlığı güneybatısında gözlenen yüzey yarığı

Figure 8. Surface deformations observed within the Bolvadin settlement area. a-b) Surface faults cutting the roads around Park Akcan. c) Linear deformations on asphalt pavement of the school garden, d) Surface faults observed within the cemetery of Bolvadin, e) Surface faults near the Bolvadin Abdülvahab Gazi Tomb, f) Earth fissures in southwest part of the cemetery of Bolvadin.



Şekil 9. Bolvadin yerleşim alanı içerisinde gözlenen deformasyonlar a-b) Akçan parkı yakınında, yüzey faylanması üzerindeki binaların bahçe duvarının düşen bloğa doğru rotasyonel hareketi sonucu oluşan açılmalar, c-d-e) Yüzey faylanması üzerinde yer alan binalarda gözlenen deformasyonlar. f) Bolvadin mezarlığı KD duvarı üzerinde gözlenen deformasyonlar

Figure 9. Deformations observed within the Bolvadin settlement area. a-b) The divergence of garden walls of some buildings located on the surface fault near the Park Akcan, c-d-e) Extensional cracks in some buildings located on the surface fault, f) Deformations on graves and also NE wall of the Bolvadin cemetery.

Yüzey Deformasyonlarının Sınıflaması

Asismik yüzey deformasyonları üzerinde yapılan önceki çalışmalara göre, bu deformasyonlar başlıca yüzey faylanması (surface faults) ve yüzey yarıkları (earth fissure) şeklinde sınıflanmıştır (Şekil 10) (Holzer, 1984; Pewe, 1990; Holzer ve Galloway, 2005; Pacheco-Martínez vd. 2013; Hernández-Madrigal vd. 2014). Bu çalışmalarda yapılan analizlere göre, yüzey faylanmaları ile gelişen deformasyon, su çekimi öncesinde

var olan mevcut bir fayı takip ederken, yüzey yarıkları genellikle drenaj kanallarına paralel gelişirler. Yüzey faylanmalarında düşey yönde yerdeğiştirme gözlenir ve deformasyonlar derinlere doğru devam eder, ancak yüzey yarıkları boyunca düşey yönde yerdeğiştirme gözlenmez, yarıklara dik yönde açılmalar gözlenir ve bu yarıklar çok derinlere inmeden yüzeye yakın derinliklerde sönümlenirler. Her iki deformasyon tipinde de oluşan kırık ve yarıklar içerisine süzülen yüzey sularının sebep olduğu erozyonel süreçler

(borulanma) gerçekleşir. Yüzeysel faylanmaları boyunca yeraltısuyunun çekilmesine bağlı olarak gelişen oturmalar sebebiyle meydana gelen düşey yerdeğiştirmelere tektonik krip de eşlik edebilir, ancak yüzeysel yarıkları boyunca tektonik krip gözlenmez (Çizelge 1). Deformasyon hattının uzunluğu genellikle 1 km'den fazla, oluşan sarplıkları yüksekliği 0.5 metreden fazladır.

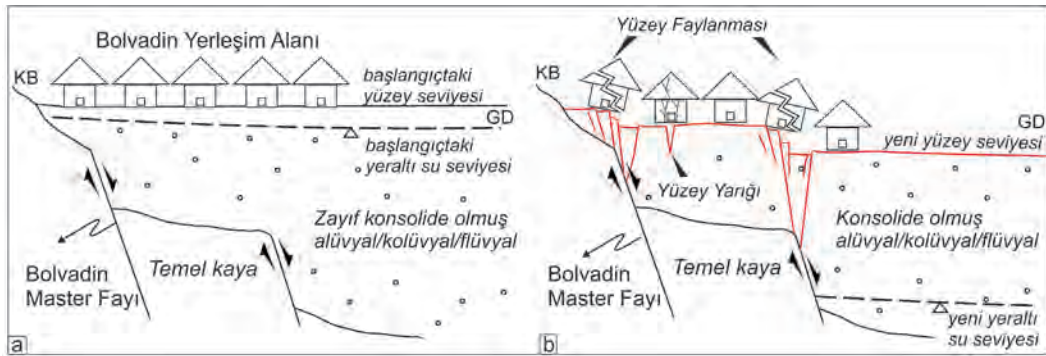
Bolvadin yerleşim alanı ve yakın çevresinde, son yıllarda gelişen kuraklığa ilave olarak havzada gereğinden fazla yapılan yeraltı su çekimleri nedeni ile yeraltı su seviyesinin son 10

yılda yaklaşık 20 metre düştüğü bilinmektedir (Bolvadin düzlüğünde, günümüzdeki yeraltı su seviyesi ortalama 24 metredir, Özdemir, 2016). Graben kenarında yer alan Bolvadin Fayının düşen bloğunda, yeraltı su seviyesinin düşmesine bağlı olarak zayıf konsolide olmuş alüvyal çökellerde gözlenen sıkışmalar ve oturmalar, Bolvadin Fayı ve havza tarafındaki gömülü sintetikleri boyunca deformasyonlara neden olmaktadır (Şekil 10). Elde edilen veriler Bolvadin'de gözlenen yüzeysel deformasyonlarının baskın olarak asismik yüzeysel faylanması şeklinde yer yer de yüzeysel yarıklarının geliştiğine işaret etmektedir (Şekil 10).

Çizelge 1. Bolvadin'de gözlenen güncel asismik yüzeysel deformasyonlarının sınıflaması (Holzer, 1984; Pewe, 1990; Holzer ve Galloway, 2005; Pacheco-Martínez vd. 2013; Hernández-Madrigal vd. 2014, Özkaymak vd. 2015).

Table 1. Classification of recent aseismic surface deformations in Bolvadin (Holzer, 1984; Pewe, 1990; Holzer and Galloway, 2005; Pacheco-Martínez et al., 2013; Hernández-Madrigal et al., 2014, Özkaymak et al. 2015).

Bolvadin'de Gözlenen Güncel Asismik Yüzeysel Deformasyonları	
Yüzeysel Faylanması (Surface Faults)	Yüzeysel Yarıkları (Earth Fissures)
Deformasyon, varolan bir fayı takip eder	Derinlere inmezler
Düşey yönde yerdeğiştirme gözlenir	Genellikle drenajlara paralel gelişirler
Tektonik krip gelişebilir	Düşey yönde bir yerdeğiştirme gözlenmez
Sarplıklar genellikle 0,5 m'den fazladır	Yarıklara dik yönde açılmalar gözlenir
Deformasyonun uzunluğu genellikle 1 km'den fazladır	Tektonik krip gözlenmez
Borulanma gerçekleşebilir	Borulanma gerçekleşebilir



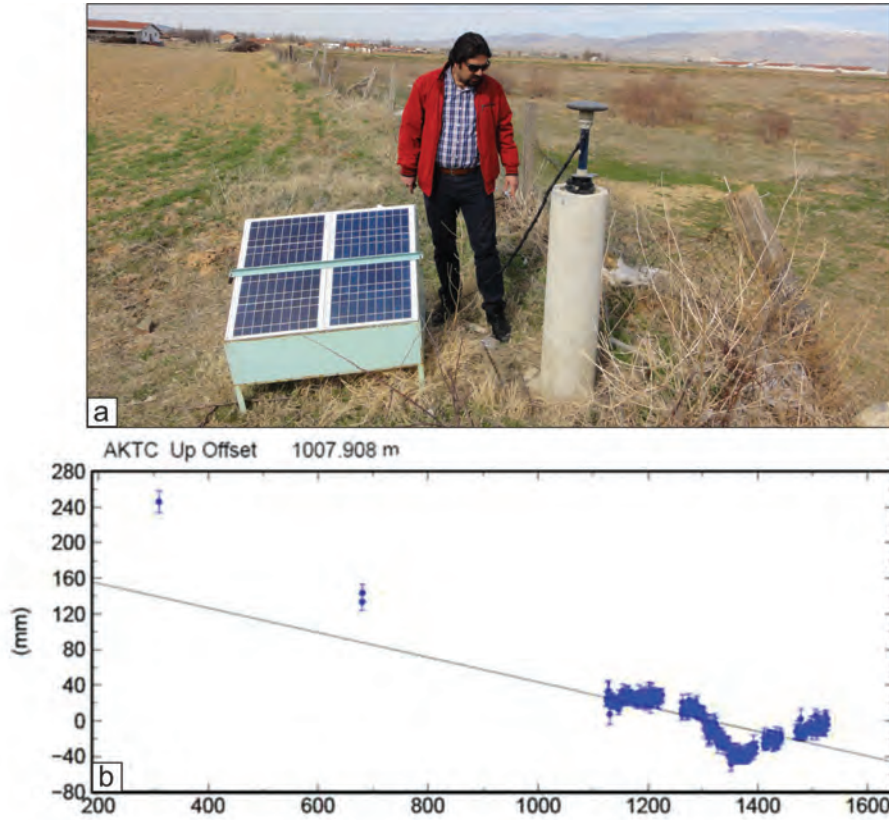
Şekil 10. Bolvadin yerleşim alanında gözlenen güncel deformasyonlarının nedenlerinin kökensel açıdan yorumlanmasını gösteren ölçeksiz ve şematik jeolojik kesitler, a) yeraltı suyu çekimi öncesi b) yeraltı suyu çekimi sonrası gelişen yapılar (Carpenter, 1999 ve Pacheco-Martínez vd. 2013'den değiştirilmiştir).

Figure 10. Geological cross sections (not to scale) showing the interpretations of origins and causes of the recent aseismic surface deformations in Bolvadin settlement area. a) Initial condition, b) formation of surface faults and earth fissures due to groundwater withdrawal subsidence (compiled from Carpenter, 1999 ve Pacheco-Martínez et al. 2013).

YÜZEY DEFORMASYONLARININ JEODEZİK ANALİZLERİ

Afyon Akşehir Grabeni'nin güncel tektonik hareketlerini incelemek için bölgeye 20 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. Bu kapsamda, 2012-2015 yılları arasında bu noktalarda yılda 2-3 gün ve 8'er saatlik tekrarlı ölçüler olmak üzere 3 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır. GNSS verilerinin değerlendirilmesi, MIT tarafından geliştirilen GAMIT (GPS Analysis Massachusetts Institute of Technology)/GLOBK (GLOBAL Kalman) yazılım takımı kullanılarak yapılmıştır. Bu noktalardan Bolvadin Fayı'nın düşen bloğu üzerinde kurulu AKTC noktasında ilk 3 kampanya ölçüsünde düşey yönde deformasyon tespit edilmiştir. Düşey

deformasyonun olduğu AKTC noktası yüzey deformasyonlarının olduğu bölgeye çok yakındır. Bu deformasyonların yıllık davranışını incelemek için 2015 yılı ocak ayında bu noktaya sabit GNSS istasyonu kurularak ölçü toplanmaya başlanmıştır (Şekil 11). Güneş panelleri ile desteklenen istasyonda yaklaşık iki yıldır veri toplanmıştır. 3.5 yıllık zaman zarfında yaklaşık 25 cm deformasyon meydana gelmiştir. Deformasyon hızı 7,1 cm/yıl olarak hesaplanmıştır. Bölgede devam eden çalışmalar kapsamında, GNSS ölçüsü, Nivelman ve SAR tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla düşeyde ve yatayda oluşan deformasyonlar takip edilecek ve bu deformasyonların, bölgenin güncel tektonik hareketleri içerisindeki yeri yorumlanacaktır.



Şekil 11. a) Güneş panelleri ile desteklenen sabit GNSS istasyonu (AKTC istasyonu), b) AKTC istasyonunda ölçülen düşey deformasyonu gösteren diyagram.

Figure 11. GNSS Permanent Station supported by solar panel (AKTC station), b) Diagram showing the vertical deformation measured by AKTC station.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Asismik yüzeysel deformasyonları, gravitasyonel kütle hareketleri, mağmatik kökenli faaliyetler, karstik kökenli oluşumlar, yeraltı madenciliği ilişkili çökmeler, bataklık drenajı, tünel gibi yeraltı mühendislik faaliyetleri ile de gelişebilmektedir. Ancak Batı Anadolu'da son 20 yıldır gözlenen çizgisel gidişli asismik yüzeysel deformasyonları üzerinde yapılan çalışmalar bu deformasyonların graben kenar fayları üzerinde baskın olarak yüzeysel faylanması şeklinde geliştiğine işaret etmektedir (Gürsoy vd. 1997; Demirtaş vd. 2008a,b; Koca vd. 2011; Özkaymak vd. 2014 ve 2015). Bununla beraber, bu çalışmalarda, deformasyon alanlarında yeraltı su seviyelerinde kuraklığa ve aşırı su çekimine bağlı olarak önemli miktarlarda düşmeler gerçekleştiğinden de bahsedilmektedir. Yeraltı su seviyesinin düşmesine bağlı olarak konsolide olmamış yada az konsolide olmuş alüvyal çökellerin yenilmesi ile bölgede yer alan faylar boyunca asismik yüzeysel faylanması şeklinde deformasyonların meydana geldiği uluslararası birçok çalışmada belirtilmektedir (Holzer, 1980, 1984; Pewe, 1990; Holzer ve Galloway, 2005; Hernández-Madrigo vd. 2014; Pacheco-Martínez vd. 2013). Bolvadin bölgesinde tarafımızdan yapılan arazi çalışmaları, yıkıcı deprem olmaksızın, uzunlukları 300 metre ile 2 km; doğrultuları ise K15°D ile K70°D arasında değişen çizgisel gidişli baskın olarak yüzeysel faylanması ile yer yer yüzeysel yarıkları şeklinde gelişen asismik yüzeysel deformasyonlarının varlığını ortaya çıkarmıştır. Bolvadin yerleşim alanı içerisinde haritalanan bu deformasyon hatlarından en kuzeyde olanı Bolvadin Fayı'nın güneybatıdaki devamı niteliğindedir. Yapılan analizler yüzeysel deformasyonu boyunca, güneydoğuda yer alan bloğun ortalama 10-40 cm arasında düştüğüne işaret etmektedir.

Batı Anadolu Genişleme Bölgesinde, son 10-20 yılda yıkıcı deprem olmaksızın oluşmuş ve oluşmaya devam eden yüzeysel deformasyonlarının belirgin örneklerinden bir diğeri, Gediz

Grabeni'nin güneydoğu ucunda yer alan Sarıgöl yerleşim alanında gözlenmiştir. Bu alanda yerleşim alanından geçen Sarıgöl Fayı boyunca kanallarda, asfalt yollarda ve evlerin duvarlarında 1.00-1.25 metre arasında düşey yer değiştirmeler şeklinde yüzeysel deformasyonları (K50-80°B doğrultulu) meydana gelmiştir (Koca vd. 2011). Bu deformasyonlar Koca vd. (2011) tarafından detaylı yeraltı (karotlu sondaj verileri) ve yüzeysel (jeolojik ve jeomorfolojik) verileri ile yorumlanmıştır. Araştırmacılar, Sarıgöl ve çevresinde yeraltı su seviyesinin son on yıl içerisinde yaklaşık 20 metre düşüşüne bağlı olarak, killi katmanlarda meydana gelen aşırı konsolidasyon olayı ve bunun sonucunda gelişen oturma miktarlarını sondaj karot verileri ve bunların konsolidasyon deneyleri ile hesaplamışlardır. Maksimum oturma miktarının, yüzeysel ölçülen düşey yer değiştirmeyi karşılamadığı; arada kalan 22,5 cm'lik oturmaların nedeninin, olasılıkla, sismik aktiviteye ($M < 4.0$) bağlı olarak Sarıgöl Fayı boyunca meydana gelen ya da fay yüzeyi boyunca düşen bloğun rotasyonel hareketine bağlı gelişen yer değiştirmeler olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Sarıgöl bölgesinde gelişen deformasyonların analiz edildiği 17.04.2008 tarihli jeolojik etüd raporunda, bölgede meydana gelen olayların tektonik kriplere özelliği taşıdığından ve 20-40 cm'lik oturmaların tektonik kriplere ile meydana geldiği belirtilmiştir (Demirtaş vd. 2008b). Sonuç olarak, Sarıgöl bölgesinde yapılan çalışmalar, bu bölgedeki asismik yüzeysel faylanmaları ile meydana gelen düşey yer değiştirmelerin yeraltı suyu düşüşüne bağlı gelişen oturmalar ile birlikte tektonik kriplere ve sismik etkinlikler ile de açıklandığına işaret etmektedir. Koca vd. (2011)'e göre 2000 ile 2010 yılları arasındaki 10 yıllık süreçte Sarıgöl Fayı boyunca 0.68 ile 0.85 metre düşey yer değiştirmeler ölçülmüştür. Bu durumda Sarıgöl bölgesi için düşey yer değiştirme hızı 6 ile 8,5 cm/yıl arasında hesaplanmıştır. Sarıgöl bölgesinde yapılan GPS ve Ps-InSAR yöntemleri

ile elde edilen sonuçlara göre ise, deformasyonun hızı 10 cm/yıldır (Poyraz vd. 2015). Bolvadin bölgesinde gözlenen sarplıklardaki jeomorfolojik ölçümlerimize göre, 4 yıl içerisinde 0,26 ile 0,38 metre düşey yerdeğiştirmelerin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Elde edilen veriler Bolvadin Fayı boyunca düşey yerdeğiştirme hızının 6,5 ile 9,5 cm/yıl olduğunu göstermektedir. Bölgedeki GNSS istasyonlarından topladığımız verilere göre ise, düşey yerdeğiştirme hızı 7,1 cm/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Sarıgöl bölgesinde ölçülen değerler ile uyumludur. Bunun yanında, Batı Anadolu'daki ölçümler, Amerika'da benzer deformasyonların gözlemlendiği alanlarda elde edilen verilere ve ölçülen değerlere (6 cm/yıla kadar) (Holzer, 1984) yakındır.

Bolvadin bölgesinde, yeraltı su seviyelerinin kuraklık ve aşırı su çekimine bağlı olarak orantısız bir şekilde düşmesi göz önüne alındığında, fayın tavan bloğunda yer alan az konsolide olmuş alüvyal çökellerde meydana gelen sıkışma ve oturmaların Bolvadin Fayı boyunca meydana gelen deformasyon ve düşey yönde yerdeğiştirmelerin önemli bir bölümünün yeraltı su seviyesinin düşmesiyle ilgili olduğu açıktır. Ancak, (1) Bolvadin Fayının her an deprem üretebilecek diri bir fay olduğu (Emre vd. 2011), (2) bölgede son yıllarda meydana gelen yüzey kırığı oluşturan yıkıcı depremlerin (3 Şubat 2002 Çay depremleri M_w :6.3-6.0) ve mevcut mikro-sismik etkinliğin varlığı, (3) bu sismik etkinliğe bağlı olarak gelişen aktif çöküntü alanının kuzey kenarının Bolvadin Fayı ile kontrol edildiği, (4) Bölgedeki drenaj sisteminin, iklim olaylarının yanısıra, bölgede yer alan aktif faylar ve yoğun sismik etkinlik ile kontrol ettiği, (5) benzer deformasyon özelliklerinin gözlemlendiği Sarıgöl bölgesinde yeraltı su seviyesinin düşmesine bağlı oturmaların sismik etkinliklerin ve tektonik krip olayının da eşlik ettiği (Koca vd. 2011; Demirtaş vd. 2008b) göz önüne alındığında, Bolvadin bölgesinde gelişmekte olan yüzey deformasyonları sadece yeraltı suyunun düşmesine bağlı gelişen konsolidasyon oturmaları

ile ilişkili olmayabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bolvadin bölgesinde gelişmekte olan asismik yüzey deformasyonlarının oluşum ve kökensel analizinde tektonizmanın bir rolü olup olmadığının anlaşılması bakımından Bolvadin Master Fayı üzerinde hendek tabanlı paleosismolojik çalışmaları ve Bolvadin Fayının düşen bloğunda yer alan sedimanlar üzerinde konsolidasyon testlerinin yapılması gerekmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP 14.MUH.01 ve 12.TEMATİK.02 numaralı projeler kapsamında desteklenmiştir. Bu çalışmada sunulan ön bulgular ile TÜBİTAK-115Y246 numaralı proje olarak kabul edilmiştir. Yazarlar, makaleye yapıcı katkı sağlayan Süha Özden (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi) ve ismini açıklamayan diğer hakeme teşekkürü bir borç bilir.

EXTENDED SUMMARY

In recent years, some surface deformations that have been formed without earthquake failure are observed along the active margin faults of Quaternary grabens in WAEP (Figure 1). One of the two prominent examples is located on the Sarıgöl settlement area in Gediz Graben, while other is on the Bolvadin settlement area in Afyon Akşehir Graben (AAG). AAG represents the southeastern part of Akşehir-Simav Fault System (ASFS) which is one of the most important seismogenic zones within West Anatolian Extensional Province (WAEP). The historical and instrumental earthquake records suggest the existence of a large number of earthquakes that created surface ruptures in this system. Bolvadin city and its surroundings are located in the middle of the AAG which is an approximately 130 km long and NW-SE trending active depression area (Figure 2). Some linear aseismic surface deformations that starts on the southwestern side of the town and

can be followed until the northwestern side have been observed since last 4 years in the Bolvadin settlement area. In this study, we focused on the geologic, geomorphologic and geodesic analyses of the aseismic surface deformations in Bolvadin (AAG, Afyon) and compared the similarities of the aseismic surface deformations observed in Sarıgöl and Bolvadin in terms of their origin and formation mechanism.

The latest seismic activities in the AAG are evidenced by the 03 February 2002 Çay (Afyon) earthquakes with M_w : 6.3 and M_w 6.0 in size. These earthquakes that caused surface ruptures in Maltepe and Çay settlements and nearby areas in the western parts of the Sultandağı Fault, are the final members of the earthquake migration from southeast to northwest, which began in southeastern part of the Sultandağı Fault in 1921, and progressed northwestward in 1946 and 2000 (Figure 5 and 6). During the field studies in Bolvadin area, progressive aseismic surface deformations, such as linear surface faults and earth fissures whose length varies between 300 meters and 2 kilometers and strike varies between $N15^\circ E$ and $N70^\circ E$ were mapped. Besides this, quantitative and morphological analysis indicate that the southeastern block is a downdropped block and vertical displacements along the deformation zone are varies between 10-40 cm. The northernmost one of the surface deformations mapped in the settlement area of Bolvadin have the characteristics of the southwestern continuation of Bolvadin Fault which is a NE-SW trending and SE-dipping dip-slip normal fault. Field-based geological studies and kinematic analyses along the active Bolvadin Fault suggest that the NE-SW trending normal faulting is consistent with a NW-SE extensional stress regime (Figure 7).

The morphometric analysis using GNSS measurement and Levelling techniques yield the deformation rate (the vertical displacement) of 7.1 cm/y for the surface deformations on Bolvadin Fault, which are similar to deformation rate of

10 cm/y calculated by using GPS and In-SAR techniques for Sarıgöl area in Gediz Graben (Poyraz et al. 2015). Besides this, deformation rates of aseismic surface deformations in WAEP are in accordance with the deformation rates calculated along the similar aseismic surface deformations in USA (up to 6 cm/y, Holzer, 1984).

It is clear that the role of the groundwater withdrawal from unconsolidated sediments due to the effect of groundwater pumping by human activities and natural drought is an important agent for that aseismic surface failure. However, some knowledge about the region given below are associated with the effect of active tectonics on aseismic surface deformation. (1) Bolvadin Fault is an active fault (Emre et al. 2011) and recent aseismic surface deformations follow the surface trace of Bolvadin Master Fault, (2) Recently, the surface ruptured destructive earthquakes cause depression along the south of Bolvadin in AAG (3 February 2002 Çay earthquakes, M_w :6.3-6.0) and there is an intensive micro-seismic activity in the region, (3) The northern border of that depression area is controlled by Bolvadin Fault, (4) the drainage system is also controlled by active faults and seismic activities in the region, (5) Besides the withdrawal of underground fluids and consolidation of sediments, it is suggested that tectonic creep and micro-seismic activities also cause to surface deformation on Sarıgöl Fault which is an active dip-slip normal fault just as the Bolvadin Fault (Koca vd., 2011; Demirtaş vd., 2008b). All of these outcomes indicate that the origin and formation mechanism of the aseismic surface deformation in Bolvadin may not be explained solely by the groundwater withdrawal from unconsolidated sediments. For the future studies, in order to determine the consolidation characteristics of sediments, consolidation tests should be performed on the hanging wall sediments of Bolvadin Fault. Besides this, trench-based palaeoseismological studies should also be performed along the Bolvadin Fault to document

evidence for the Holocene activities and estimate the long-term slip-rates or earthquake recurrence intervals.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akyüz, S., Uçarkuş, G., Şatır, D., Dikbaş, A. ve Kozacı, Ö., 2006. 3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen yüzey kırığı üzerinde paleosismolojik araştırmalar. *Yerbilimleri*, 27 (1), 41-52.
- Aydar, E., Bayhan, H. ve Gourgau, A., 2003. The lamprophyres of Afyon Stratovolcano, Western Anatolia, Turkey: Description and genesis. *C.R. Geoscience*, 335, 279-288.
- Blumenthal, M., 1963. Le systeme structural du Taurus sud-Anatolien. In *Livre a memoire du Professeur P. Fallot. Memoire de la Societe Geologique de France*, 2, 611-662.
- Bozkurt, E. ve Oberhanslı, R., 2001. Menderes Massif (Western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution - a synthesis. *International Journal Earth Sciences*, 89, 679-708.
- Carpenter, M.C., 1999. South-Central Arizona. Earth fissures and subsidence complicate development of desert water resources. In: Galloway, D., Jones, D.R., Ingebritsen, S.E. (Eds.), *Land Subsidence in the United States*. U.S. Geological Survey. Circular, 1182. U.S. Department of the Interior, Reston, Virginia, U.S.A.
- Çevikbaş A., Ercan, T. ve Metin, S., 1988. Geology and Regional Distribution of Neogene Volcanics Between Afyon-Şuhut. *Journal of Pure and Applied Sciences, METU*, 21 (1-3), 479-499.
- Demirtaş, R., İravul, Y., ve Yaman M. 2002. 3 Şubat 2002 Eber ve Çay depremleri ön raporu. *Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni*, (1 – 2), 58 – 63.
- Demirtaş, R., Ercan, S., Demir, B. ve Aktan., M., 2008a. Ege Çöküntü Bölgesi'nde Alüvyal Havzalarda Son 20 Yılda Oluşmuş Yüzey Deformasyonlarının Oluşum Mekanizması. *ATAG 12 Bildiri Özleri Kitabı*, 42-44.
- Demirtaş, R., Yavuz, M.A. ve Şahin, B. 2008b. Manisa ili, Sarıgöl ilçesi İmar Planı Sınırları içerisinde geçen Gediz Çöküntüsüne ait fay zonunun Paleosismolojik ve Yüzey Faylanması Tehlike Zonu Açısından Değerlendirilmesi. *Afet İşleri Genel Müdürlüğü Raporu*. 17s (yayınlanmamış).
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. ve Kuşcu, İ., 2003. Surface Faulting Associated with the Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey. *Seismological Research Letters* 74 (4), 382-392.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Olgun, Ş. ve Elmacı, H., 2011. 1:250.000 scale active fault map series of Turkey, Afyon (NJ 36-5) Quadrangle. Serial number: 16, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.
- EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre), 2016. <http://www.emsc-csem.org>, 3 June 2016.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü yayımları, No 28.
- Hernández-Madrigal, V. M., Muñiz-Jauregui, J. A., Garduño-Monroy, V. H, Flores-Lázaro, N. ve Figueroa-Miranda, S. 2014. Depreciation factor equation to evaluate the economic losses from ground failure due to subsidence related to groundwater withdrawal. *Natural Science*, 6 (3), 108-113.
- Holzer, T.L., 1978. Results and Interpretation of Exploratory Drilling Near the Picacho Fault, South-Central Arizona: U.S. Geological Survey Open- File Report 78-1016, 17 p.
- Holzer, T.L., 1980. Faulting Caused by Ground-Water Level Declines, San Joaquin Valley, California. *Water Resources Research*, 16 (6), 1065- 1070.
- Holzer, T.L., 1984. Ground failure induced by groundwater withdrawal from unconsolidated sediment. In: Holzer Holzer, T.H., Ed., *Man-Induced Land Subsidence*, VI. Geological Society of America. *Reviews in Engineering Geology*, Colorado, 67-105.
- Holzer, T.L. ve Galloway, D.L., 2005. Impacts of land subsidence caused by withdrawal of underground fluids in the United States. *Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology*, 16, 87-99.

- Gürsoy, H., Temiz, H., Tatar, O. ve Barka, A., 1997. Gediz grabeni güney kenarındaki güncel deformasyon verileri. II. İzmir ve Çevresinin Jeoteknik ve Deprem Sorunları Sempozyumu, Bildiri Özetleri, s.14.
- KANDİLLİ (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü), 2011. <http://www.koeri.boun.edu.tr/>, 3 June 2016.
- Kaymakçı, N., 2006. Kinematic development and paleostress analysis of the Denizli Basin (Western Turkey): Implications of spatial variation of relative paleostress magnitudes and orientations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 207–222.
- Kibici, Y., Dinç, D., ve Uçar, A., 2012. Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Kayaçlarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri. *Dumlupınar Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29, 53-70.
- Koca, M. Y., Sözbilir, H. ve Uzel, B., 2011. Sarıgöl Fay Zonu Boyunca Meydana Gelen Deformasyonların Nedenleri Üzerine bir araştırma. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 35 (2), 151-173.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27 (1), 1- 15.
- Koçyiğit, A., Ünay, E. ve Saraç, G. 2000. Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey. *Geological Society of London Special Publication*, 173, 405-421.
- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Kaymakçı, N. ve Şaroğlu, F., 2002. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depreminin Kaynağı ve Ağır Hasarın Nedenleri: Akşehir Fay Zonu, ODTÜ Tektonik Araştırma Birimi Ön Raporu, 19 s.
- Koçyiğit, A. ve Özacar, A. 2003. Extensional neotectonic regime through the NE edge of outer Isparta Angle, SW Turkey: new field and seismic data. *Turkish Journal of Earth Sciences* 12, 67–90.
- Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz S., 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: geological and geochronological constraints. in *Tectonics of Asia* (ed. A. Yin ve M. Harrison), Cambridge University Press, 420-441.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In «The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen» (eds. B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth and M. Séranne). *Geological Society, London, Special Publication* 156, 475-515.
- Özdemir, T., 2016. Kişisel Görüşme. Bolvadin, Afyon, Türkiye.
- Özden, S., Kavak, K.Ş., Koçbulut, F., Över, S. ve Temiz, H., 2002. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45 (2), 49-56.
- Özkaymak, Ç., 2015. Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications. *Geodinamica Acta*, 27 (2-3), 110-129.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H. ve Uzel B., 2013. Neogene–Quaternary evolution of the Manisa Basin: Evidence for variation in the stress pattern of the İzmir-Balıkesir Transfer Zone, western Anatolia. *Journal of Geodynamics Special issue: Tethyan Evolution, Anatolia*. 65, 117-135
- Özkaymak, Ç., Yıldız, A., Sarıkaya, H., Başaran, C., Dumlupınar, İ., Akman, İ., 2014. Bolvadin Fayı boyunca meydana gelen yüzey deformasyonları, Batı Anadolu-Türkiye. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Çalıştayı Onsekizinci Çalıştayı (ATAG-18)*, Bildiri Özleri Kitabı, s. 52.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., 2015. Sarıgöl (Gediz Grabeni, Manisa) ile Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Oluşum ve Kökensel Açından Karşılaştırılması. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı*, s. 464-465.
- Pacheco-Martínez, J., Hernandez-Marín M., Burbey., T. J., González-Cervantes, N., Ortiz-Lozano, J.Á., Zermelo-De-Leon, M.E. ve Solís-Pinto, A., 2013. Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México. *Engineering Geology* 164, 172–186.
- Pankratz, L. W., Ackermann, H. D., ve Jachens, R. C., 1978. Results and Interpretation of Geophysical Studies Near the Picacho Fault, South-Central Arizona: U.S. Geological Survey Open-File Report 78-1106, 17 p.

- Pewe, 1990. Land subsidence and earth-fissure formation caused by groundwater withdrawal in Arizona; A review. *Groundwater Geomorphology The role of subsurface water in Earth-surface processes and Landforms*, edited by Charles G. Higgins, Donald Robert Coates, Geological Society of America pub. p.252.
- Pınar, N. ve Lahn, E., 1952. Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu. Bayındırlık Bakanlığı, Yapı ve İmar İşleri Reisliği, No. 6, Ankara.
- Poyraz, F., Tatar, O., Hastaoğlu, K.Ö., Tiryakioğlu, İ., Gürsoy Ö., Koçbulut F., Türka, T., Demirel, M., Duman, H., Çiğer, A.F. ve Güle, D., 2015. Gediz Grabeninin Doğu Kesimindeki Güncel Tektonik Hareketlerin GPS ve Ps-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi; İlk Sonuçlar. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* 7(1), 17-28.
- Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Sandıkçioğlu, A., Erdoğan, S., Yılmaz, İ., Uysal, M., Yılmaz, M., Yıldız, A., Dereli, M.A., Yalçın, M., Dumlupınar, İ., M., Yalın, H., Ertuğrul, O., 2015. Sultandağı Fayı Batı Kısmı Fay Aktivitelerinin Multidisipliner Çalışmalarla Belirlenmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 7-16.
- Turan, N., 2002. Geological map of Turkey in 1:500.000 scale: Ankara sheet. Publication of Mineral Research and Explaniton Direction of Turkey (MTA), Ankara.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Erken, A., Tuncay, E., Kumsar, H. ve Kaya, Z., 2004. An overview of geotechnical aspects of the C ay-Eber (Turkey) earthquake. *Engineering Geology* 73, 51–70.
- Van Siclen, D. C., 1967. The Houston Fault Problem, in *Proceedings, American Institute of Professional Geologists, Texas Section, Annual Meeting, 3rd, Dallas*, p. 9-31.
- Yürür, T., Köse, O., Demirbağ, H., Özkaymak, Ç. ve Selçuk, L. 2003. Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism? (Afyon earthquakes of 2 March 2002, Central Anatolia, Turkey). *Geodinamica Acta* 16, 83-87.



**Eskişehir Neojen Alpu Havzasındaki Kömürle Ara Katkılı
Killi Kayaçların Mineralojisi ve Jeokimyası**

Mineralogy and Geochemistry of Clayey Rocks Intercalated with Coal Seams in the Neogene Alpu Basin, Eskişehir, Central Turkey

Hülya Erkoyun

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Meşelik, 26480, Eskişehir

Geliş/Received : 11.11.2016 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 29.12.2016 • Kabul/Accepted : 05.01.2017 • Baskı/Printed : 01.04.2017

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Eskişehir'in doğusunda Eskişehir Fay Zonu boyunca graben içinde gelişen Miyosen-Pliyosen yaşlı gölsel birimler bitümlü şeyl, kömür damarı, konglomera, silttaşı, kumtaşı ve kiltaşından oluşmaktadır. Jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal analizler, Alpu kömür havzasındaki ES4 ve ES7 karotlu sondaj loglarından alınan örneklerde yapılmıştır. Baskın olarak smektit, kaolinit, illit, kuvars, feldispat, dolomit, siderit, aksesuar olarak amfibol, jips, alunit ve pirit bulunmaktadır. Ana kayaçlarda muskovit, klorit, feldispat, serpantin mineralleri ve matriksleri kısmen veya tamamen killeşmiştir. Mikromorfolojik olarak, feldispat kalıntıları üzerinde smektit yaprakları ve plakamsı illit kristalleri diyajenez koşulları altında alkali mikro-ortamsal koşullar altında çözülme ve yığılma mekanizmasıyla oluştuğunu desteklemektedir. Hafif nadir toprak elementlerin (HNTE), orta nadir toprak elementleri (ONTE) ve ağır nadir toprak elementlerine (ANTE) kıyasla zenginleşmesi ve pozitif Eu anomalileri feldspatın bozuşmasını desteklemektedir. Feldispat, biyotit ve serpantinın alterasyonunun sonucu olarak Al, Fe ve Mg'un konsantrasyonu alkali ortamda smektit oluşmaktadır. Düşük-orta Ni/Co ve yüksek V/(V+Ni) oranları oksik-dioksit ve anoksit-dioksit koşullarını yansıtmaktadır. TiO₂/Ni ve SiO₂ karşılık (Al₂O₃+K₂O+Na₂O) diyagramlarında bozunmuş örneklerin lokal olarak bazik magmatik kayaçlardan ve baskın olarak sedimantasyon işlemiyle, kurak ve yarı kurak koşullar altında oluştuğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Alpu kömür yatağı, illit, kaolinit, smektit, Türkiye

Abstract: The Miocene-Pliocene lacustrine units comprises bituminous shale, coal seam, conglomerate, siltstone, sandstone and claystone were deposited in a graben developed along the Eskişehir Fault Zone at the east of Eskişehir. The geological, mineralogical and geochemical analyses were performed on samples obtained from ES4 and ES7 core drilling holes at the Alpu coal basin. Abundant smectite associated with kaolinite, illite, quartz, feldspar, dolomite, siderite, accessory amphibole, gypsum, alunite and pyrite. The muscovite, chlorite, feldspar, serpentine crystals and their groundmass are partly to completely argillized in host rocks. Micromorphologically, development of smectite flakes and platy illite crystals on relicts of feldspar suggest dissolution and a precipitation mechanism under alkaline micro-environmental conditions during diagenesis. Enrichment of light rare-earth elements relative to middle rare-earth elements and heavy rare-earth elements and positive Eu anomalies reflect alteration of feldspar. Alteration of feldspar, biotite and serpentine resulted in the concentration of Al, F, and Mg in a stagnant environment and precipitation smectite and in an alkaline environment. The low to moderate Ni/Co and high V/(V+Ni) ratios are indicative of oxic to dysoxic and anoxic to dysoxic conditions, respectively. TiO₂/Ni and SiO₂ versus (Al₂O₃+K₂O+Na₂O) discrimination diagram show that weathered samples is indicative of formation from the locally basic igneous rocks and alteration formed predominantly via sedimentation process under arid and semiarid conditions and formation of clay minerals.

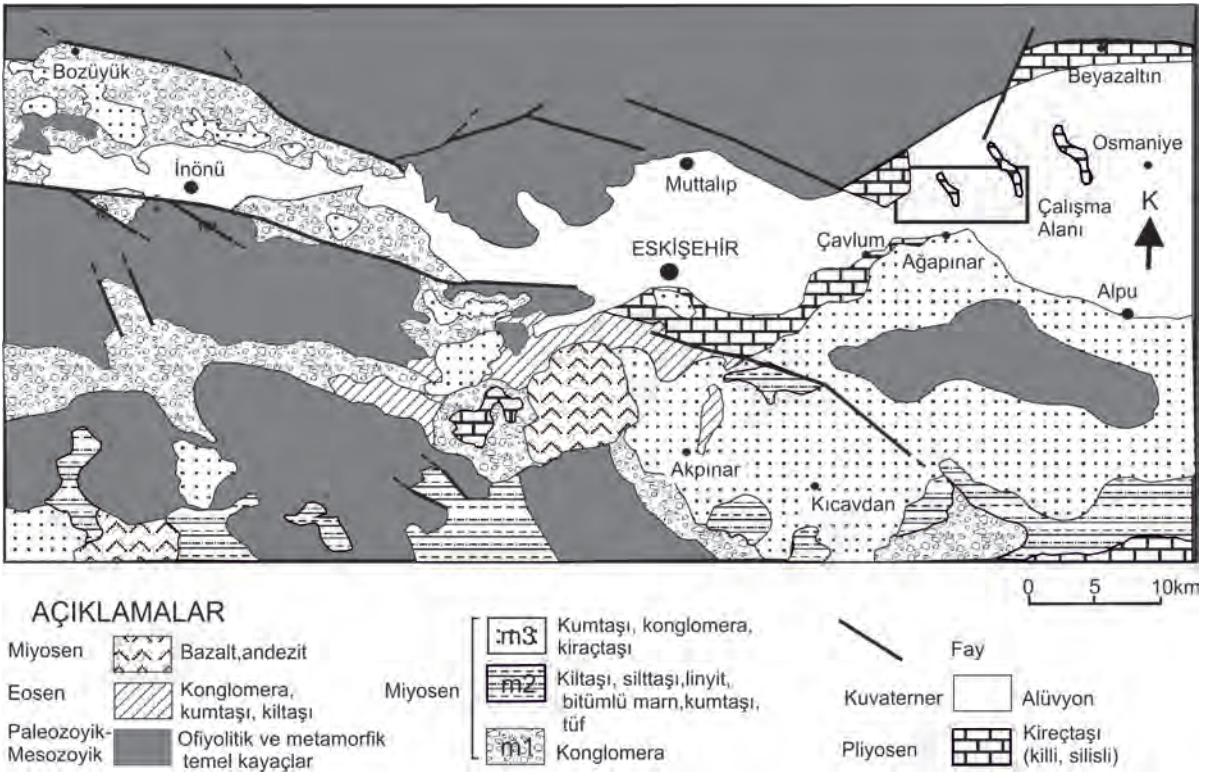
Key Words: Alpu coal deposit, illite, kaolinite, smectite, Turkey

GİRİŞ

Türkiye’de Alt-Orta Miyosen yaşlı kömürler, grabenlerin içinde ve Anadolu-Toros bloğunda oluşmuşlardır. Grabenlerle oluşan havzaların akarsu ve göl çökelleri ile dolmasıyla Üst Miyosen-Alt Pliyosen birimlerinin killi-marnlı serisi yer yer ekonomik değerde, düşük kalorili linyit damarı içermiştir (Baş vd. 1983; Toprak vd. 2015). Kömürlerle ara katkılı killerin yer aldığı Alpu havzası, Eskişehir’in 15 km doğusunda, Ağapınar köyünün kuzeyinde Eskişehir grabeninde yer almaktadır (Şekil 1). Bu havza ise 1.3 milyar ton rezerviyle yeni bulunan bir linyit sahasıdır (Toprak vd. 2015). Yüzeyde mostra vermeyen linyit, yapılan sondajlarla alt ve üst olarak adlandırılan iki damar halinde, ortalama 250-450 metre derinlikler arasında yaklaşık olarak 100 km² lik

bir çanakta yayılımı olduğunu göstermiştir (Usta, 2013). Jeolojisi, kömür potansiyeli ve jeofizik yöntemlerle incelenmesi Steffens (1970), Siyako (1982), Siyako vd. (1991), Gözler vd. (1996), Şengüler (2009, 2011), Şengüler ve İzladı (2013), Alpu kömürünün petrografik özellikleri ve depolanma ortamı Usta ve Kutluk (2014), Toprak vd. (2015) ve palinolojisi Usta (2013) tarafından araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, Alpu kömür sahasındaki şimdiye kadar incelenmemiş olan kömürlerle ara katkılı killerin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda karotlu sondajlardan alınan kömürle ara katkılı killerin türleri belirlenerek, oluşum ortamları irdelenmiştir.



Şekil 1. Alpu bölgesinin jeoloji haritası (Şengüler, 2013).

Figure 1. Geological map of the Alpu region (Şengüler, 2013).

MATERYAL VE YÖNTEM

Alpu kömür sahasında yapılan ES4 ve ES7 sondaj loglarından kumtaşı, bitümlü şeyl, glokofan klorit şist, serpantinit ve killi örnekleri temsil eden 37 örnek toplanmıştır. Bölgenin jeoloji haritasının çiziminde Şengüler (2013) tarafından yapılan jeoloji haritasından yararlanılmıştır.

Çalışma alanında, yan kayaçları petrografik açıdan incelenmesi için ince kesitler ve mineralojik açıdan incelenmesi için X-ışınları kırınımı (XRD) analizleri yapıp mineral dağılımları yorumlanarak kullanılmıştır (Brindley, 1980). Toplanan örneklerden 19 adet normal ve 4 adet ayrıntılı XRD analizi Türkiye Petrolleri A.O. Araştırma Merkezi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. XRD analizlerinde $CuK\alpha$ radyasyon ve $2^\circ/dak$ tarama hızı kullanılmıştır. Yönlendirilmiş kil örneklerinin havada kurutulmuş, etilen glikolle $60^\circ C$ de 2 saat çözdürülmüş, $350^\circ C$ ve $550^\circ C$ de 2 saat ısı altında tutulmuş örneklerin çekimleri yapılmıştır. Mineral bolluklarının hesaplanmasında Moore ve Reynolds (1989)'un önerileri dikkate alınmıştır.

Jeokimyasal analizlerde toplam 15 kumtaşı, bitümlü şeyl, glokofan kloritşist, serpantinit ve killi tüm kayaç örneklerinin ana oksitler için ICP-ES (Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry) iz ve nadir toprak elementler (NTE) için ise ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) yöntemi kullanılarak USGS standartlarında Bureau Veritas Mineral Laboratories'de (Vancouver, Kanada) yapılmıştır. Ana elementler için tespit sınırı wt % 0.01 ve 0.1 arasında, iz elementler için 0.1 ve 5 ppm ve NTE için 0.01 ile 0.5 ppm arasındadır.

ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Havzanın temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar (mermer, mavi şistler) ve Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayaçlardan (radyolarit, radyolaryalı kireçtaşı, çamurtaşı, serpantinit, diyabaz, kireçtaşı, şist blokları, kısmen serpantinleşmiş peridotit ve kısmen metamorfikleşmiş diyabaz ve gabro) oluşmaktadır (Şengüler ve Izladı, 2013; Toprak vd. 2015; Şekil 1 ve 2). Miyosen birimler, taban kayaçları üzerine uyumsuz olarak gelmektedir ve tabandan tavana m1, m2 ve m3 olarak adlandırılmaktadır. M1 serisi konglomera, kumtaşı ve kiltaşından ve m2 serisi konglomera, yeşil kiltaş, kömür (alt zon), gri kumtaşı, koyu gri-yeşil silttaş, bitümlü şeyl, silttaş, kömür (üst zon) ve yeşil kiltaş, kumtaşı ve ince taneli konglomeradan araldanmalı olarak oluşmaktadır. M2 biriminin içinde iki kömür damarı, kiltaş ve killi kömür tabakaları ile yukarı damara doğru araldanmalıdır ve fayların kontrolü altındadır (Şengüler, 2013). Tüf ve tüfit m2 serisinin içinde havzanın güneyinde marn ve kille araldanmalı olarak yer almaktadır. M3 serisi kireçtaşı ve konglomerayla temsil edilmektedir. Pliyosen birimler konglomera ve kiltaşından oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyal, güncel sedimanlar bu birimleri örtmektedir (Şekil 2).

Çalışma alanı, İnönü ve Eskişehir havzalarının oluşumunda önemli rol oynayan Eskişehir Fay Zonu'nun kuzeyinde Eskişehir Grabeni'nin içinde yer almaktadır (Ocakoğlu, 2007). Eskişehir grabenindeki Alt-Orta Miyosen birimleri Anatolid bloğunun kuzey ucunda sınırlanmış alanda korunmuş ve Eskişehir Fayı'nın İnönü bölümü tarafından kesilmektedir. Kömür taşıyan birimler Üst Miyosen-Alt Pliyosen birimleri altında korunmuştur (Şengüler, 2013).

YAŞ	KALINLIK (M)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
HOLOSEN	5-10		Alüvyon
PLİYOSEN	15-25		Kiltaşı, konglomera
MİYOSEN	m3		Kireçtaşı kumtaşı, konglomera ardanması
			Yeşil renkli kiltası, kumtaşı, konglomera
	m2		Linyit damarı (Üst zon, 0.55-30 m kalınlıkta)
			Bitümlü şeyl, silttaşı, kiltası, şeyl
m1		Gri renkli kumtaşı	
		Linyit damarı (Alt zon)	
		Kiltaşı, marn ve yer yer çakıllı	
	20-40		Gevşek konglomera, kumtaşı, kiltası
JURRA KRETASE			Ofiyolit
PALEOZOYİK			Metamorfik kayaç

Şekil 2. Alpu bölgesinin stratigrafik istifi (Şengüler, 2010).

Figure 2. Stratigraphic section of the Alpu region (Şengüler, 2010).

SONDAJ LOGLARININ TANIMLAMALARI

ES-4 sondaj logu tabandan tavana, yeşil kiltası, bej siltli kumtaşı, kömür, yeşil kiltası-kömür ardanması, bitümlü şeyl, kömür, beyaz ve sert silisli seviyeler, kumtaşı, yeşil-kahverengi kiltası, siltli kiltası, silisli kiltası ve fluvial

sedimanlardan oluşmaktadır (Şekil 3). Bu sondaj logunda 0.4-20 m kalınlıkta kömür tabakaları 25-55 m kalınlıkta serpantin parçaları taşıyan yeşil kiltası ile ardanmalıdır. Kil oranı yukarıya doğru artmaktadır. Koyu-kahverengi bitümlü şeyl 2.5-22.5 m kalınlıkta, laminalı, gevşek, yer yer tıkız ve kömür tabakaları ile ardanmalıdır. Yukarıya doğru gri-bej renkli kumtaşı yeşilimsi-kahve yer yer gri renkli, çok küçük pirit taneleri içeren kiltası-silttaşı ardanması toplam kalınlığı 31.5-100 m dir. Üst katmanlarda 3 m kalınlığında grimsi-bej silisli kiltası, kömür tabakalarının üzerine örtmektedir. Bu birimleri 157 m kalınlığında konglomera, kumtaşı ve silttaşı gibi fluvial sedimanlar üzerlemektedir.

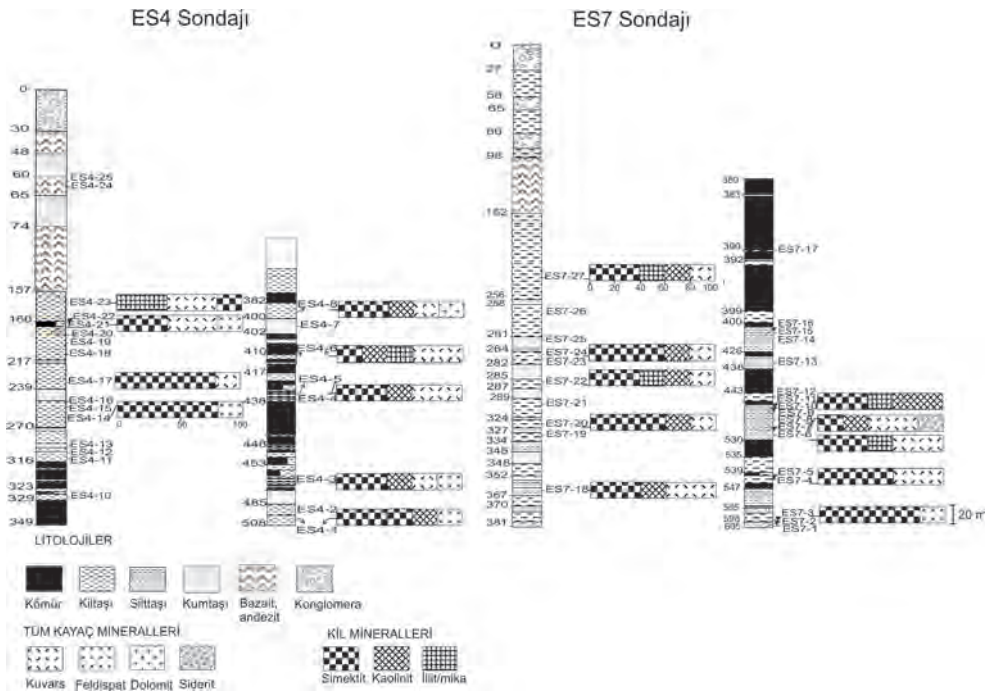
ES-7 sondaj logu tabandan tavana, şist, serpantin, kahverengi kiltası, kömür, bitümlü şeyl, kumtaşı, silttaşı, yeşilimsi siltli kiltası ve yeşilimsi-gri kiltasından oluşmaktadır (Şekil 3). Mavimsi-yeşil renkli, laminalı, 8 m kalınlığında şist tabanda yer almaktadır. Bu litolojinin üzerini 38 m kalınlığındaki serpantin örtmektedir. Kömür tabakaları 0.5-7 m kalınlığında, kahverengi, 35-88 m kalınlığında, jips kristalleri içeren, kahverengi, plastik bitümlü kiltaları ile ardanmalıdır. Gri-kahverengi, laminalı, 40 m kalınlığında, orta sert kiltası kömür tabakasını üzerlemektedir. Yukarı seviyelere doğru bej renkli kumtaşları sarımsı-yeşil, sert silttaşları ve grimsi-yeşil renkli kiltaları ardanmalı olarak toplam 380 m kalınlıkta yer almaktadır.

PETROGRAFİK İNCELEMELER

Alpu bölgesinden alınan karot örneklerindeki yan kayaçlar serpantin, kuvarslı kumtaşı, bitümlü şeyl ve glokofan-kloritşist olarak tanımlanmıştır.

Serpantin oldukça demir oksitlenmiş ve killeştirilmiştir. Dağınık veya lifsi serpantin mineralleri killeştirilmiştir. Işınsal zeolit minerali (lömöntit) tespit edilmiştir (Şekil 4a-c).

Kuvarslı kumtaşı, kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, muskovit, biyotit, klorit, granat, turmalin ve opak minerallerden oluşmakta ve killi veya



Şekil 3. ES-4 ve ES-7 sondaj karot logları ve mineralojik dağılımı.

Figure 3. A borehole cores of ES-4 and ES-7 and distributions of minerals.

karbonatlı çimento içermektedir. Yarı yuvarlak kuvars kristalleri iyi boylanmış, bazı yerlerde monokristalin veya polikristalin haldedir. Kuvars ve klorit minerallerinin etrafı kil mineralleri tarafından kuşatılmıştır. Muskovit, klorit ve feldispatta alterasyon gözlenmektedir (Şekil 4d). Bazı yerlerde muskovit ve biyotitte bükülme, yer yer kloritleşme gözlenmektedir (Şekil 4e). Az miktarda bej renkli granat ve mavimsi-gri pleokroyizmaya sahip, çatlaklı turmalin mineralleri bulunmaktadır (Şekil 4f). Yaygın olarak Fe-oksi(hidr)oksidleşme görülmektedir.

Bitümlü şeyl, organikçe zengin sayısız seviyeler içermekte; klorit, kuvars ve muskovitten oluşmakta ve matriksinde, muskovit ve kloritte büyük oranda killeşme gözlenmektedir (Şekil 4g).

Glokofan-kloritüst lepidoblastik dokuya sahip olup; klorit, glokofan, muskovit, kuvars ve opak minerallerden oluşmaktadır. Küçük taneler ve topluluklar halindeki klorit mineralleri kenarlarından itibaren altere olmuş ve glokofan minerallerinin arasında yer almaktadır (Şekil 4h).

X-IŞINI MİNERALOJİSİ

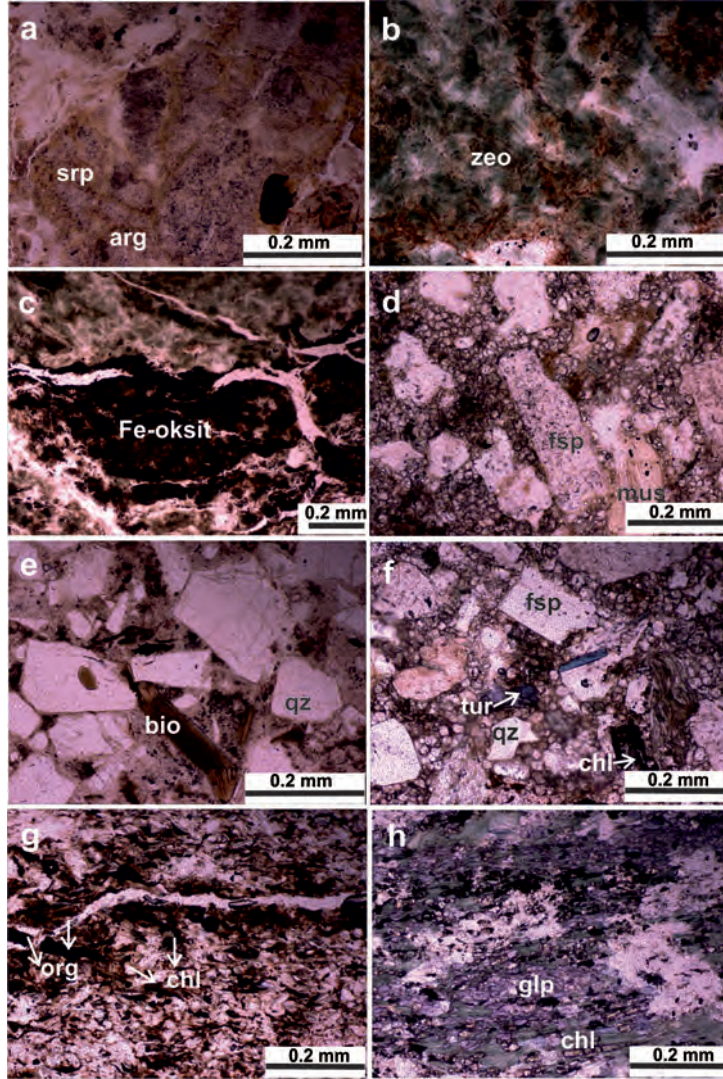
Alpu bölgesi sondaj loglarından (ES-4 ve ES-7) alınan tüm kayaç XRD sonuçları Çizelge 1 ve Şekil 5 de verilmiştir. Smektit hem tüm kayaç hem de kil fraksiyonunda baskın mineraldir ve derine doğru (508-598 m) miktarı artmaktadır. Kaolinit ve illit, feldispat, kuvars, opal-CT, amfibol, jips, siderit, kalsit, dolomit, alunit ve pirit ile ilişkilidir. 14.07-14.22 Å ve 12.38-12.58 Å 'da tespit edilen pikler, etilen glikole muamele ile 14.53 ve 17.04 Å'a şişmesi, ısıtma ile 10.04 ve 13.5 Å'a çökmesi smektit ve eşlik etmekte olan az miktarda klorit olduğunu göstermektedir.

TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOP (SEM) İNCELEMELERİ

Bozunmuş feldispatlar üzerindeki yaprağımsı ve mısır gevreği şeklindeki smektitlerin kenarında plakamsı illit mineralleri gelişmiştir (Şekil 6a-c). Smektitlerin bitümlü şeyllerde organik madde üzerinde gelişmesi, organik asidin etkisiyle

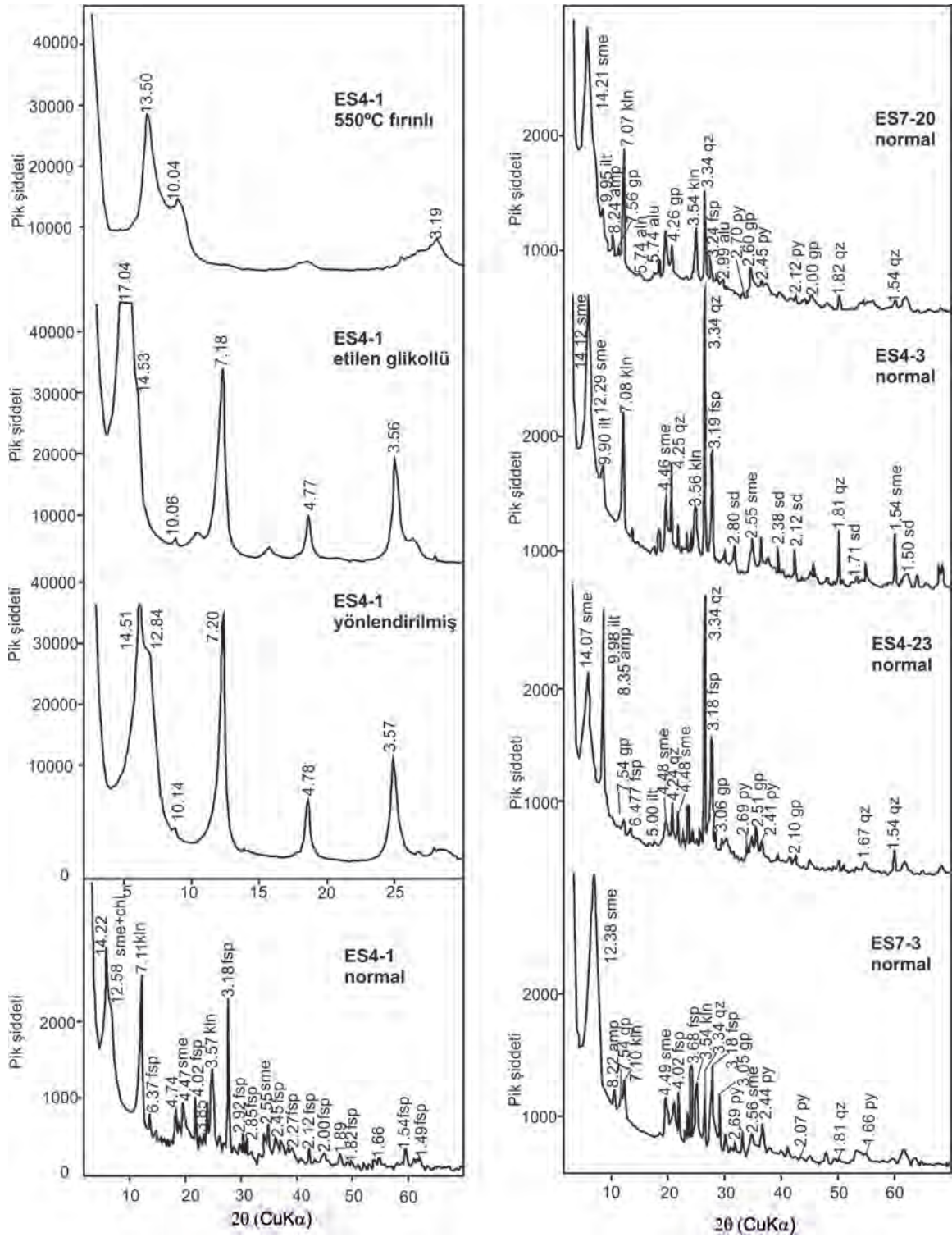
smektitin oluşumunu yansıtmaktadır. Ayrıca yarı yuvarlak ve ağ şeklindeki, 0.5-3 µm boyutundaki mikroorganizmaların bozunmuş feldispatların

üzerinde geliştiği görülmektedir (Şekil 6d-g). Özşekli gips kristalleri, 1-3 µm boyutundadır (Şekil 6h).



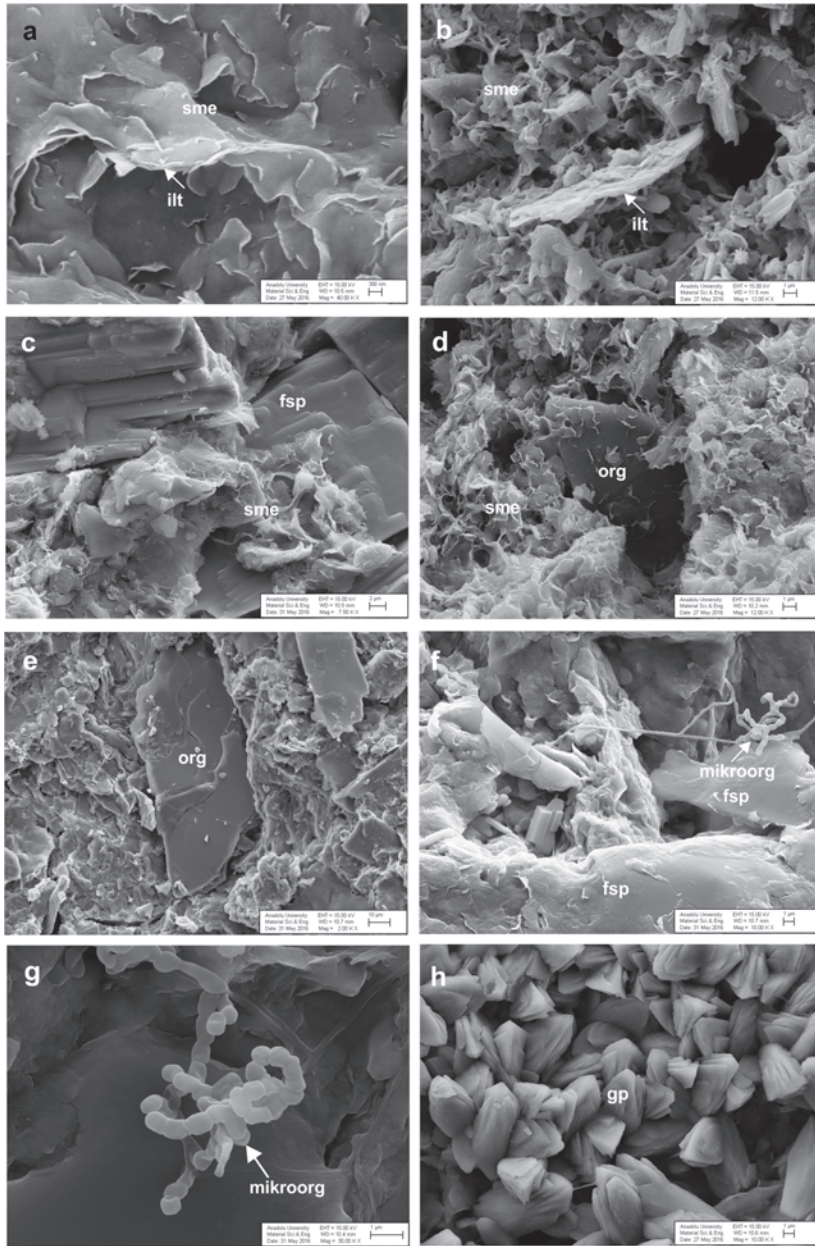
Şekil 4. Sondaj karot loglarındaki yan kayaç görüntüleri (tek nikol), a) serpantin minerallerinde killeşme (ES4-19), b) Serpantinitede zeolit mineralleri (ES4-1), c) Serpantinitede demir oksitleşme (ES4-1), d) Kumtaşında karbonatlı çimento içinde feldspat ve muskovit minerallerindeki alterasyon (ES7-25), e) Kumtaşında biyotitlerde bükülme (ES4-7), f) Kumtaşında feldispat, klorit ve turmalin mineralleri (ES7-25), g) Bitümlü şeyllerde organik malzeme ve klorit mineralleri (ES7-11), h) Glokofan klorit şistte glokofan ve altere klorit minerallerinin dizilimi (ES7-2), srp: serpantin, arg: killeşme, zeo: zeolit, Fe-oksit: demir oksitleşme, fsp: feldispat, mus: muskovit, bio: biyotit, qz: kuvars, tur: turmalin, chl: klorit, org: organik madde, glp: glokofan.

Figure 4. Microphotographs of host rocks from borehole core (plane polarized light), a) Argillized serpentine minerals (ES4-19), b) Zeolite minerals in serpentinite (ES4-1), c) Iron-oxidation in serpentinite (ES4-1), d) Altered feldspar and muscovite minerals with carbonate matrix in sandstone (ES7-25), e) Flexion of biotite in sandstone (ES4-7), f) Feldspar, chlorite and tourmaline minerals in sandstone (ES7-25), g) Organic matter and chlorite minerals in bituminous shale (ES7-11), h) Glaucofan and altered chlorite minerals in glaucophane-chlorite schist (ES7-2), srp: serpentine, arg: argillized, zeo: zeolite, Fe-oksit: Fe-oxyhydroxide, fsp: feldspar, mus: muscovite, bio: biotite, qz: quartz, tur: tourmaline, chl: chlorite, org: organic matter, glp: glaucophane.



Şekil 5. Altere örneklerin X-ışınları difraktogramları. (Mineral adları için Çizelge 1'e bakınız).

Figure 5. X-ray diffraction patterns for altered samples (see Table 1 caption for mineral name abbreviations).



Şekil 6. SEM fotoğrafları, a) Smektitin kenarında illit gelişimi (ES 4-17), b) Smektit-illit ilişkisi (ES 4-23), c) Feldispatın üzerinde smektit gelişimi (ES 7-11), d) Organik madde üzerinde smektit gelişimi (ES 4-23), e) Bitümlü şeyilde organik madde (ES 7-11), f) Feldispatların üzerinde mikroorganizmaların gelişimi (ES 7-11), g) Bitümlü şeyildeki mikroorganizmaların yakından görünüşü (ES 7-11), h) Özşekilli jipslerin gelişimi (ES 7-24). sme: smektit, ilt: illit, fsp: feldispat, org: organik madde, mikroorg: mikroorganizma, gp: jips.

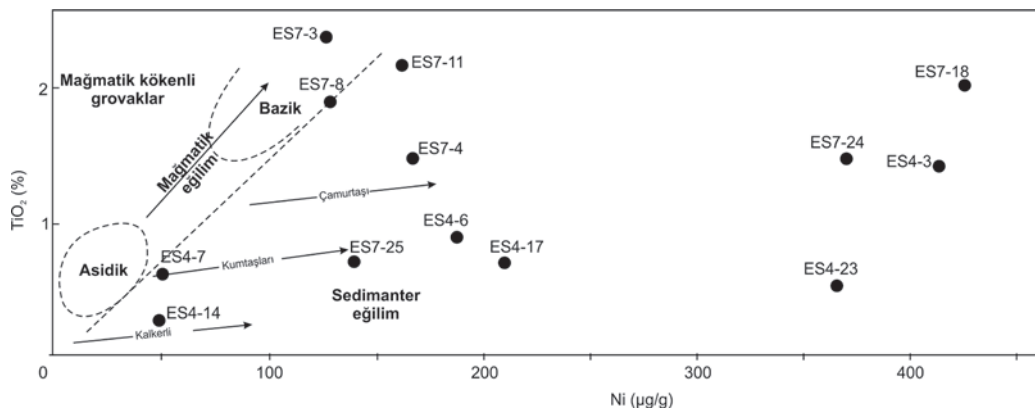
Figure 6. SEM photographs, a) Illite developed around smectite (ES 4-17), b) Smectite flakes associated with illite, c) Development of smectite on resorbed feldspar (ES 7-11), d) smectite/illite flakes coexisting with organic material (ES 4-23), e) Organic material in bituminous shale (ES 7-11), f) Development of microorganism on resorbed feldspar grains (ES 7-11), g) Close-up view of microorganism in bituminous shale (ES 7-11), h) Development of euhedral gypsum crystals (ES 7-24). sme: smectite, ilt: illite, fsp: feldspar, org: organic matter, mikroorg: microorganism, gp: gypsum.

JEOKİMYA

Alpu bölgesinde gerçekleştirilen MTA sondajının karot örneklerinden derlenen kumtaşı, bitümlü şeyl, glokofan-kloritçist, serpantin ve killi örnekler için jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Al_2O_3 (% 17.06), Fe_2O_3 (% 8.63) ve MgO (% 4.1) değerleri smektiti işaret etmektedir. Kimyasal bozunma indeksi (CIW) ana kayaç ve killi örneklerde sırasıyla 47.69-76.88 ve 66.28-86.46 arasındadır. TiO_2/Ni diyagramında bozunmuş örneklerin birkaçı bazik magmatik kayaçlar alanına, çoğunluğu sedimanter kayaç alanına düşmektedir (Şekil 7; Floyd vd. 1989). Al_2O_3/TiO_2 ortalama değerleri 22.18 ile 40.65 arasındadır. SiO_2 karşılık ($Al_2O_3+K_2O+Na_2O$) diyagramında bozunmuş örnekler kurak ve yarı kurak alanına düşmektedir (Şekil 8; Suttner ve Dutta, 1986). Ana kayaçlarda ve killi örneklerde Ni/Co (ort.2.89 ve 6.22) ve $V/(V+Ni)$ oranları (ort.0.6 ve 0.4) dür.

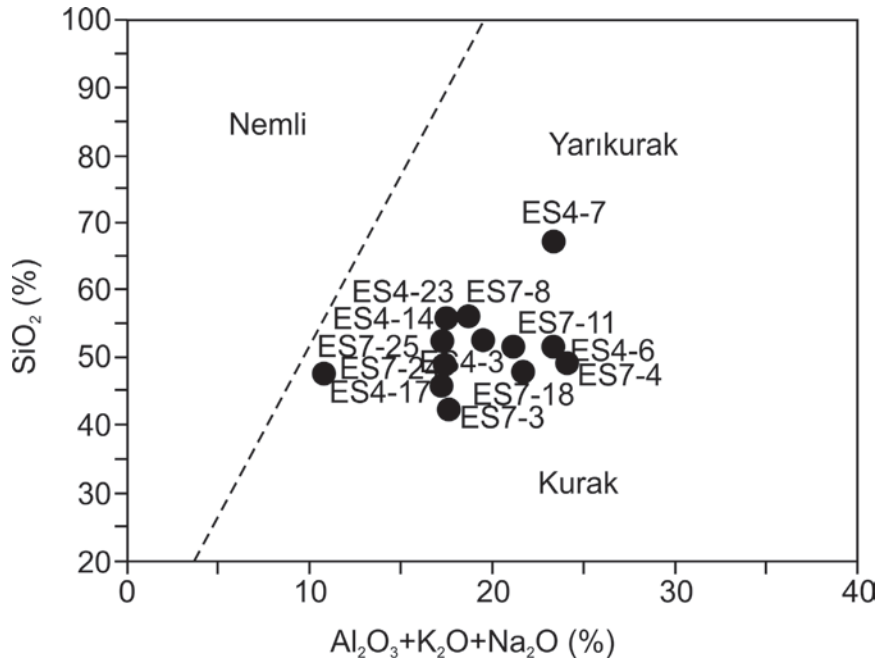
Toplam C ve S içeriği sırasıyla ana kayaçlarda 0.06-4.0 ve 0.02-0.1 killi örneklerde ortalama 0.62 ve 0.07 dir. Killi örneklerde ana kayaçlara kıyasla ortalama CaO (%1.55), Na (%1.32), Sr (183.2 ppm) ve Ba (324.7 ppm) da tüketilme, K_2O (%1.68), V (177.5 ppm) Rb (63.1 ppm), Th (14.8 ppm), U (3.8 ppm), Pb (26.8 ppm) ve Ni (258.2 ppm) de ise zenginleşme gözlenmektedir.

Çalışma alanından alınan kumtaşı, bitümlü şeyl, glokofan-kloritçist, serpantin ve killi kayaç örneklerinin nadir toprak elementlerin (NTE) ve iz elementlerin NASC’a göre normalize edilmiş (Haskin vd. 1968; Kosiewicz, 1973; Gromet vd. 1984; Condie, 1993) örümcek diyagramları Şekil 9 ve kondrite göre normalize değerler (Sun ve McDonough, 1989) Çizelge 2’de verilmiştir. NASC’a göre normalize edilmiş NTE piklerinde hafif nadir toprak elementlerinde zenginleşme ve ağır nadir toprak elementleri de düz olarak gözlenmektedir. Hafif nadir toprak elementler (HNTE) (ortalama = 98.65-112.55) orta nadir toprak elementler (ONTE) (ortalama = 17.12-15.76) ve ağır nadir toprak elementlerine (ANTE) (ortalama = 5.25-4.57) kıyasla zenginleşmiştir. Kondrite göre kısmen negatif Eu/Eu^* anomalileri ana kayaçlarda ve killi örneklerde sırasıyla (ort. $Eu/Eu^* = 0.94-0.82$) NASC’a göre ise pozitifdir (ort. $Eu/Eu^* = 1.36-1.18$) (Çizelge 2). Ortalama kısmen negatif Ce/Ce^* değerleri kondrite ve NASC’a göre benzerdir (0.91). Toplam nadir toprak element değeri (ΣNTE) killi örneklerde sedimanter ve ultramafik kayaçlara kıyasla yüksektir (152.78 ppm). Hem killi örneklerde hem de ana kayaçlarda NASC’a göre Rb , Y , Ba , Nb , Pb ve Th elementlerinde tüketilme gözlenmektedir.



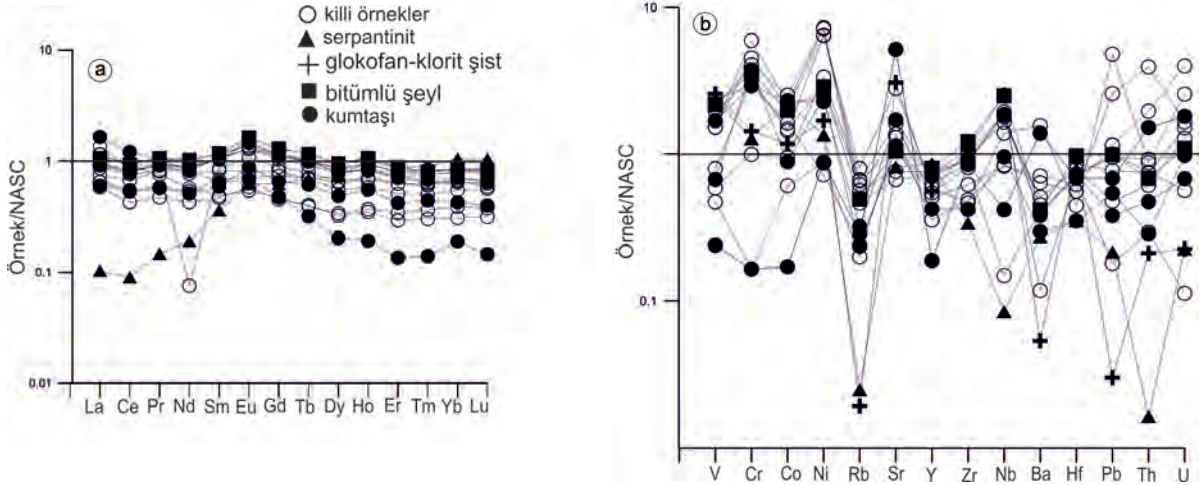
Şekil 7. Çalışma alanındaki altere örneklerde TiO_2 karşılık Ni kaynak diyagramı (Floyd vd. 1989).

Figure 7. Provenance diagram of TiO_2 vs. Ni in the studied altered samples (after Floyd et al. 1989).



Şekil 8. Çalışma alanındaki altere örneklerde paleoklimsel koşulları gösteren SiO_2 karşılık $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ diyagramı (Suttner ve Dutta, 1986).

Figure 8. Paleoclimate discrimination diagram of SiO_2 vs. $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ in the studied altered samples (after Suttner and Dutta, 1986)



Şekil 9. Alpu bölgesinden alınan kumtaşı, bitümlü şeyl, glokofan klorit şist, serpantin ve killi örneklerin NASC'a göre normalize edilmiş NTE ve iz element dağılımları a) NTE (La-Lu : Haskin vd. 1968; Dy: Kosiewicz, 1973), b) (V, Y, Nb ve Pb: Condie, 1993; diğer elementler: Gromet vd. 1984).

Figure 9. NASC-normalized REE and trace elements patterns of sandstone, bituminous shale, glophane-chlorite schist, serpentine and argillaceous samples a) REE (La-Lu : Haskin et al. 1968; Dy: Kosiewicz, 1973), b) (V, Y, Nb and Pb: Condie, 1993; other elements: Gromet et al. 1984).

Çizelge 1. Alpu havzasındaki örneklerin mineralojik bileşimi.**Table 1.** Mineral composition of the samples from Alpu basin.

Örnek no	Sme	Ilt/Mca	Kln	Tlc	Qz	Opl	Dol	Cal	Sd	Fsp	Gp	Alu	Py	Amp
ES4-1	+++		+							+				
ES4-3	++	acc	+		+				acc	+				
ES4-5	++		+		++			acc		acc				
ES4-6	+	+	+		++					acc				
ES4-8	++		+		+		+				acc		acc	acc
ES4-14	++++				acc		acc			+				
ES4-17	++++		acc		+		acc	acc		acc				
ES4-21	++	acc	acc		++		acc			+				
ES4-23	+	++			++					acc	acc		acc	acc
ES7-3	++++		acc		acc					+	acc		acc	
ES7-4	+++		acc		++			acc	acc					
ES7-6	++		+		++					acc				
ES7-7	+		+		++			acc	+	acc			acc	
ES7-11	++	+	++		acc					acc			acc	acc
ES7-18	++	acc	+	acc	++			acc		acc			acc	
ES7-20	+++	acc	+	acc	+					acc	acc	acc	acc	acc
ES7-22	++	+	+		+				acc	acc		acc		acc
ES7-24	+++	acc	+		+						acc		acc	
ES7-27	++	+	+	acc	+		acc		acc	acc			acc	acc

Sme: smektit, Ilt/Mca: illit/mika, Kln: kaolinit, Tlc: talk, Qz: kuvars, Opl: opal, Dol: dolomit, Cal: kalsit, Sd: siderite, Fsp: feldispat, Gp: jips, Alu: alunit, Py: pirit, Amp: amfibol, acc: aksesuar, +: mineral bolluk oranı (mineral adı kısaltmaları Whitney ve Evans, 2010'a göre verilmiştir).

Çizelge 2. Çalışma alanındaki ana kayaçlar ve killi örneklerin ana oksitler (wt. %), iz elementler (ppm) ve NTE içerikleri.**Table 2.** Major- (wt. %) and trace-element (ppm) compositions of fresh and argillaceous rocks from the study area

Ana Oksitler (wt.%)	Kumtaşı			Ortalama	Bitümlü	Glokofan-	Serpantinit
	ES4-7	ES7-8	ES7-25		şeyl	kloritışist	ES4-1
SiO ₂	67.19	56.24	48.85	57.42	50.98	48.58	39.84
Al ₂ O ₃	17.75	15.16	7.80	13.57	17.66	14.12	18.53
Fe ₂ O ₃	1.62	8.12	4.30	4.68	6.14	13.44	15.54
MgO	1.00	3.19	5.05	3.08	3.75	5.99	5.40
CaO	2.81	2.90	13.61	6.44	1.06	5.64	2.14
Na ₂ O	4.26	2.62	1.42	2.76	2.10	1.65	2.07
K ₂ O	1.61	1.26	1.11	1.32	1.49	0.10	0.16
TiO ₂	0.30	1.90	0.79	0.99	2.51	3.30	1.49
P ₂ O ₅	0.08	0.19	0.08	0.11	0.13	0.39	0.14
MnO	0.02	0.07	0.09	0.06	0.04	0.09	0.19
Cr ₂ O ₃	0.003	0.053	0.068	0.04	0.065	0.026	0.023
TOT/S	<0.02	0.04	0.08	0.04	0.10	<0.02	<0.02

Çizelge 2 devam ediyor/*continued*

TOT/C	0.06	0.77	4.01	1.61	2.91	0.16	1.09
A.K.	3.1	8.1	16.7	9.3	13.8	6.4	14.2
Toplam	99.84	99.82	99.86	99.84	99.77	99.72	99.79
CIW	59.48	61.36	22.25	47.69	76.88	52.07	71.88
İz Elementler (ppm)							
Ba	881	242	188	437	264	34	172
Co	4.4	59.4	22.7	28.8	51.1	30.1	57.6
Cs	0.7	1.9	2.2	1.6	4.4	<0.1	0.2
Ga	18.9	16.8	9.6	43.9	20.7	20.7	15.8
Hf	4.3	4.5	2.2	3.6	6.1	5.7	2.2
Nb	5.4	24.2	12.4	14	32.3	32.8	1.1
Rb	35.3	40.1	29.4	34.9	61.3	2.4	3.1
Sn	6	3	2	3.6	2	2	<1
Sr	731.5	241.9	160.8	378	148.4	435.9	115.4
Ta	0.5	1.6	0.7	0.9	1.9	2	<0.1
Th	18.6	5.8	3.5	9.3	8.4	2.6	<0.2
U	4.8	1.8	2.6	3	2.9	0.6	0.6
V	31	219	87	112.3	283	334	311
W	<0.5	1	0.5	0.6	1.6	<0.5	0.6
Zr	168.9	183.9	83.6	145.4	241.8	212.8	67.2
Y	6.6	24.5	14.7	15.2	27.9	19.6	30
La	52.7	29.1	19.1	33.6	34.1	22.4	3.3
Ce	87.7	57.2	38.7	61.2	67.9	50.1	6.6
Pr	8.26	7.31	4.48	6.6	8.4	6.69	1.16
Nd	26.9	29.7	16.8	24.4	33.8	27.9	6.3
Sm	3.64	5.87	3.35	4.2	6.67	6.15	2.04
Eu	0.84	1.80	1.09	1.24	2.02	1.96	0.77
Gd	2.49	5.88	3.38	3.91	6.73	5.68	3.22
Tb	0.27	0.86	0.52	0.55	0.98	0.83	0.59
Dy	1.22	4.74	2.90	2.95	5.67	4.46	4.35
Ho	0.20	0.86	0.57	0.54	1.11	0.74	1.03
Er	0.46	2.44	1.42	1.44	2.99	2.10	2.98
Tm	0.07	0.34	0.22	0.21	0.4	0.27	0.45
Yb	0.59	2.18	1.31	1.36	2.65	1.61	3.24
Lu	0.07	0.31	0.19	0.19	0.4	0.23	0.50
Pb	13.6	7.6	10.8	10.6	19.7	0.6	4.3
Zn	29	82	29	46.6	132	96	109
Ni	50.9	131.9	142	108.2	165.5	98	78
Au (ppb)	<0.5	1.6	1.5	1.2	1.9	1.6	0.6
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mo	0.5	0.3	0.3	0.3	0.7	<0.1	<0.1
Cu	35.5	69.7	26.7	43.9	100.8	18.9	136.3
As	1.6	5.3	<0.5	2.4	6.2	7.1	0.9
Cd	<0.1	0.2	0.1	0.1	0.5	<0.1	<0.1
Sb	0.2	0.1	0.2	0.16	0.6	<0.1	<0.1
Bi	0.3	0.1	<0.1	0.16	0.2	<0.1	<0.1
Hg	<0.01	0.06	0.20	0.09	0.15	<0.01	<0.01
ΣNTE	192.01	173.09	108.73	157.94	201.72	150.72	66.53
ΣHNTE	175.56	123.31	79.08	125.98	144.2	107.09	17.36

Çizelge 2 devam ediyor/continued

Σ ONTE	8.66	20.01	11.81	13.49	23.18	19.82	12.00
Σ ANTE	1.19	5.27	3.14	3.2	6.44	4.21	7.17
(Eu/Eu*) _{cn}	0.85	0.94	0.99	0.92	0.92	1.01	0.92
(Eu/Eu*) _{nasc}	1.23	1.35	1.42	1.33	1.32	1.46	1.32
(Ce/Ce*) _{cn}	0.86	0.91	0.96	0.91	0.92	0.99	0.78
(Ce/Ce*) _{nasc}	0.88	0.26	0.93	0.69	0.88	0.92	0.68

Σ NTE = toplam (La–Lu)+Y; Σ HNTE = toplam La–Nd; Σ ONTE = toplam (Sm–Ho); Σ ANTE = toplam (Er–Lu); Eu/Eu* = $Eu_N / \sqrt{(Sm_N * Gd_N)}$ ve Ce/Ce* = $3Ce_N / (2La_N + Nd_N)$ (Mongelli 1997). N değeri kondrite göre normalize edilmiş değerdir (Sun ve McDonough, 1989). A:K: Ateşte kayıp

Killi örnekler

Ana oksitler (wt. %)	ES4-3	ES4-6	ES4-14	ES4-17	ES4-23
SiO ₂	54.82	52.30	51.51	48.27	55.09
Al ₂ O ₃	16.53	19.11	16.06	16.00	14.78
Fe ₂ O ₃	8.04	5.81	3.67	9.45	6.12
MgO	3.27	2.78	5.27	4.80	5.97
CaO	1.07	2.73	1.42	1.96	2.46
Na ₂ O	1.36	2.08	0.63	0.54	1.88
K ₂ O	1.21	2.38	0.87	1.25	2.69
TiO ₂	1.52	0.83	0.32	0.83	0.63
P ₂ O ₅	0.15	0.14	0.11	0.04	0.15
MnO	0.14	0.08	0.02	0.05	0.06
Cr ₂ O ₃	0.108	0.018	0.003	0.074	0.058
TOT/S	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	0.23
TOT/C	0.76	1.02	0.04	0.21	0.22
A.K.	11.5	11.5	19.9	16.5	9.7
Toplam	99.84	99.86	99.84	99.84	99.78
CIW	80	69.51	81.77	78.25	66.28
İz Elementler (ppm)					
Ba	322	449	404	83	993
Co	57.2	24.4	15.6	42.3	36.8
Cs	4.4	3.8	2.4	2.8	13.9
Ga	17.2	20.3	13.3	13.5	16.1
Hf	4.9	3.9	3.5	2.6	2.8
Nb	21.4	10.7	10.9	10.2	18
Rb	57.8	82.2	25	43.1	99.3
Sn	2	4	<1	<1	4
Sr	94.7	228.1	194.3	141.9	396.9
Ta	1.4	1.5	1.2	0.6	1.3
Th	7.5	24.1	48.3	9.9	10.7
U	3.4	10.6	4.4	1	6.8
V	198	76	61	134	103

Çizelge 2 devam ediyor/*continued*

W	1	0.8	0.6	1.5	2
Zr	185.8	123	97.1	97.5	92.4
Y	25.1	17.8	12.4	9.9	20.5
La	31	36.7	43.2	18.6	20.7
Ce	58.8	66.4	66.4	31	39.7
Pr	7.18	7.27	5.95	3.71	4.57
Nd	27.7	25.4	18.7	14	17.6
Sm	5.92	4.66	2.75	2.65	3.87
Eu	1.61	0.99	0.67	0.72	0.89
Gd	5.39	4.23	2.43	2.33	3.82
Tb	0.78	0.58	0.33	0.34	0.60
Dy	4.65	3.31	2.02	1.93	3.84
Ho	0.90	0.60	0.38	0.36	0.70
Er	2.47	1.72	1.16	0.99	2.12
Tm	0.38	0.25	0.18	0.15	0.31
Yb	2.44	1.68	1.20	0.95	2.10
Lu	0.38	0.27	0.18	0.15	0.33
Pb	9.5	23	51.6	3.6	95.9
Zn	69	70	25	47	123
Ni	413.9	194	50.2	208.2	371.4
Au (ppb)	2.3	0.6	<0.5	1.9	3.9
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2
Mo	0.2	1.4	<0.1	<0.1	3.3
Cu	53.4	52.9	15.1	41.6	32.2
As	28.8	6	1	0.5	19.5
Cd	0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.6
Sb	<0.1	0.4	0.5	<0.1	0.3
Bi	0.2	1	0.8	0.2	1.7
Hg	0.13	0.06	0.03	0.15	0.03
$\sum NTE$	174.7	171.86	157.95	87.78	121.65
$\sum HNTE$	124.68	135.77	134.25	67.31	82.57
$\sum ONTE$	19.25	14.37	8.58	8.33	13.72
$\sum ANTE$	5.67	3.92	2.72	2.24	4.86
(Eu/Eu*) _{cn}	0.87	0.68	0.79	0.89	0.71
(Eu/Eu*) _{nasc}	1.25	0.98	1.14	1.27	1.02
(Ce/Ce*) _{cn}	0.90	0.89	0.80	0.81	0.92
(Ce/Ce*) _{nasc}	0.87	0.89	0.84	0.80	0.89

Killi örnekler

Ana oksitler (wt. %)	ES7-3	ES7-4	ES7-18	ES7-24	Ortalama
SiO ₂	43.91	51.21	46.89	49.15	50.35
Al ₂ O ₃	16.12	21.85	17.37	15.75	17.06

Çizelge 2 devam ediyor/continued

Fe ₂ O ₃	17.78	5.03	9.60	12.18	8.63
MgO	2.76	2.02	5.34	4.77	4.10
CaO	0.75	0.69	1.25	1.64	1.55
Na ₂ O	2.45	1.35	1.13	0.50	1.32
K ₂ O	0.47	1.43	2.18	2.65	1.68
TiO ₂	2.81	1.51	2.09	1.53	1.34
P ₂ O ₅	0.09	0.04	0.1	0.09	0.10
MnO	0.04	0.02	0.08	0.09	0.05
Cr ₂ O ₃	0.053	0.059	0.074	0.082	0.05
TOT/S	0.23	0.03	0.05	0.06	0.07
TOT/C	0.22	0.97	2.02	0.12	0.62
A.K.	12.6	14.5	13.6	11.3	13.4
Toplam	99.83	99.82	99.77	99.80	99.82
CIW	75.05	86.46	80.95	80.62	77.65
İz Elementler (ppm)					
Ba	75	252	286	259	324.7
Co	41.8	38	64.7	53.5	41.5
Cs	0.8	9.2	6.7	6.1	5.5
Ga	20.8	25.3	20.1	17.8	18.2
Hf	4.3	4.6	5.4	4.4	4.0
Nb	25.2	23.2	23.7	1.94	16.1
Rb	29.7	77.2	70.4	83.3	63.1
Sn	1	3	3	2	2.3
Sr	151.3	184	108.2	149.8	183.2
Ta	1.6	1.2	1.8	1.3	1.3
Th	3.6	11.3	9.1	9.2	14.8
U	0.3	2.6	4	1.5	3.8
V	307	253	269	197	177.5
W	0.7	1.6	1.5	1.7	1.2
Zr	171.2	179.7	207.2	161.6	146.1
Y	21.8	26.6	26.2	19	19.9
La	23.8	36.5	29.8	27.6	29.7
Ce	48.6	68	59.7	55.5	54.9
Pr	6.48	8.42	7.33	6.38	6.36
Nd	27.6	31.9	28.9	2.51	21.59
Sm	6.04	6.67	6.06	4.89	4.83
Eu	1.86	1.67	1.60	1.33	1.26
Gd	5.83	5.95	5.70	4.58	4.47
Tb	0.84	0.89	0.84	0.67	0.65
Dy	4.72	5.01	5.20	3.94	3.84
Ho	0.85	0.96	0.98	0.73	0.71

Çizelge 2 devam ediyor/*continued*

Er	2.38	2.74	2.69	2.12	2.04
Tm	0.32	0.42	0.40	0.30	0.30
Yb	2.04	2.51	2.59	1.99	1.94
Lu	0.28	0.41	0.38	0.30	0.29
Pb	3.6	19	15.4	19.9	26.8
Zn	82	46	120	97	75.4
Ni	123.9	166.7	421.5	374.4	258.2
Au (ppb)	4.8	3.1	3.6	5.1	2.8
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mo	0.1	<0.1	0.5	0.2	0.6
Cu	51.8	93.5	110.5	88	59.8
As	85.4	2.4	2.3	6.4	16.9
Cd	<0.1	0.3	0.4	<0.1	0.2
Sb	<0.1	0.1	0.7	0.4	0.3
Bi	<0.1	0.4	0.3	0.3	0.5
Hg	<0.01	0.24	0.09	0.19	0.10
ΣNTE	153.44	198.65	178.37	131.84	152.78
$\Sigma HNTE$	106.48	144.82	125.73	91.99	112.55
$\Sigma ONTE$	20.14	21.15	20.38	16.14	15.76
$\Sigma ANTE$	5.02	6.08	6.06	4.71	4.57
(Eu/Eu*) _{cn}	0.96	0.81	0.83	0.86	0.82
(Eu/Eu*) _{nasc}	1.38	1.16	1.20	1.23	1.18
(Ce/Ce*) _{cn}	0.92	0.89	0.93	1.14	0.91
(Ce/Ce*) _{nasc}	0.86	0.86	0.90	1.27	0.91

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Alpu kömür havzasında, kömürle ara katkılı killer, bataklık, organikçe-zengin gölsel ortamda fayların kontrolü altında ofiyolitik ve piroklastik kayalar tarafından beslenmesi sonucu diyajenez koşulları altında oluşmuşlardır. Petrografik ve mikromorfolojik olarak, kuvars ve klorit gibi detritik tanelerinin etrafının smektit tarafından kaplanması, pirit, jips, siderit oluşumu, smektitlerin illite dönüşümü, karbonat çimentosu, yer yer biyotitlerin kloritleşmesi bu sahada önemli diyajenez kanıtlarıdır. Aynı kanıtlar Alberta-Kanada bölgesindeki sedimanter kayalarda da gözlenmektedir (Deschamps vd. 2012). Feldispatların üzerinde mikroorganizmaların gelişmesi ve şeyllerdeki organik madde üzerinde

smektit gelişimi biyolojik aktivitenin kil minerallerinin oluşumu üzerinde etkili olduğunu düşündürmektedir (Tazaki, 2006; Ehrlich ve Newman, 2009). Çalışma alanında baskın kil minerali smektittir ve derine doğru gittikçe artmaktadır. Duraysız ferromagnezyen ve feldispat minerallerinin asidik gözenek sularıyla çözülüp, alterasyonu K, Na, Ca, Al, Mg, Si ve Fe iyonları serbest kalır ve diyajenetik ortamda detritik tanelerin etrafını kaplıyan otijenik smektitler oluşur. Daha az orandaki otijenik kaolinit ise kumtaşı-şeyl sınırında artmaktadır ve feldispat ve mikanın sığ derinliklerde meteorik suların etkisiyle çözülmesiyle Na, K ve Si'in uzaklaşmasıyla asidik ortamda erken diyajenez boyunca oluşmuştur (Bjørlykke, 1994). Smektitin otijenik illite dönüşümü için gerekli olan K, Al ve

Si iyonları muhtemelen kumtaşı, bitümlü şeyl ve glokofan-klorit şistten gelmektedir ve bu dönüşüm 60 ile 100°C arasında olmaktadır (Ahmed, 2002). CIW değerlerinin ana kayaçlardan killi örneklerle doğru artması da yoğun bir bozunma olduğunu göstermektedir (Zaid ve Gahtani, 2015). Na, Ca ve Sr'un büyük iyonik yarıçaplı K, Rb ve Ba'un killi örneklerde zenginleşmesi, killerde absorpsiyon ve iyon değişimiyle kalmalarından ileri gelmektedir (Abayazeed, 2012). Sr'un çoğunlukla plajiyoklazlarda bulunması, plajiyoklazların bozunmasıyla Sr içeriğinin azalmasına yol açmaktadır. NASC'a göre Rb, Y, Ba, Nb, Pb ve Th elementlerinde tüketilme killerin yeniden kristalleşmesine, alkali feldispatların, amfibollerin ilerleyen bozunmasına ve indirgenme ortamına yol açmaktadır (Fulignati vd. 1999; Gürel, 1991; Rollinson, 1993; Lackschewitz vd. 2000; Nyakairu ve Koeberl, 2001; Bal Akkoca ve Baytaşoğlu, 2013; Yuan vd. 2014).

Ni/Co oranlarının ana kayaçlarda < 5 olması oksijenli koşulları, >5 olması, havzadaki killerin oluşumunda suboksik ve anoksit koşulları (oksijensiz), V/(V+Ni) oranları (0.4-0.60) da dioksit koşulları yansıtmaktadır (Rimmer, 2004; Akinyemi vd. 2013). SiO₂ karşılık (Al₂O₃+K₂O+Na₂O) diyagramı da kurak-yarı kurak bir ortamın hakim olduğunu göstermektedir (Jones ve Manning, 1994; Chen vd. 2016). Alpu bölgesindeki linyitlerin oluşum koşullarının Miyosen döneminde çevre bitki örtüsü açısından fakir, kurak, dağlık alanların arasındaki sığ göllerde oluşması palinolojik verilerle de desteklenmektedir (Usta, 2013).

Pozitif Eu anomalisi, killi örneklerin plajiyoklazlardan itibaren geliştiğini ve indirgenme koşullarını göstermektedir ki havzada kömürün olması da bunu desteklemektedir (Leea vd. 2004; Lee vd. 2003; Tirumalesh vd. 2012). Kısmen negatif Ce anomalisi indirgenme koşullarını gösterir ki piritin çalışma alanındaki kömürün içinde ve organikçe zengin bitümlü seviyelerde zenginleşmesi bunu işaret etmektedir (Křibek

vd.1998; Bal Akkoca ve Baytaşoğlu, 2013). Aynı zamanda kömüre yakın seviyelerde bitümlü şeyl ve killerdeki S (0.10-0.23) içeriğinin artması pirit, jips ve eser miktarda alunit oluşumuyla kendini göstermektedir ki bunu XRD verileri de desteklemektedir. Piritin oksidasyonu ile sülfürik asit oluşumu, feldispat ve illit/muskovitin hidrolizi sonucu potasyum kaynağı ile jips ve eser miktarda alunit diyajenetik koşullarda oluşmuştur ve benzer durum Jordan'daki alunit ve jips oluşumlarıyla benzerdir (Al-Momani, 2007).

KATKI BELİRTME

Makalenin hazırlanmasında yaptığı katkıdan dolayı Prof. Dr. Selahattin Kadir'e (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi) teşekkür ederim.

EXTENDED SUMMARY

Miocene-Pliocene units consist of from bottom to top m1 units (conglomerate, sandstone and claystone), m2 units (conglomerate, claystone, coal layer intercalated with bituminous shale, tuff and tuffite), m3 units (limestone and conglomerate) and Pliocene units (conglomerate and claystone) in Alpu coal basin within Eskişehir graben which cut by the İnönü segment of Eskişehir fault zone. The study aims to reveal the clays intercalated with coal layers geological, mineralogical and geochemical properties. In this scope, petrographic and scanning electron microscopies, X-ray diffraction (whole-rock and clay fraction) and whole-rock geochemistry methods were performed on the borehole core samples. The alteration of muscovite, chlorite, plagioclase, orthoclase and serpentine minerals, chloritization of biotite, Fe-oxy (hydr)oxidation within clayey or carbonate cement in host rocks (serpentine, quartz sandstone, bituminous shale and glophan-chlorite schist) reveal their diagenetic conditions. The borehole samples composed of abundant smectite accompanied by kaolinite, illite,

feldspar, quartz, opal-CT, amphibole, gypsum, siderite, calcite, dolomite, alunite and pyrite. Scanning electron microscopy studies show that flaky and cornflakes smectite on the feldspar and organic matter developed edge the flaky illite, microorganism effect of relict feldspar and presence of euhedral gypsum crystals. K, Na, Ca, Al, Mg, Si and Fe ions derived from ferromagnesian and feldspar minerals which effect of organic acids and microorganisms and occur smectite covered by detritic grains in diagenetic environment. K, Al and Si ions for illite originated from sandstone, bituminous shale and glaucophane-chlorite schist. The positive Eu and partialy negative Ce anomalies according to NASC in argillaceous samples exhibit that alteration of plagioclase and amphibole and reducing conditions. This suggests that the loss of Rb, Y, Ba, Nb, Pb and Th elements. The pyrite and gypsum concentration increase in coal and bituminous shale levels and associated with microorganism suggest swampy environment and oxidation of pyrite. Ni/Co and V/(V+Ni) ratios reveal that clays occur in suboxic-anoxic and dysoxic conditions. TiO₂/Ni and SiO₂ versus (Al₂O₃+K₂O+Na₂O) diagrams exhibit that argillaceous samples predominantly originated from sedimentary rocks under arid-semi arid conditions.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Abayazeed, S.D., 2012. The geochemistry of some Egyptian smectitic clays. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(3), 589-599.
- Ahmed, W., 2002. Effects of heat-flow and hydrothermal fluids from volcanic intrusions on authigenic mineralization in sandstone formations. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, 16(1), 37-52.
- Akinyemi, S.A., Adebayo, O.F., Ojo, O.A., Fadipe, O.A. ve Gitari, W.M., 2013. Mineralogy and geochemical appraisal of paleo-redox indicators in Maastrichtian outcrop shales of Mamu Formation, Anambra Basin, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research*, 3 (10), 48-64.
- Al-Momani, T.M., 2007. Occurrences and origin of alunite, south Jordan. *Journal of Applied Sciences* 7(8), 1230-1234.
- Bal Akkoca, D. ve Baytaşoğlu, Z. 2013. The mineralogy and geochemistry of Neogene sediments from the eastern Turkey, southeast of Arapgir (Malatya). *Turkish Journal of Earth Science*, 22, 645–663.
- Baş, H., Akıncı, H., Dinçel, A., Okumuş, A., Kırıl, K. ve Şen, M.A., 1983. Domaniç Tavşanlı Gediz Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi. MTA Derleme No: 7293, 83s.
- Bjørlykke, K., 1994. Fluid flow and diagenesis in sedimentary basins. Pp. 127-140 in: *Geofluid: Origin, Migration and Evolution of fluids in Sedimentary Basins* (J. Parnell, editor). *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 78.
- Chen, B., Liu, G., Wu, D. ve Sun, R., 2016. Comparative study on geochemical characterization of the Carboniferous aluminous argillites from the Huainan Coal Basin, China. *Turkish Journal of Earth Science*, 25, 274–287.
- Condie, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104, 1-37.
- Deschamps, C.M., Vucetich, M.G., Verzi, D.H. ve Olivares, A.I., 2012. Biostratigraphy and correlation of the Monte Hermoso Formation (early Pliocene, Argentina): The evidence from caviomorph rodents. *Journal of South American Earth Sciences*, 35, 1-9.
- Ehrlich, H.I. ve Newman, D.K., 2009. *Geomicrobiology*, 5th edn. CRC Press Taylor and Francis Group: Boca Raton, FL, 606 s.
- Floyd, P.A., Winchester, J.A. ve Park, R.G., 1989. Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, NW Scotland. *Precambrian Research*. 45, 203–214.
- Fulignati, P., Gioncada, A. ve Sbrana, A., 1999. Rare-earth element (REE) behaviour in the alteration facies of the active magmatic-hydrothermal system of Vulcano (Aeolian Islands, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 88, 325–342.

- Gözler, Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, J.H., 1996. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi. MTA Derleme No: 9973 (yayınlanmamış).
- Gromet, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A. ve Korotev, R.L., 1984. The “North American shale composite”: Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 2469-2482.
- Gürel, A. 1991. Veränderung im Stoffbestand der Verwitterungsdecke als Folge natürlicher Bodenbildungsprozesse und anthropogener atmosphärischer Deposition (Säure, Schwermetalle). *Ber. Forsch. Zent. Waldökosyst. Reihe A.*, Bd. 82.
- Haskin, L.A., Wildeman, T.R. ve Haskin, M.A., 1968. An accurate procedure for the determination of the rare earths by neutron activation. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 1, 337-348.
- Jones, B. ve Manning, D.C., 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleo-redox conditions in Ancient mudstones. *Chemical Geology*, 111, 111-129.
- Kosiewicz, S.T., 1973. Rare-earth elements in U.S.G.S. rocks SC0-1 and STM-1, basalts from the Servilleta and Hindale formations, and rocks from the Stilwater and Muskox intrusions. University of Wisconsin, Madison, Wisc., Ph.D. Thesis (unpublished).
- Kříbek, B., Strnad, M., Boháček, Z., Sýkorová, I., Čejka, J. ve Sobalík, Z., 1998. Geochemistry of Miocene lacustrine sediments from the Sokolov Coal Basin (Czech Republic). *International Journal of Coal Geology*, 37, 207-233.
- Lackschewitz, K.S., Singer, A., Botz, R., Garbe-Schönberg, D., Stoffers, P. ve Horz, K., 2000. Formation and transformation of clay minerals in the hydrothermal deposits of Middle Valley, Juan de Fuca Ridge, ODP Leg 169. *Economic Geology*, 95, 361-390.
- Lee, S.G., Lee, D.H. Kim, Y., Chae, B.G., Kim, W.Y. ve Woo, N. Ch., 2003. Rare earth elements as indicators of groundwater environment changes in a fractured rock system: evidence from fracture-filling calcite. *Applied Geochemistry*, 18, 135-143.
- Leea, S.G., Kima, Y., Chae, B.G., Koha, D.C. ve Kimb, K.H., 2004. The geochemical implication of a variable Eu anomaly in a fractured gneiss core: application for understanding Am behavior in the geological environment. *Applied Geochemistry*, 19, 1711-1725.
- Mongelli, G., 1997. Ce-anomalies in the textural components of Upper Cretaceous karst bauxites from the Apulian carbonate platform (southern Italy). *Chemical Geology*, 140, 69-79.
- Moore, D.M. ve Reynolds, R.C., 1989. *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford (Oxford University Press), 332 s.
- Nyakairu, G.W.A. ve Koeberl, C., 2001. Mineralogical and chemical composition and distribution of rare earth elements in clay-rich sediments from central Uganda. *Geochemical Journal*, 35, 13-28.
- Ocañoğlu, F., 2007. A re-evaluation of the Eskişehir Fault Zone as a recent extensional structure in NW Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 31(2), 91-103.
- Rimmer, S.M., 2004. Geochemical paleoredox indicators in Devonian-Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA). *Chemical Geology*, 206, 373-391.
- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. John Wiley and Sons, New York.
- Siyako, F., 1982. Eskişehir Mihaliççik Koyunağılı linyit kömürü sahası jeoloji raporu. MTA Derleme No: 7111 (yayınlanmamış).
- Siyako, F., Coşar, N., Çokyaman, S. ve Coşar, Z., 1991. Bozüyük-İnönü-Eskişehir-Alpu-Beylikova-Sakarya çevresinin Tersiyer jeolojisi ve kömür olanakları. MTA Derleme No: 9281, 42 s (yayınlanmamış).
- Steffens, P., 1970. Eskişehir bölgesinin linyit olanakları hakkında rapor. MTA Derleme No: 6532 (yayınlanmamış).
- Sun, S.S. ve McDonough, W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications of for mantle compositions and processes. In: *Magmatism in the Ocean Basins* (A.D. Saunders and M.J. Nory, editors). Geological Society Special Publication, 42, 313-345, 1989.

- Suttner, L.J. ve Dutta, P.K. 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *International Journal of Sediment Research*, 56, 329–345.
- Şengüler, İ. 2009, Eskişehir Havzasındaki Kömürlerin Kökenine İlişkin Bir Değerlendirme. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 13-17 Nisan 2009, Ankara, 342.
- Şengüler, İ. 2011. Eskişehir Sivrihisar havzası Neojen kompilasyonu ve kömür potansiyeli. MTA Derleme No: 11473 (yayınlanmamış).
- Şengüler, İ. 2013. Geology and stratigraphy of the Eskişehir-Alpu coal basin. MTA (Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni), National Research Economy Bulletin, 16, 89-93 (in Turkish).
- Şengüler, İ ve Izladı, E. 2013. Eskişehir grabeninin Neojen stratigrafisi ve sismik yansıma etüdü ile kömür çökeli alanının araştırılması. MTA Dergisi, 146, 105-116.
- Tazaki, K., 2006. Clays, Microorganisms, and Biomineralization. In: Bergaya, F., Theng, B.K.G., Lagaly, G., (eds), *Handbook of Clay Science*. Elsevier, The Netherlands, 1224 s.
- Tirumalesh, K., Ramakumar, K.L., Chidambaram, S., Pethaperumal, S. ve Singh, G., 2012. Rare earth elements distribution in clay zones of sedimentary formation, Pondichery, South India. *Journal of Radio-analytical and Nuclear Chemistry*, 294, 303-308.
- Toprak, S., Cicioğlu Sütçü, E. ve Şengüler, İ., 2015. A fault controlled, newly discovered Eskişehir Alpu coal basin in Turkey, its petrographical properties and depositional environment. *International Journal of Coal Geology*, 138, 127-144.
- Usta, K. 2013. Alpu – Eskişehir linyitlerinin jeolojisi, palinolojisi, fiziksel ve kimyasal özellikleri ve benzer linyit havzaları ile karşılaştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Eskişehir, Yüksek Lisans Tezi, 210 s.
- Usta, K. ve Kutluk, H. 2014. Eskişehir-Alpu linyitlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 15(1), 51-67.
- Whitney, D.L ve Evans, B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187.
- Yuan, Y., She, G., Yang, M. Wu, Y., Zhang, Z., Huang, A. ve Zhang, J., 2014. Formation of a hydrothermal kaolinite deposit from rhyolitic tuff in Jiangxi China. *Journal of Earth Science*, 25, 495–505.
- Zaid, S.M. ve Al Gahtani, F., 2015. Provenance, diagenesis, tectonic setting and geochemistry of Hawkesbury Sandstone (Middle Triassic), southern Sydney Basin, Australia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, 72–98.



A Comparative Study on Computing Horizontal Derivatives of Gravity Data for Geological Contact Mapping

Jeolojik Dokanak Haritalama İçin Gravite Verilerinin Yatay Türevlerinin Hesaplanması Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma

Yunus Levent Ekinci^{1,2}

¹ *Bitlis Eren University, Faculty of Sciences and Arts, Dept. of Archaeology,
TR-13000, Bitlis-Turkey*

² *Bitlis Eren University, Career Research and Application Center, TR-13000, Bitlis-Turkey*

Geliş/Received : 19.01.2017 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 22.02.2017 • Kabul/Accepted : 27.02.2017 • Baskı/Printed : 01.04.2017

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Abstract: Computations of x- and y-components of the horizontal derivatives (gradients) from an anomaly grid (with x- and y-axes directed east and north, respectively) still take an important place in potential field data-processing techniques. These techniques may successfully bring out some significant subtle details that are masked in the anomaly maps. Particularly abrupt lateral changes in densities and magnetizations effectively aid geological mapping and these changes may be traced by some derivative-based techniques without specifying any prior information about the nature of the potential field source bodies. Hence derivative-based techniques are regularly used in the visual interpretation of potential field anomalies. It is well known that computation of horizontal derivatives can be performed through either fast Fourier transform (i.e. in wave number domain) or simple finite-difference equations (i.e. in space domain) to outline the geological source boundaries (edges). Numerous studies including the use of either one have been recorded in the literature so far. In this study, comprehensive comparisons of the solutions obtained from those techniques have been made using both synthetically produced and real gravity data sets. Synthetic applications have been performed using both noise-free and noisy gravity data sets for two different depth-to-source scenarios. Thus not only the signal-to-noise ratios but also the depth-to-source conditions have been analyzed to test the performance of those approaches. Additionally, a real data experiment has been achieved using regional Bouguer gravity anomalies from a portion of a well-known geological setting, the Aegean Graben System (Western Anatolia, Turkey).

Key Words: Fast Fourier transform, Finite-differences, First-order horizontal derivatives, Geological contact mapping, Gravity anomalies.

Öz: Potansiyel alan verilerinin işlenmesinde belirti gridinden (x- ve y-eksenleri doğu ve kuzey yönelimli olacak şekilde) yatay türevlerin x- ve y-bileşenlerinin hesaplanması günümüzde de önemli bir yer tutar. Bu işlemlerle belirti haritalarında ilk bakışta gözlenemeyen önemli detaylar belirlenebilir. En önemlisi ise yoğunluk ve manyetizasyondaki ani yatay değişimlerin ortaya konulmasının jeolojik haritalamaya yardımcı olabileceğidir. Bu değişimler, potansiyel alan kaynak yapılarının doğası hakkında bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan türev tabanlı tekniklerle belirlenebilmektedir. Bu nedenle türev tabanlı teknikler potansiyel alan belirtilerinin görsel yorumlanmasında düzenli olarak kullanılmaktadır. Yatay türevlerin jeolojik kaynak yapı sınırlarının belirlenmesi amacıyla hesaplanması genelde hızlı Fourier dönüşümü (dalga sayısı ortamında) veya basit sonlu-farklar (uzay ortamında) eşitlikleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Literatürde bu tekniklerin herhangi biri ile yapılmış sayısız çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada ise, hem sentetik hem de gerçek gravite verilerine her iki tekniğin uygulanmasıyla elde edilmiş çözümler kapsamlı bir şekilde kıyaslanmıştır. Sentetik uygulamalar farklı derinlik senaryoları ile gürültüsüz ve gürültülü veri kullanarak gerçekleştirilmiştir. Böylece her iki tekniğin başarısı, sadece sinyal-gürültü oranında değil aynı zamanda

yapı derinliği değişimlerinde de sınınmıştır. Ayrıca, Ege Graben Sistemi (Batı Anadolu, Türkiye) gibi iyi bilinen bir jeolojik ortamın bir kısmına ait gravite verilerinin kullanımı ile gerçek veri uygulamaları da yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Birinci dereceden yatay türevler, Gravite belirtileri, Hızlı Fourier dönüşümü, Jeolojik dokanak haritalama, Sonlu-farklar.

INTRODUCTION

Computations of directional derivatives of potential field anomalies in both horizontal and vertical directions are still one of the main data-processing and interpretation techniques for geological contact mapping. Edge detecting techniques are generally based on the position of extreme or zero points using directional derivatives and their various combinations (Wanyin et al. 2009). These techniques may describe lateral variations in lithology and yield useful information on structural systems and deformation styles (Zhang et al. 2011). Thus, they are commonly used in the visual interpretation of potential field anomaly maps. The main geological bodies, subtle geological features, geological contacts, geological structures and alignments, and also textural information about geological domains can be described through these techniques (Boschetti 2005). Therefore accurate computation of directional derivatives of potential field data is essential for data-processing and also in data-based interpretation (Roy 2013).

Numerous derivative-based data-processing techniques are frequently used as edge detecting tools such as total horizontal derivatives (Cordell and Grauch 1982, 1985), boundary analysis (Blakely and Simpson 1986), analytic signal amplitude (Roest et al. 1992), tilt angle (Miller and Singh 1994), enhanced horizontal derivative method (Fedi and Florio 2001), total horizontal derivative of the tilt angle (Verduzco et al. 2004), theta map (Wijns et al. 2005), local phase (Cooper and Cowan 2006), normalized standard deviations (Cooper and Cowan 2008), tilt angle derivatives (Salem et al 2008), terracing potential field data (Cooper and Cowan 2009), profile curvature (Cooper and Cowan 2011; Ekinici et al. 2013, 2014, Ekinici and Yigitbaş 2015), optimized detection

filters (Li et al. 2014), eigenvalue analysis of gravity gradient tensor (Zuo and Hu 2015), improved curvature gravity gradient tensor with principal component analysis (Wang et al. 2015), horizontal directional theta method (Yuan et al. 2016). In all these image enhancement techniques mentioned above, first-order horizontal derivatives in both x- (east) and y-directions (north) are used. Abrupt lateral changes in densities and magnetizations effectively help geological mapping and these changes may be determined by derivative-based techniques without a prior information about the nature of the causative geological sources. Thus the directional derivatives of potential field data and the products thereof play a significant role in anomaly enhancement (Roy 2013). Computation of horizontal derivatives is deployed fast and easy even using large potential field data sets. First-order horizontal derivatives of potential field anomalies are commonly obtained through fast Fourier transform (FFT) or finite-differences (FD) equations.

FFT, a spectral domain technique, is known to be efficient in computing directional derivatives. However, since the technique is sensitive to the noise content in the data, it may be flawed in some cases in computing derivatives (Cooper 2002; Wang 2008). On the other hand, because the differentiation is an ill-posed problem, small errors and deviations in the observations may cause large errors in the derivatives when using simple FD techniques as well (Menke 1984; Li and Ma 2013). It is clear that both techniques may have some drawbacks, and they may encounter problems when dealing with data containing noise content. In this study, therefore, the responses of those techniques were tested and compared using both synthetically produced and real gravity data sets. Both noise-free and noisy gravity anomalies

were produced for the synthetic simulations. Real data applications were carried out using a portion of regional Bouguer gravity anomalies of the well-known Aegean graben system (western Anatolia, Turkey). GMINTERP software package (Ekinci 2010; Ekinci and Yiğitbaş 2012, 2015) was used for the simulations presented in the following sections.

METHODOLOGY

The steepest total horizontal derivative (THD) of a gravity anomaly due to a tabular source tends to overlie the edges of the source body (Blakely 1996). The magnitude of the THDs is defined by

$$THD(x, y) = \left[\left(\frac{\partial \Delta g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta g}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

where Δg is the gravity anomaly, Δx and Δy are the first-order horizontal derivatives with respect to x- (east) and y- (north) directions, respectively. Using the simple FD approaches first-order horizontal derivatives are easily estimated (Blakely 1995). If the discrete measurements are carried out at uniform sample intervals, the horizontal derivatives of observed gravity data at any point are approximated by the following equations (Blakely 1995)

$$\frac{\partial \Delta g(x, y)}{\partial x} \approx \frac{\Delta g_{i+1, j} - \Delta g_{i-1, j}}{2\Delta x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Delta g(x, y)}{\partial y} \approx \frac{\Delta g_{i, j+1} - \Delta g_{i, j-1}}{2\Delta y} \quad (3)$$

where i and j represent the discrete values of $\Delta g(x, y)$ on the observation plane at uniform sample intervals Δx and Δy . Additionally, as originally described by Pedersen (1989), first-order horizontal derivatives can be obtained in wavenumber domain using FFT. According to the

differentiation theorem they are given by (Blakely 1995)

$$F \left[\frac{\partial \Delta g}{\partial x} \right] = (ik_x) F [\Delta g] \quad (4)$$

$$F \left[\frac{\partial \Delta g}{\partial y} \right] = (ik_y) F [\Delta g] \quad (5)$$

where ik_x and ik_y are the filters that make the transform on a horizontal surface into first-order horizontal derivatives, and F represents the FFT.

For the synthetic simulations, rectangular prisms were considered to approximate a volume of mass. The gravitational attraction of a single rectangular prism is easily computed by integration over the limits of the prism. A rectangular prism with uniform density has a vertical attraction at the origin that is given by following equation (Blakely, 1995)

$$g = \gamma \rho \int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{z'}{[x'^2 + y'^2 + z'^2]^{3/2}} dx' dy' dz' \quad (6)$$

where γ is the gravitational constant and ρ denotes the density contrast. The derivation of the preceding integral can be provided for the procedure (Plouff 1976), that is,

$$g = \gamma \rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \mu_{ijk} \left[z_k \arctan \frac{x_i y_j}{z_k R_{ijk}} - x_i \log \left(R_{ijk} + y_j \right) - y_j \log \left(R_{ijk} + x_i \right) \right] \quad (7)$$

where

$$R_{ijk} = (x_i^2 + y_j^2 + z_k^2)^{1/2} \quad (8)$$

$$\mu_{ijk} = (-1)^i (-1)^j (-1)^k \quad (9)$$

SIMULATIONS

Tests with Synthetic Data

The gravity response of vertical-sided three prisms (Figure 1a) was generated for the test simulations via Equation 7. A $0.25 \text{ km} \times 0.25 \text{ km}$ grid interval was used for 3D forward modeling. The model parameters of the causative prismatic bodies are given in Table 1. Figures 2a and b demonstrate the obtained THD image maps from the application of FFT and FD, respectively. Note that FFT assumes that a grid is periodic and thus it repeats itself infinitely many times in all horizontal directions, and this behavior mostly generates unwanted edge effects if the edges of the data grid do not meet smoothly with their repetitive neighbors (Blakely 1995). Thus, in this study, to reduce the possible discontinuities at the edges, the size of data grid was augmented to the next higher power of 2 by adding artificial data bands to the east and north edges of the data grid prior to the FFT. The added extra data bands were removed at the end of the operation as suggested previously by Ekinici and Yiğitbaş (2012, 2015).

It is clearly seen that both techniques produced almost identical anomaly maps (Figures 2a and b). Amplitude variations in both images exhibited a sharp transition in the amplitudes from the edges towards the centers of the model bodies. Horizontal boundaries of the prismatic bodies were successfully defined by high amplitudes. For the second synthetic example, the depths of the prismatic bodies were increased without changing the thicknesses (Table 2) to see the efficiency of the techniques against to the depth-to-source changes. The gravity response of the deeper source bodies is shown in Figure 1b. Since the depths of the bodies were increased, a lower amplitude (resolution) image map was obtained as expected. In this instance, although the high amplitude responses gave some clues for the source positions, FFT and FD techniques (Figures 2c and d) could not produce sharp boundaries for the edges due to low resolution. Additionally, it is worth mentioning here that unlike the FD-derived THD image (Figure 2d), high amplitude responses of the bodies located at the corners of the map plane are slightly blurred in the FFT-derived THD image (Figure 2c).

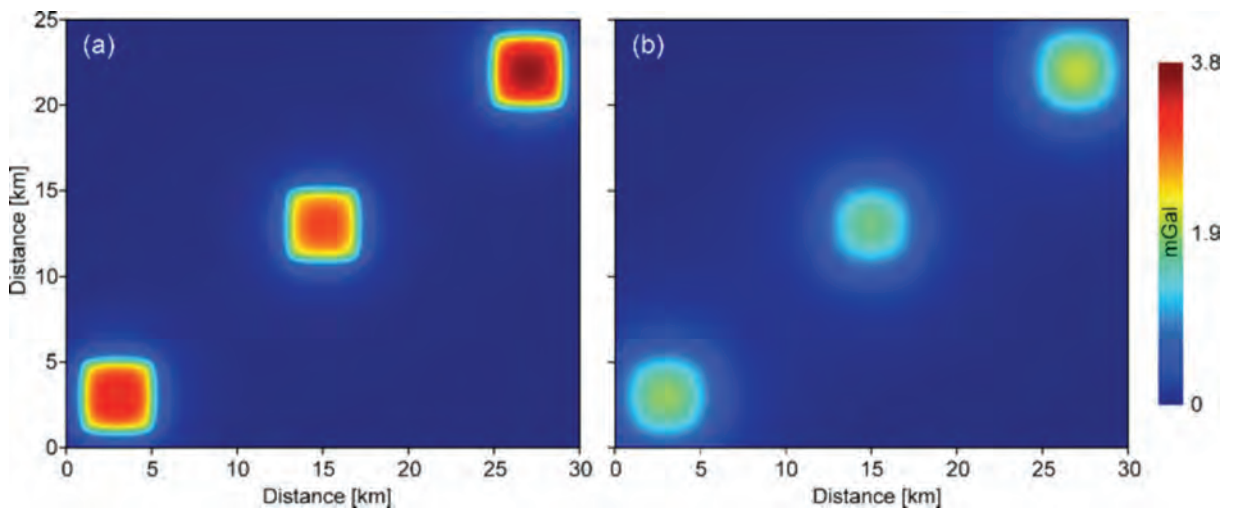


Figure 1. Noise-free synthetic gravity anomalies produced using the model parameters given in a) Table 1, and b) Table 2.

Şekil 1. a) Tablo 1 ve b) Tablo 2’de verilen model parametreleri kullanılarak üretilen gürültüsüz sentetik gravite belirtileri.

In the next step to carry out the test studies on noisy data sets anomaly maps given in Figures 1a and b were contaminated by adding normally distributed zero-mean pseudo-random numbers with standard deviations of ± 0.1 mGal and ± 0.03 mGal, respectively (Figures 3a and b). THD anomaly maps (Figures 4a and b) obtained by the use of both techniques indicate that the edges of the source bodies are clearly improved. However, the effect of the pseudo-random noise is much more enhanced in the FFT-derived THD image map (Figure 4a). Considering the responses of the both operators (Figures 4c and d) on the amplitude

of deeper bodies (Figure 3b) it is obvious that the edges of the source bodies are dominated by low resolution and the noise content is notably increased in FFT-derived THD map (Figure 4c). The synthetic simulations performed using idealized model bodies clearly showed that when the noise level is low or does not exist FFT and FD techniques produce almost the same THD anomaly maps. On the other hand, although both techniques are sensitive to the noise content in the anomalies, FFT amplifies the amplitude of the artificial noise more than does the FD technique.

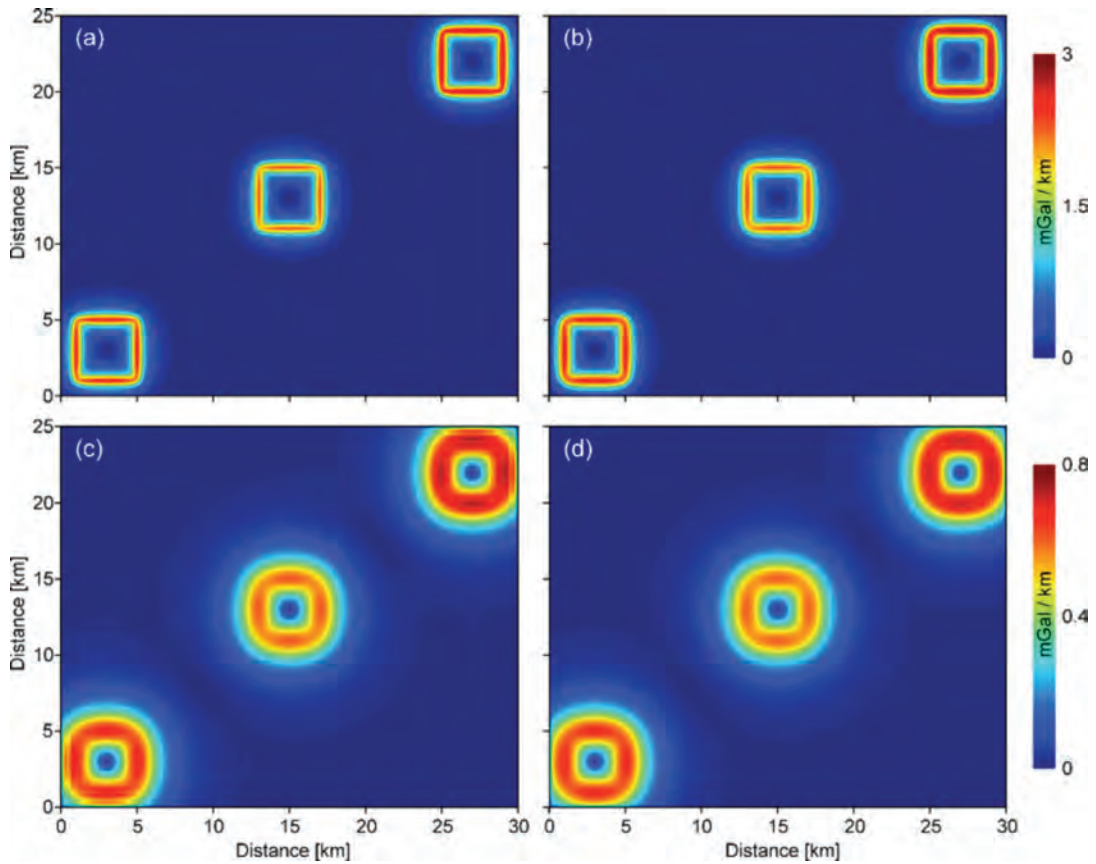


Figure 2. Obtained THD images of a) Figure 1a through FFT, b) Figure 1a through FD, c) Figure 1b through FFT and d) Figure 1b through FD.

Şekil 2. a) HFD kullanarak Şekil 1a'dan, b) SF kullanarak Şekil 1a'dan, c) HFD kullanarak Şekil 1b'den ve d) SF kullanarak Şekil 1b'den elde edilen TYT görüntü haritaları.

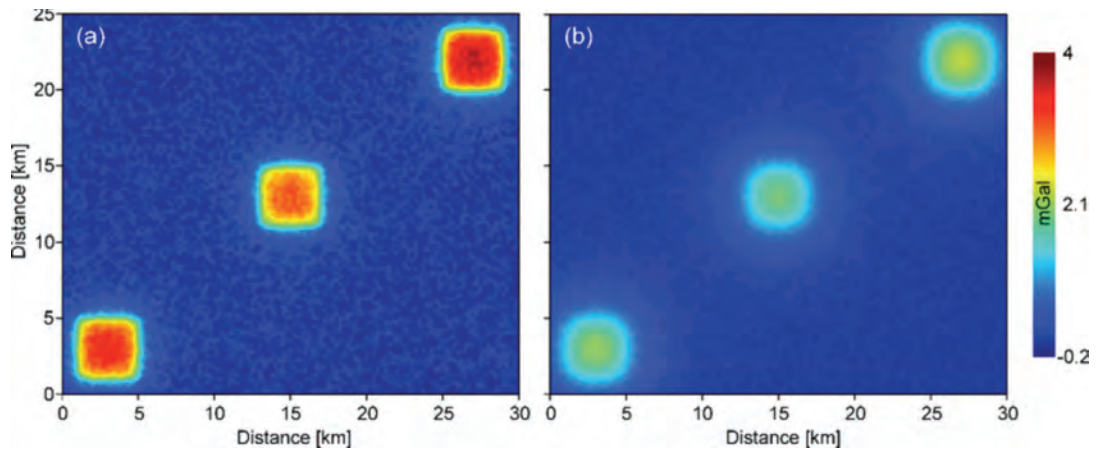


Figure 3. Synthetic gravity anomalies produced using some artificial noise content and the model parameters given in a) Table 1, and b) Table 2.

Şekil 3. a) Tablo 1 ve b) Tablo 2’de verilen model parametreleri ve bir miktar yapay gürültü kullanılarak üretilen sentetik gravite belirtileri.

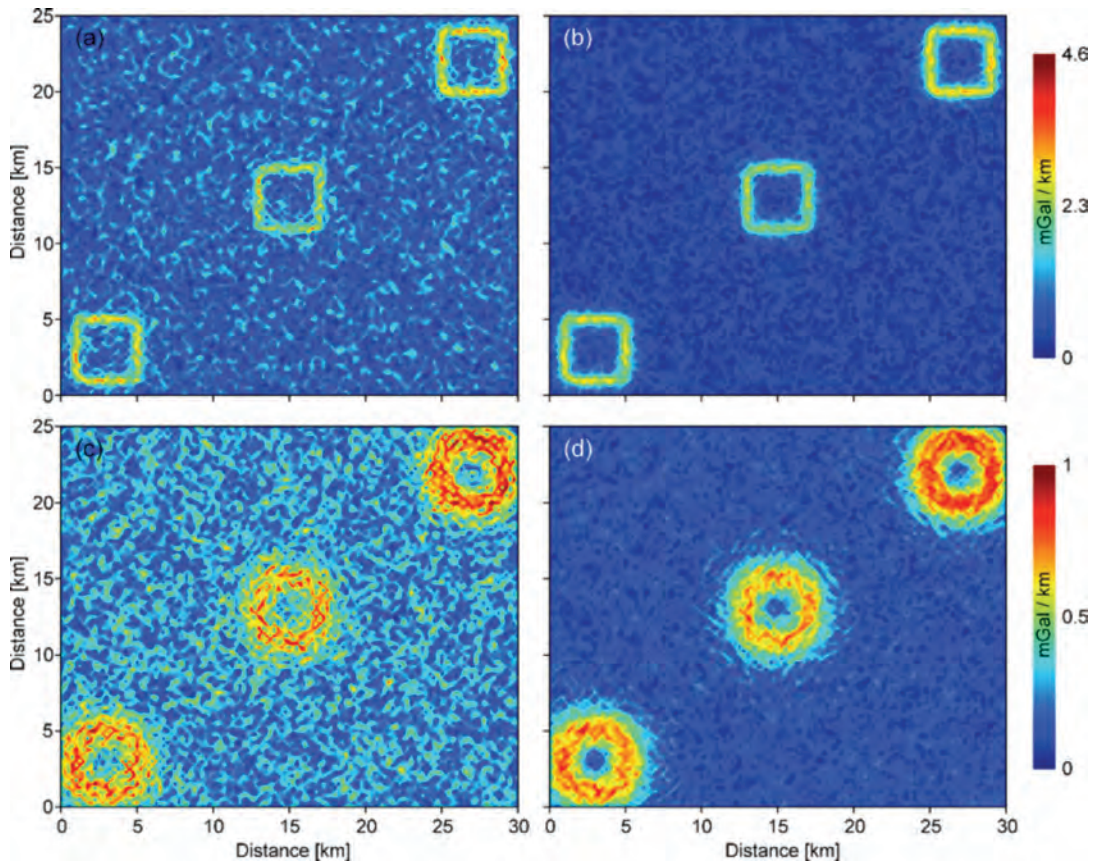


Figure 4. Obtained THD images maps of a) Figure 3a through FFT, b) Figure 3a through FD, c) Figure 3b through FFT and d) Figure 3b through FD.

Şekil 4. a) HFD kullanarak Şekil 3a’dan, b) SF kullanarak Şekil 3a’dan, c) HFD kullanarak Şekil 3b’den ve d) SF kullanarak Şekil 3b’den elde edilen TYT görüntü haritaları.

Table 1. Model parameters of three prismatic bodies used for the first synthetic application.

Çizelge 1. İlk sentetik uygulama için kullanılan üç prizmatik yapının model parametreleri.

Body number	Model parameters						
	x1 (km)	x2 (km)	y1 (km)	y2 (km)	h1 (km)	h2 (km)	rho (g cm ⁻³)
1	25	29	20	24	0.1	1.1	0.12
2	1	5	1	5	0.1	1.1	0.11
3	13	17	11	15	0.1	1.1	0.10

Table 2. Model parameters of three prismatic bodies used for the second synthetic application.

Çizelge 2. İkinci sentetik uygulama için kullanılan üç prizmatik yapının model parametreleri.

Body number	Model parameters						
	x1 (km)	x2 (km)	y1 (km)	y2 (km)	h1 (km)	h2 (km)	rho (g cm ⁻³)
1	25	29	20	24	1.1	2.1	0.12
2	1	5	1	5	1.1	2.1	0.11
3	13	17	11	15	1.1	2.1	0.10

Test with Real Data

The test area considered for the real data example is a well-known geological setting located at the Aegean Graben System (Western Anatolia, Turkey), and it covers an area of 11200 km² (Figure 5a). Sharp topography in the area is due to young horst-graben geomorphology (Figure 5b). In the study area, NE–SW trending basins (GD: Gördes Basin, DB: Demirci Basin and SB: Selendi Basin) are seismically active regions and they are bounded by active faults (Figure 5c). Through the GDG (Gediz Graben) the footwall of the detachment faults consists of different lithologies belonging to metamorphic rocks of the Menderes Massif (Ekinçi et al. 2013), described as Pre-Neogene basement here (Figure 5c). The total thickness of sedimentary fill of the GDG reaches up to about 2500 m (Çiftçi and Bozkurt 2009). The hanging wall of the detachment fault is characterized by a Miocene to Pliocene sedimentary sequence of clastics labeled as Neogene rocks and by Quaternary alluvium (Ekinçi et al. 2013).

GB and SB, as NE–SW trending secondary grabens in the north of GDG, are the components of West Anatolia Extensional Province (WAEP). Both GB and SB comprise Neogene rocks (Figure 5c), which were developed through Miocene, and Quaternary. The GB is marked with Quaternary Alluvium and Neogene (Early Miocene) aged basin fills consisting of clastic, lacustrine and tuffaceous rocks which unconformably overlie Pre-Neogene basement including metamorphic rocks of the Menderes Massif and ophiolitic melange, and each of them is cut by intrusive bodies (Purvis and Robertson 2005). The SB developed over the metamorphic basement of the Menderes Massif and ophiolitic melange (Seyitoğlu 1997, Purvis and Robertson 2005), starts with Early Miocene alluvial fan and fluvio-lacustrine sediments and follows with unconformably Early-Middle Miocene continental clastics to lacustrine sediments fill (Seyitoğlu 1997). Sedimentary package overlain Early Miocene strata are coeval and intercalated with volcanic rocks (Seyitoğlu

1997). The youngest one in the succession is unconformable Pliocene-Quaternary sediment and Quaternary Volcanics (Purvis and Robertson 2005).

DB which developed on the Menderes Massif has similar stratigraphy with SB that comprises two main volcano-sedimentary successions (Helvacı 2015). The basin-fill starts with Early-Middle Miocene conglomerates of the Kürtköyü formation that pass upwards into the sandstone–mudstone alternations of the Yeniköy formation (Helvacı 2015). These units are unconformably overlain, in ascending order, by the Mahmutlar formation, the Demirci formation, and the Sevinçler volcanics that crop out in the northeastern part of the basin (İnci 1984). Strike-slip faults with the normal component are basin-bounding faults of NE–SW trending basins and exhibit an almost straight outcrop pattern. They occur as single or fault segments and juxtapose basement with basin fill (Bozkurt 2003).

The regional Bouguer gravity data of entire Turkey were acquired at approximately 2–5 km intervals and the whole anomaly map was published by General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey (MTA 2006) using 2 km grid spacing. In the regional anomaly map of the studied area shown in Figure 6a, an increasing trend in the anomaly amplitudes towards the west is clearly seen due to the thinning crust (Ekinici et al. 2013). The relatively thick sedimentary deposits of the GDG and the Neogene basins cause to the lowering of gravity amplitudes (Sarı and Şalk 2002, 2006; Ekinici et al. 2013). BH (Bozdağ Horst) is characterized by relatively higher gravity amplitudes due to the existence of metamorphic rocks of the Menderes massif as clearly seen from Figure 5c.

Before the computation of THDs, a first-order polynomial surface including the effects of the horizontal trend and regional background was subtracted from the regional Bouguer anomaly map shown in Figure 6a to obtain the residual anomalies exhibiting the effects of shortest wavelengths. Figure 6b shows the residual anomaly map, and it is clearly seen that the increasing trend in gravity amplitudes towards the Aegean Sea was successfully attenuated. Thus a first-order polynomial surface is deemed to be sufficient. Additionally, negative gravity anomalies of the sedimentary deposits of GDG and the basins were noteworthy enhanced (Figure 6b) which allowed for a more accurate comparison. Image maps in Figures 7a and b show the performances of FFT and FD techniques, respectively, on producing the THD anomalies. Images indicate that both techniques produced close anomaly patterns. However, when the images are carefully analyzed it is seen that FD-derived THD map yielded a more detailed response. Abrupt lateral changes in densities between GDG and neighboring Neogene rocks produced higher amplitudes in FD-derived THD map (Figure 7b). In order to better understand the performances of those techniques, normalized amplitude THD maps were also produced and they are demonstrated in Figures 7c and d using the anomalies in Figures 6a and b, respectively. High amplitude traces surrounding the GDG are more evident in the FD-based image (Figure 7d). Additionally, some traces of the NE–SW trending normal faults bounding the basins located at the NE part of the study area are obviously observed in Figure 7d. On the other hand, the traces of the aforesaid faults could not be followed clearly in Figure 7c. Based on the results of real data example it is worth mentioning here that the superiority of FD technique on the calculation of THDs over FFT technique is evidentiary.

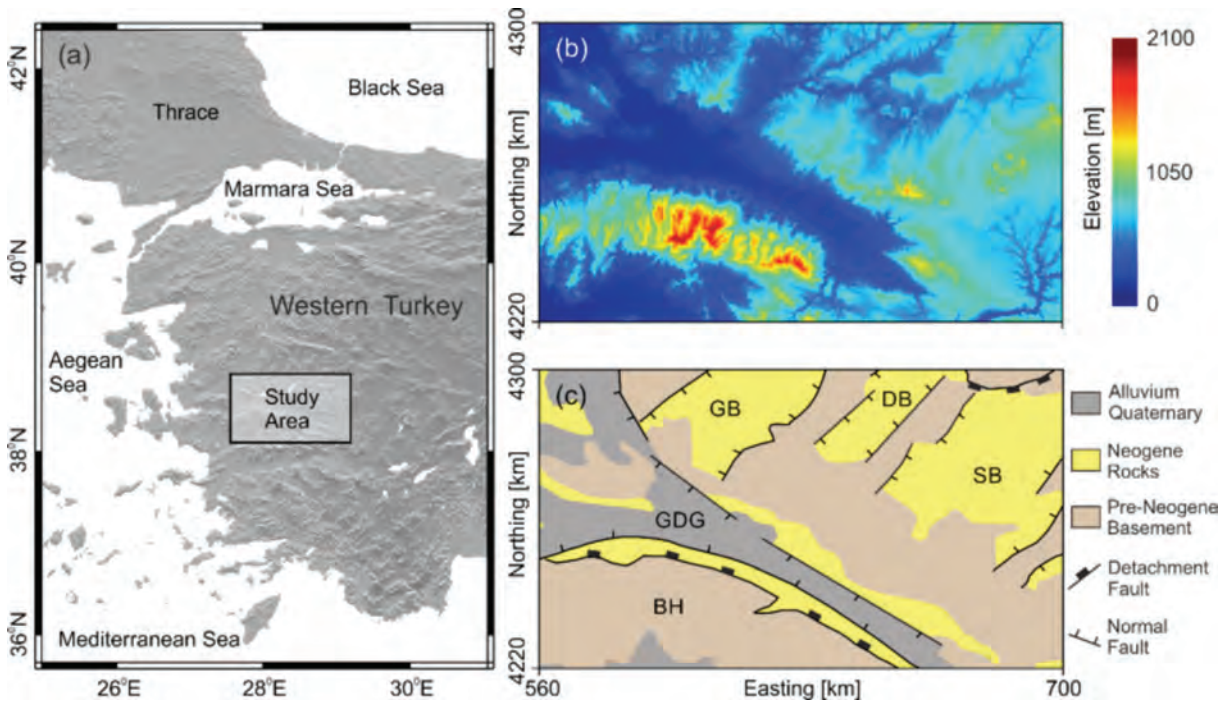


Figure 5. a) Location map, b) Topographic map and c) Geology map of the study area (modified from MTA (2002), Sözbilir et al. (2011) and Ekinci et al. (2013)).

Şekil 5. Çalışma alanının a) Yerbulduru haritası, b) Topografik haritası ve c) Jeoloji haritası (MTA (2002), Sözbilir vd. (2011) ve Ekinci vd. (2013)'den düzenlenmiştir).

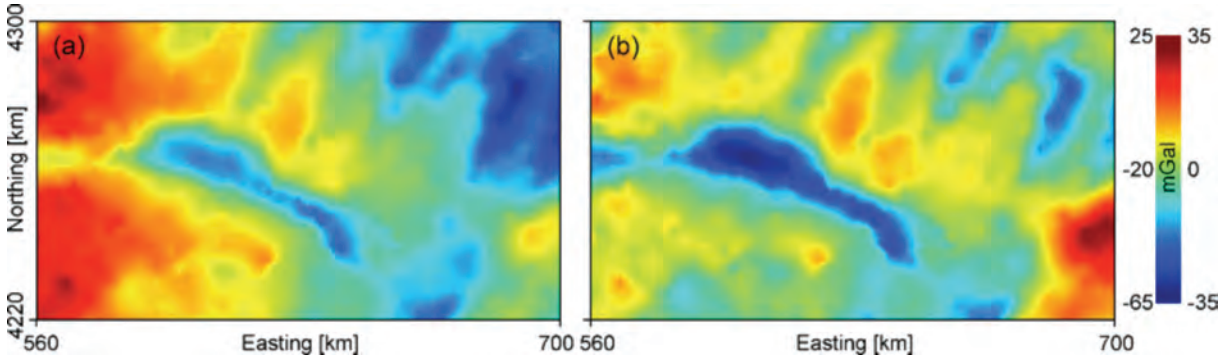


Figure 6. a) Regional and b) Residual gravity anomaly maps of the study area.

Şekil 6. Çalışma alanının a) Rejyonal ve b) Rezidüel gravite belirti haritaları.

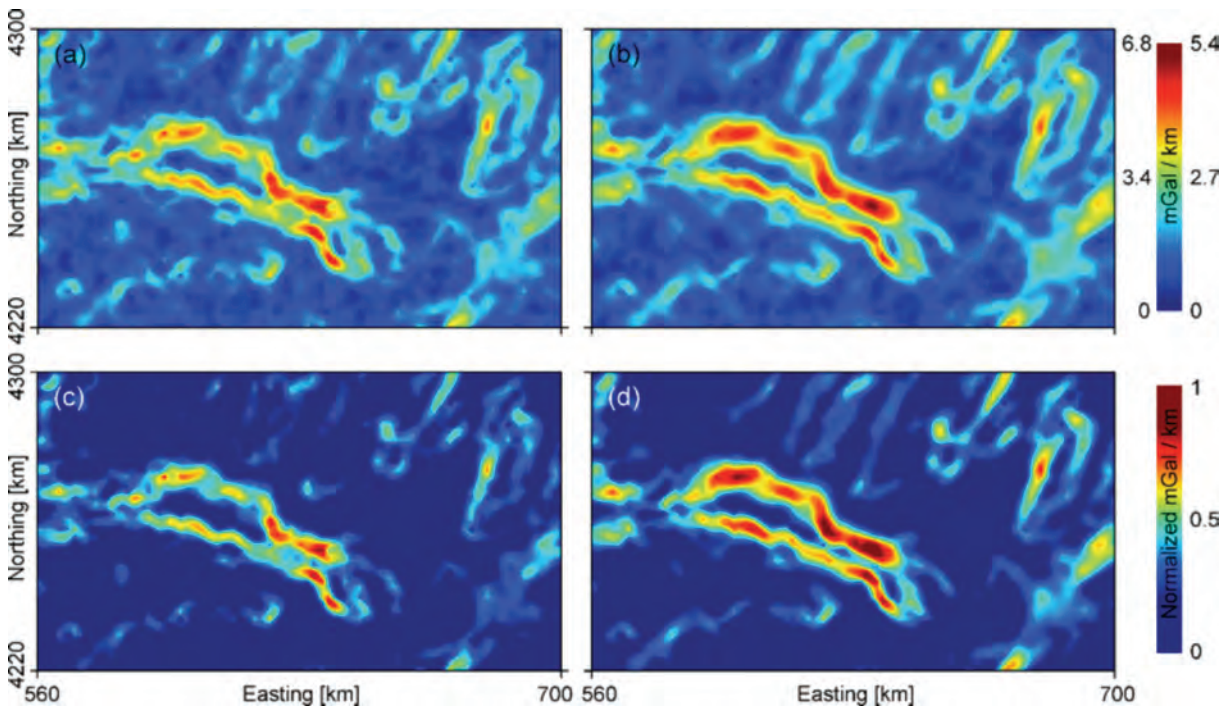


Figure 7. Obtained THD images of a) Figure 6b through FFT, b) Figure 6b through FD, c) Normalized amplitude maps of Figure 7a and d) Figure 7b.

Şekil 7. a) HFD ve b) SF kullanarak Şekil 6b'den elde edilen TYT görüntü haritaları, c) Şekil 7a'nın ve d) Şekil 7b'nin normalize edilmiş genlik haritaları.

CONCLUSIONS

A comprehensive study comparing the effectiveness of wavenumber domain (i.e. FFT) and space domain (i.e. FD) techniques in computing first-order horizontal derivatives of two-dimensional gravity data is presented. Through the test studies performed using synthetic anomalies with and without noise content, it was obviously observed that FD-based THD image maps yield more dramatic solutions for the computation of horizontal derivatives. Additionally, the results obtained from the synthetic applications show that the simple difference equations are more robust and effective in enhancing the amplitudes of deeper sources in the existence and the absence of noise content. Real data experiment achieved using regional Bouguer gravity anomalies from a portion of a well-known geological setting, the Aegean graben system (western Anatolia, Turkey),

also indicate the advantage of FD technique in producing THD image maps. The locations of the abrupt lateral changes in densities are clearly improved in THD map produced by means of FD technique. Based on the both synthetically produced and real field data experiments FD technique is decided to be more efficient in computing the horizontal derivatives.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks are due to Dr. Coşkun Sarı (Dokuz Eylül University) and Dr. Erdiç Yiğitbaş (Çanakkale Onsekiz Mart University) for their suggestions that have contributed to the improvement of the manuscript.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bilindiği gibi yatay türev hesaplama işlemleri potansiyel alan verilerinde en sık kullanılan veri-işlem yöntemlerinden biridir. Belirti haritalarında ilk etapta göze çarpmayan jeolojik çizgisellikler ve dokanıklar türev tabanlı bu yöntemlerle belirlenebilmektedir. Özellikle yoğunluk veya manyetizasyondaki ani yatay değişimler jeolojik birim geçişlerini gösterebilmekte ve bu sebeple belirti haritalarındaki çizgisellikler jeolojik haritalamada da fikir vermesi bakımından kullanılmaktadır. Ayrıca kaynak yapının doğası ile ilgili herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duyulmaması, yöntemin hızlı bir şekilde uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle türev tabanlı sınır belirleme algoritmaları potansiyel alan belirtilerinin görsel yorumlanmasında oldukça yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Birçok kenar belirleme algoritmalarının temelini oluşturan yatay türevler genellikle dalga sayısı ortamında hızlı Fourier dönüşümü (HFD) yardımıyla ya da uzay ortamında basit sonlu farklar (SF) eşitlikleri ile hesaplanabilmektedir. Bugüne kadar ki yapılan çalışmalarda HFD tekniğinin gürültü içeriğinin yüksek olduğu yerlerde sağlıklı sonuç üretmediği hakkında yayınlar mevcuttur. Ancak unutulmaması gereken türev hesaplamalarında SF tekniği de gürültüye duyarlıdır. Bu nedenle her iki tekniğin birbirlerine göre olumlu ve olumsuz yanları bu çalışmada araştırılmıştır. Bu amaçla ilk önce teorik olarak üretilen gravite verilerinden yararlanılmış, gürültülü ve gürültüsüz olarak üretilen gravite verilerine neden olan kaynak yapı derinlikleri farklı örneklerle farklı alınmış ve hem gürültü içeriğinin hem de kaynak yapı derinliğinin çözümler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Kuramsal çalışmalar sonucunda, yüzeye yakın kaynak yapıların ürettikleri yüksek genlikli gravite belirtilerinden elde edilen toplam yatay türev (TYT) haritaları incelendiğinde HFD ve SF tekniklerinin neredeyse aynı belirtileri ürettiği gözlenmiştir. Ancak, gürültülü gravite verilerinden üretilen TYT haritalarında HFD tekniğinin SF

tekniğine göre gürültü içeriğini daha da arttırdığı görülmüştür. Kaynak yapılarının derinliğinin artırılması ile elde edilen nispeten daha düşük genlikli gravite verilerinden üretilen TYT haritaları incelendiğinde ise yine SF tekniğinin yapı sınırlarına ait daha yüksek çözünürlüklü görüntüler ürettiği ve gürültü içeriğinden daha az etkilendiği ortaya konulmuştur.

Kuramsal uygulamaların ardından gerçek veri uygulaması için Ege Graben Sisteminin bir kısmını kapsayan rejyonal Bouger gravite verileri ele alınmıştır. Seçilen çalışma alanı Gediz Grabeni (GDG) ve tümü KD-GB yönelimli olan Gördes Baseni (GD), Demirci Baseni (DB) ve Selendi Baseni (SB)'ni kapsamaktadır. Uygulamalarda öncelikle gravite verilerinden dalga boyu büyük olan derin etkiler birinci dereceden bir polinom yardımıyla giderilmiş, kısmen dalga boyu küçük olan sığ jeolojik yapıların etkilerini sunan belirti haritası elde edilmiş ve ardından TYT işlemlerine geçilmiştir. Hesaplanan TYT belirti haritaları dikkatli bir şekilde incelenmiş ve kuramsal veri uygulamalarında olduğu gibi arazi verileri ile gerçekleştirilen çalışmalarda da SF tekniğinin daha duyarlı sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Özellikle çalışma alanının KD kısmına düşen yoğunluk değişimlerine yani basenlerin sınırlarını oluşturan faylara ait bazı çizgisellikler SF ile elde edilen TYT haritalarında daha net bir şekilde ortaya konmuştur. Böylece hem kuramsal hem de gerçek arazi çalışmalarından, yatay türevlerin hesaplanması işlemlerinde SF tekniğinin HFD tekniğine göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.

REFERENCES

- Blakely, R.J., 1995. Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge: Cambridge University Press.
- Blakely, R.J. and Simpson, R.W., 1986. Approximating edge of source bodies from magnetic or gravity anomalies. Geophysics, 51, 1494–1498.
- Boschetti, F., 2005. Improved edge detection and noise removal in gravity maps via the use of gravity

- gradients. *Journal of Applied Geophysics*, 57, 213–25.
- Bozkurt, E., 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16, 61–81.
- Cooper, G.R.J., 2002. An improved algorithm for Euler deconvolution of potential field data. *Leading Edge*, 21, 1197–1198.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers & Geosciences*, 32, 1585–1591.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2008. Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics. *Geophysics*, 73, H1–H4.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2009. Terracing potential field data. *Geophysical Prospecting*, 57, 1067–1071.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2011. A generalized derivative operator for potential field data. *Geophysical Prospecting*, 59, 188–194.
- Cordell, L. and Grauch, V.J.S., 1982. Reconciliation of the discrete and integral Fourier transform. *Geophysics*, 47, 237–243.
- Cordell, L. and Grauch, V.J.S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico, In: W.J., Hinze, (ed.), *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps: Society Exploration Geophysics*, Tulsa, Oklahoma, 181–197.
- Çiftçi, N.B. and Bozkurt, E., 2009. Evolution of the Miocene sedimentary fill of the Gediz Graben, SW Turkey. *Sedimentary Geology*, 216, 49–79.
- Ekinci, Y.L., 2010. A Matlab-based interactive data processing and interpretation software package for gravity and magnetic anomalies: GMINTERP, 19th International Geophysical Congress and Exhibition, Ankara, Turkey, 60.
- Ekinci, Y.L. and Yiğitbaş, E., 2012. A geophysical approach to the igneous rocks in the Biga Peninsula (NW Turkey) based on airborne magnetic anomalies: Geological implications. *Geodinamica Acta*, 25, 267–285.
- Ekinci, Y.L., Ertekin, C. and Yiğitbaş, E., 2013. On the effectiveness of directional derivative based filters on gravity anomalies for source edge approximation: Synthetic simulations and a case study from the Aegean graben system (western Anatolia, Turkey). *Journal of Geophysics and Engineering*, 10, 035005.
- Ekinci, Y.L., Balkaya, Ç., Şeren, A., Kaya, M.A. and Lightfoot, C.S., 2014. Geomagnetic and geoelectrical prospecting for buried archaeological remains on the Upper City of Amorium, a Byzantine city in Midwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering*, 11, 015012.
- Ekinci, Y.L. and Yiğitbaş, E., 2015. Interpretation of gravity anomalies to delineate some structural features of Biga and Gelibolu peninsulas, and their surroundings (north-west Turkey). *Geodinamica Acta*, 27 (4), 300–319.
- Fedi, M. and Florio, G., 2001. Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivative method. *Geophysical Prospecting*, 49, 40–58.
- Helvacı, C., 2015. Geological features of Neogene basins hosting borate deposits: an overview of deposits and future forecast, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 151, 169–215.
- Li, Z.G. and Ma, Z.H., 2014. A new approach for filtering and derivative estimation of noisy signals. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 33, 589–598.
- Li, L., Huang, D., Han, L. and Ma, G., 2014. Optimised edge detection filters in the interpretation of potential field data. *Exploration Geophysics*, 45, 171–176.
- Menke, W., 1984. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*: Academic Press Inc, New York.
- Miller, H.G. and Singh, V., 1994. Potential field tilt—a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213–217.
- MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey), 2002. Geological map of Turkey, MTA Publications scale: 1/500000, Ankara, Turkey.
- MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey), 2006. Bouguer gravity anomaly map of Turkey, MTA Publications scale: 1/2000000, Ankara, Turkey.
- Plouff, D., 1976. Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain correction. *Geophysics*, 41, 727–741.
- Purvis, M. and Robertson, A., 2005. Miocene sedimentary evolution of the NE–SW-trending Selendi and Gördeş Basins, W Turkey: implications

- for extensional processes. *Sedimentary Geology*, 174, 31–62.
- Roest, W.R., Verhoef, J. and Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57, 116–125.
- Roy, I.G., 2013. On computing gradients of potential field data in the space domain. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10, 035007.
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, D., Smith, R. and Ravat, D., 2008. Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives. *Geophysics*, 73, L1–L10.
- Sarı, C. and Şalk, M., 2002. Analysis of gravity anomalies with hyperbolic density contrast: an application to the gravity data of western Anatolia. *Journal of Balkan Geophysical Society*, 5, 87–96.
- Sarı, C. and Şalk, M., 2006. Sediment thickness of the western Anatolia graben structures determined by 2D and 3D analysis using gravity data. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, 39–48.
- Seyitoğlu, G., 1997. Late Cenozoic tectono-sedimentary development of the Selendi and Uşak-Güre basins: a contribution to the discussion on the development of east–west and north trending basins in western Turkey. *Geological Magazine*, 134, 163–175.
- Sözbilir, H., Sarı, B., Uzel, B., Sümer, Ö. and Akkiraz, S., 2011. Tectonic implications of transtensional supradetachment basin development in an extension-parallel transfer zone: the Kocaçay Basin, western Anatolia, Turkey. *Basin Research*, 23, 423–448.
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M. and MacKenzie, C., 2004. The meter reader—New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, 23, 116–119.
- Wanyin, W., Yu, P. and Zhiyun, Q., 2009. A new edge recognition technology based on the normalized vertical derivative of the total horizontal derivative for potential field data. *Applied Geophysics*, 6, 226–33.
- Wang, Z., Krebs, E.S. and Ravat, D., 2008. High precision potential field and gradient-component transformations and derivative computations using cubic B-splines. *Geophysics*, 73, I35–I42.
- Wang, J., Meng, X.H. and Li, F., 2015. Improved curvature gravity gradient tensor with principal component analysis and its application in edge detection of gravity data. *Journal of Applied Geophysics*, 118, 106–114.
- Wijns, C., Perez, C. and Kowalczyk, P., 2005. Theta map: Edge detection in magnetic data. *Geophysics*, 70, L39–L43.
- Yuan, Y., Gao, J. and Chen L., 2016. Advantages of horizontal directional Theta method to detect the edges of full tensor gravity gradient data. *Journal of Applied Geophysics*, 130, 53–61.
- Zhang, H.L., Tian-You, L. and Yu-Shan, Y., 2011. Calculation of gravity and magnetic source boundaries based on anisotropy normalized variance. *Chinese Journal of Geophysics* 54, 560–567.
- Zuo, B. and Hu, X., 2015. Edge detection of gravity field using eigenvalue analysis of gravity gradient tensor. *Journal of Applied Geophysics*, 114, 263–270.



3D Multi-view Stereo Modelling of an Open Mine Pit Using a Lightweight UAV *Hafif bir İHA ile bir Açık Maden Ocağının 3B Çok-bakılı Stereo Modellemesi*

İnan Ulusoy*, Erdal Şen, Alaettin Tuncer, Harun Sönmez, Hasan Bayhan

Hacettepe University, Dept. of Geological Engineering, 06800, Beytepe-Ankara, Turkey

Geliş/Received : 06.09.2016 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 09.03.2017 • Kabul/Accepted : 14.03.2017 • Baskı/Printed : 01.04.2017

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Abstract: Digital elevation models have been evolved in decades, their resolution and accuracy have improved vividly. Geological, structural and geomorphological benefits of those high-quality digital elevation models enhanced the quality of the research and engineering and unfold the visibility of the data. Modern techniques such as laser scanners provide a quantum leap on digital modelling, however the cost of those methods limits their widespread usage. Improvements in stereo-photogrammetry did not decelerate. On the contrary, the evolution of Structure from Motion–Multi-view stereo-photogrammetry (SfM-MVS) method is accelerated by the continuous developments in digital photography and computer vision technologies. We have used a lightweight drone to acquire digital aerial photographs of an open mine pit for an ultimate purpose of modelling the terrain using SfM-MVS procedure. We have been able to derive a high resolution (0.3 m/pixel) DEM and a very high resolution (0.04 m/pixel) orthorectified aerial image. Both datasets are representing the topography with high sample point densities. Elevation model dataset has been compared with the regular topographic point measurements of the mine pit and the accuracy of the aerially derived model have been investigated. Sources of modelling errors, the effect of temporal physical changes in the terrain, effect and importance of geo-referencing have been discussed in detail. SfM-MVS is a cost-effective, rapid and promising technique for digital mapping, modelling and monitoring in various spatial scales of Geology.

Key Words: 3D modelling, Aerial imaging, DEM, Drone, High-resolution, Open pit mine,

Öz: Sayısal yükseklik modelleri (SYM) on yıllar içinde evrilmiş, hassasiyetleri ve çözünürlükleri de görünür ölçüde artmıştır. Bu yüksek kaliteli SYM'lerinin jeolojik, yapısal ve jeomorfolojik faydaları bilimsel araştırmanın ve mühendislik uygulamalarının kalitesini ciddi oranda artırmış ve verinin görünürlüğünü yükseltmiştir. Lazer tarama gibi modern tekniklerin sayısal modellemede bir kuantum sıçraması yaratmasına rağmen bu metotların yüksek maliyeti uygulamalarını kısıtlamaktadır. Stereo-fotogrametrideki ilerleme ise yavaşlamamıştır. Tersine, “Hareketten Yapı–Çok bakılı stereofotogrametri” (HY-ÇBS) metodunun gelişimi sayısal fotoğrafçılık ve bilgisayar teknolojisindeki sürekli gelişmeyle birlikte ivmelenmiştir. Bu çalışmada, HY-ÇBS yöntemi kullanarak yeryüzü modelleme nihai amacı ile hafif bir dron kullanarak bir açık maden ocağının hava fotoğrafları alınmıştır. Yüksek çözünürlüklü (0.3 m/piksel) bir sayısal yükseklik modeli ve çok yüksek çözünürlüklü (0.04 m/piksel) bir ortorektifiye hava fotoğrafı oluşturulmuştur. Hem oluşturulan SYM, hem de hava fotoğrafı topoğrafyayı ve maden ocağını yüksek nokta yoğunluğu ile temsil etmektedir. Oluşturulan yükseklik modeli, maden ocağının olağan topoğrafik nokta ölçümleri ile kıyaslanmış ve havadan oluşturulan modelin hassasiyeti incelenmiştir. Modelleme hatalarının kaynakları, yerdeki zamanla değişen fiziksel değişikliklerin etkisi ve jeoreferanslamanın önemi detaylıca tartışılmıştır. HY-ÇBS yöntemi, sayısal haritalama ve çok çeşitli jeolojik ölçeklerde modelleme ve gözlem amacı ile kullanılabilir, çok uygun maliyetli, hızlı ve gelecek vadede bir tekniktir.

Anahtar Kelimeler: 3B modelleme, Açık maden ocağı, Dron, Havadan görüntüleme, SYM, Yüksek-çözünürlük,

INTRODUCTION

Recent significant strides in 3D model reconstruction using Structure from Motion Multi-View Stereo-photogrammetry (SfM-MVS) algorithms in computer vision (Gong and Wang, 2011; Calakli et al. 2012) is rapidly spreading on morphology based research in various scales. Production of 3D point cloud data are no longer limited to expensive and specialised devices like laser/radar range scanners, but also possible with uncalibrated consumer market digital cameras (Furukawa and Ponce, 2007; Gong and Wang, 2011; James and Robson, 2012; Bemis et al. 2014). SfM-MVS modelling is opening a new era in earth sciences allowing widespread use of timesaving, high-resolution and multi-scale surface modelling with low cost.

Several freely available and commercial codes/software packages are available for SfM-MVS procedure (Bemis et al. 2014); upon them, a commercial software, Agisoft PhotoScan was used in this study. SfM-MVS procedure builds a simple point cloud data (Fig. 1a) using multiple images acquired from different angles, distances and positions. it builds a dense point cloud (Fig.

1b) by reanalysing this point cloud data and finally extracts surfaces and meshes from the dense point cloud (Fig. 1c, 1d). Final surfaces covering the mesh could be coloured by the pixel values in the photographs or could directly be texturized using the pieces of the photographs (Fig. 1e, 1f). Structure from Motion (SfM) theorem stands on the assumption that the structure of four non-coplanar points is recoverable from three orthographic projections (Ullman, 1979). The first stage of the 3D modelling procedure SfM uses multiple images of a scene taken from different positions, decomposes them into elements (which denote identifiable feature points such as isolated points, terminations of line segments, or texture elements) and recover their three-dimensional structure and motion (Ullman, 1979). PhotoScan uses an algorithm similar to Scale Invariant Feature Transform (SIFT - Lowe, 2004) for feature detection and generates a descriptor for each point based on its local neighbourhood ('Agisoft', 2016). For relatively clean, regular and dense point clouds, many existing algorithms have been developed to extract the geometric surface precisely (Gong and Wang, 2011).

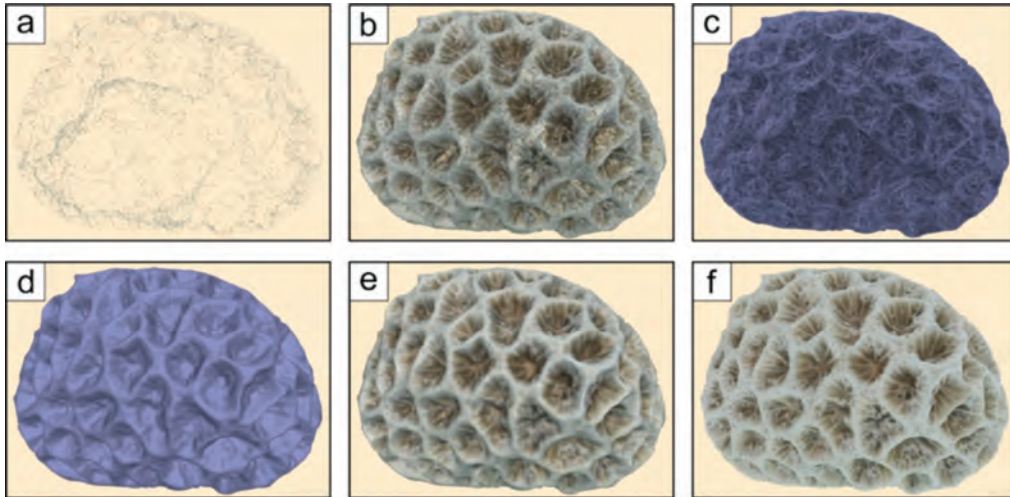


Figure 1. Multi-View stereo model of a coral specimen a) simple point cloud, b) dense point cloud, c) mesh model, d) shaded surface model, e) colored surface model, f) texturized surface model.

Şekil 1. Bir mercan el örneğinin çok-bakılı stereo modeli a) basit nokta bulutu, b) yoğun nokta bulutu, c) kafes modeli, d) gölgeli yüzey modeli, e) renkli yüzey modeli, f) doku bindirilmiş yüzey modeli.

Using matched features and camera parameters embedded in the EXIF information, a mathematical ‘camera model’ (along with information on camera position and orientation, if available) is built and is used to determine 3D point coordinates from the two-dimensional (2D) image coordinates (James and Robson, 2014). These values are then simultaneously optimized in a ‘bundle adjustment’ (Granshaw, 1980), which produces a self-consistent 3D model with associated camera parameters, by minimizing the overall residual error (James and Robson, 2014). Linking SfM output with multi-view stereo-photogrammetry (MVS) algorithms efficiently filters out noisy data and significantly increases the number of reconstructed points resulting with a high-quality data sufficient to build a surface (James and Robson, 2012).

Several interesting and useful examples from different research areas (some among many examples are Gimenez et al. 2009; Niethammer et al. 2010; James and Varley, 2012; Skarlatos and Kiparissi, 2012; Calakli et al. 2012; Tuffen et al. 2013; Bemis et al. 2014; Forte, 2014; Bennet, 2015; Burns et al. 2015; Haukaas, 2015; Shahbazi et al. 2015; Van Damme, 2015; Vepakomma et al. 2015; Tonkin et al. 2016) are shaping, contributing and defining the limitations of the new modelling technique. James and Robson (2012) demonstrated the application of SfM-MVS modelling from decimeter to kilometer scale and presented a thorough discussion on the precision of the method. Gomez and Purdie (2014) used unregistered photographs acquired by an unmanned aerial vehicle (UAV) to retrieve high-resolution 3D model of a glacier terminus and surrounding sub-vertical valley wall morphology. Tong et al. (2015) processed and integrated point cloud data generated by terrestrial laser scanning with UAV imagery and created a 3D model for mapping and monitoring of open-pit mine areas and achieved decimeter-level accuracy. Using SfM-MVS, Brothelonde et al. (2015) modelled

the Yenkahe resurgent dome (Vanuatu), produced high-resolution DEM-orthophoto pair and compared the results with satellite derived DEMs. Lewis et al. (2015) created a DEM of Mammoth Mountain fumarole area, then orthorectified and georeferenced pre-dawn thermal infrared imagery onto the SfM-MVS model.

Traditional techniques such as global positioning systems (GPS) and electronic total station (TS) provide point-based observations of open-pit mine areas (Tong et al. 2015). Remote locations, mountainous surroundings and sizes of those pits often complicate the modelling and monitoring studies; the cost of these ground monitoring techniques is also rather high (Tong et al. 2015). Lightweight UAVs may provide an alternate and/or substitute data for 3D modelling and monitoring of open-pit mines.

We have used SfM-MVS method for high-resolution topographical modelling of an open-pit mine using the digital images we have acquired by a lightweight drone. Espey open mine pit is one of the largest borate mines in the world. The mine is located in the Emet basin (Kütahya, Turkey), in a close proximity to a bigger open-mine borate pit named Hisarcık. Both mines are mining for Colemanite, concentrating the mineral and mainly producing concentrated borate, boric acid and Etiboron-ceramic as final products. Since 2014, concentrated borate and boric acid production capacity of the two mines are 900,000 and 290,000 tonnes/year, respectively (‘Etimaden’, 2016). In the Neogene Emet basin, the borates are interlayered with tuff, claystone, and marl with limestone occurring above and below the borate lenses (Helvacı, 2015). In the Espey mine pit, borates (Figure 2a, greenish grey coloured base level) are overlain by reddish and then yellow-beige limestone-marl-claystone alternations (Figure 2a).

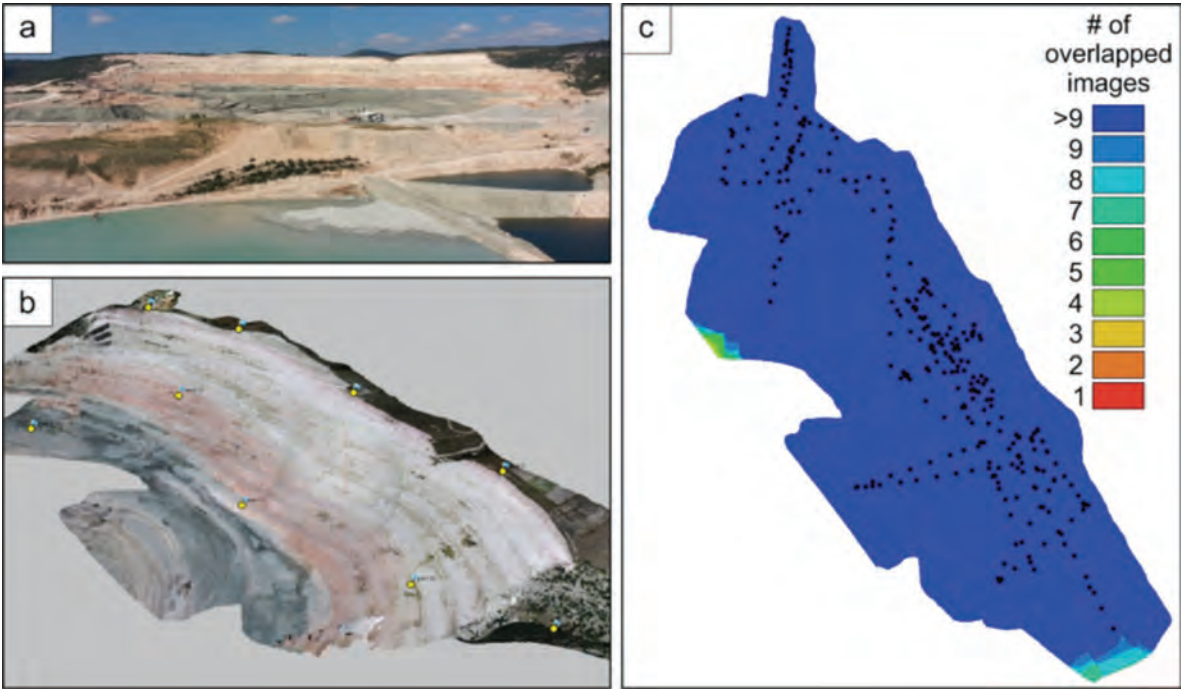


Figure 2. Espey open-pit mine, a) photograph of the mine pit, b) 3D colored surface model of the mine pit, c) Figure showing the aerial image locations and number of overlapped images.

Şekil 2. Espey açık maden ocağı, a) ocağın fotoğrafı, b) ocağın 3B renkli yüzey modeli, c) hava fotoğraflarının lokasyonlarını ve binili görüntü sayısını gösterir şekil.

METHODOLOGY

Topographic measurements of the open mines are regularly performed using Total Station (TS). The derived aerial model was compared with the latest TS measurement of the Espey mine. Topographic TS measurements of the area covered by the aerial model contain 4496 measurement points which was acquired by a Leica Nova TM50 monitoring station by readings at natural surface (with $2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ accuracy). TS measurements yield a point density of 0.008 points/m^2 and a DEM resolution of 4.24 m/pixel .

UAV Imaging

We used Phantom 2 vision+ which is a lightweight (1242 g) UAV designed for image acquisition

(Figure 3). The vehicle was equipped with an integrated 14 MP camera (with a wide-angle lens) mounted on a 3 axis gimbal. The focal depth of the camera is 5 mm . Images in 4384×3288 pixel resolution were taken every 4 seconds during the flights and recorded on 4 GB micro SD card on the vehicle. All of the images were acquired during two flights; each flight lasting approximately 16 minutes. Flights were performed by manual controlling at three different heights 80, 100 and 120 meters. The footprint of a single image is $\sim 244 \times 180$ meters and the ground pixel size is $\sim 55 \text{ mm}$. This allowed an approximate image overlap of 77% for image pairs (Figure 2c). Images were taken both by nadir looking angle and incidence angle approximating 45° .

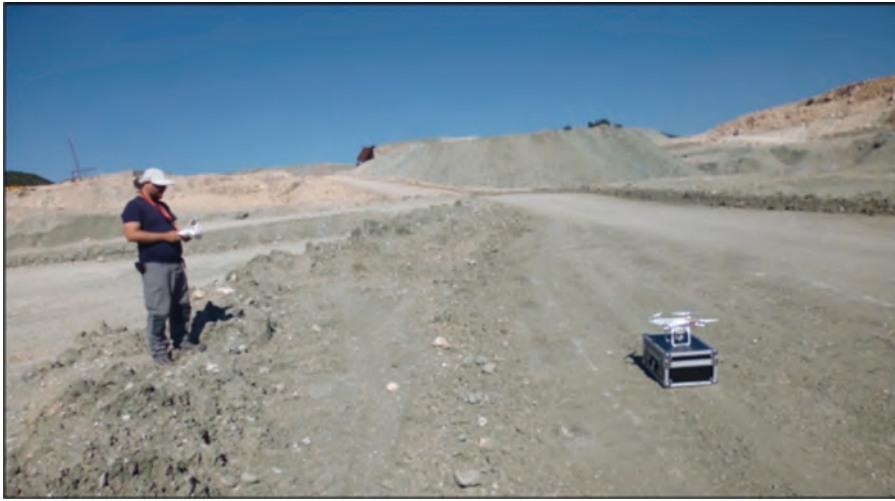


Figure 3. Lightweight drone used to create the surface model and orthorectified image of the mine pit.
Şekil 3. Maden ocağının ortorektifiye görüntüsünü ve yüzey modelini yaratmak için kullanılan hafif dron.

Aerial Topographic Modelling

491 images were acquired during the flights, 132 of them were manually eliminated as they were blurry, unfocused or accidentally shot the landing gear of the UAV. A total of 359 images were used to construct the 3D model of the mine pit (Figure 2c). The computer used for modelling was a standard notebook computer with 8 GB RAM.

3D modelling was carried out using a commercial software Agisoft Photoscan version 1.1.6 © ('Agisoft', 2016) which performs a Structure from Motion with Multi-view stereo-photogrammetric approach for reconstruction. Photo alignment was carried out using 25,306 tie points resulting with a low-density point cloud model. In the second step, the aligned photographs were used to reconstruct the high-density SfM-MVS 3D model that was comprised of 7,152,017 points. Then the mesh and the textured mesh were created from this model. High-resolution DEM and orthorectified image were the derivatives of this model. The modelling process lasted approximately 6 hours.

Nine of the TS points recorded during the topographic modelling survey were used as ground

control points to geo-reference the model (Figure 2b: yellow points). RMS error of the georeferencing was calculated as 0.89 m in X-direction, 1.71 m in Y-direction and 3.9 m in Z-direction; overall RMS error of the georeferencing was calculated to be 4.3 meters. Consequences of this high referencing error was further discussed under the discussion topic.

3D MODEL OF THE MINE

The resulting model covers an area of 0.55 km² with long axes approaching 1.4 km vs 0.5 km; it provides a very high-resolution orthorectified image and a digital elevation model. The resolution of the orthorectified image is 0.037 m/pixel (Figure 4) while the resolution of the DEM is 0.299 m/pixel (Figure 5a) with a point density of 716.86 and 11.20 points per square meter respectively.

Figure 4 shows the high-resolution orthorectified aerial image of the borax mine; Figure 4b and Figure 4c zoom smaller areas marked with the yellow frame in the larger images (Figures 4a and 4b). Aerial image (Figure 4) is very satisfying for a wide range of geological applications.

Produced high resolution aerial imagery has a potential for use in detailed geological mapping (Figure 4a), structural analysis (Figure 4b) and in even more detailed geological, structural and geomorphological (Figure 4c) studies as an accessory dataset. Production of orthorectified aerial imagery using lightweight UAVs is a cost effective and fast response procedure which may

aid periodical open mine monitoring in a four-dimensional space. In the case of monitoring pits, UAV imagery provides successful data for detailed geological mapping, helps early detection of joint/crack initiation and helps to locate weak zones such as alteration or water escape zones (eg. Yücel and Turan, 2016; Mackenzie et al. 2016; McLeod et al. 2013).

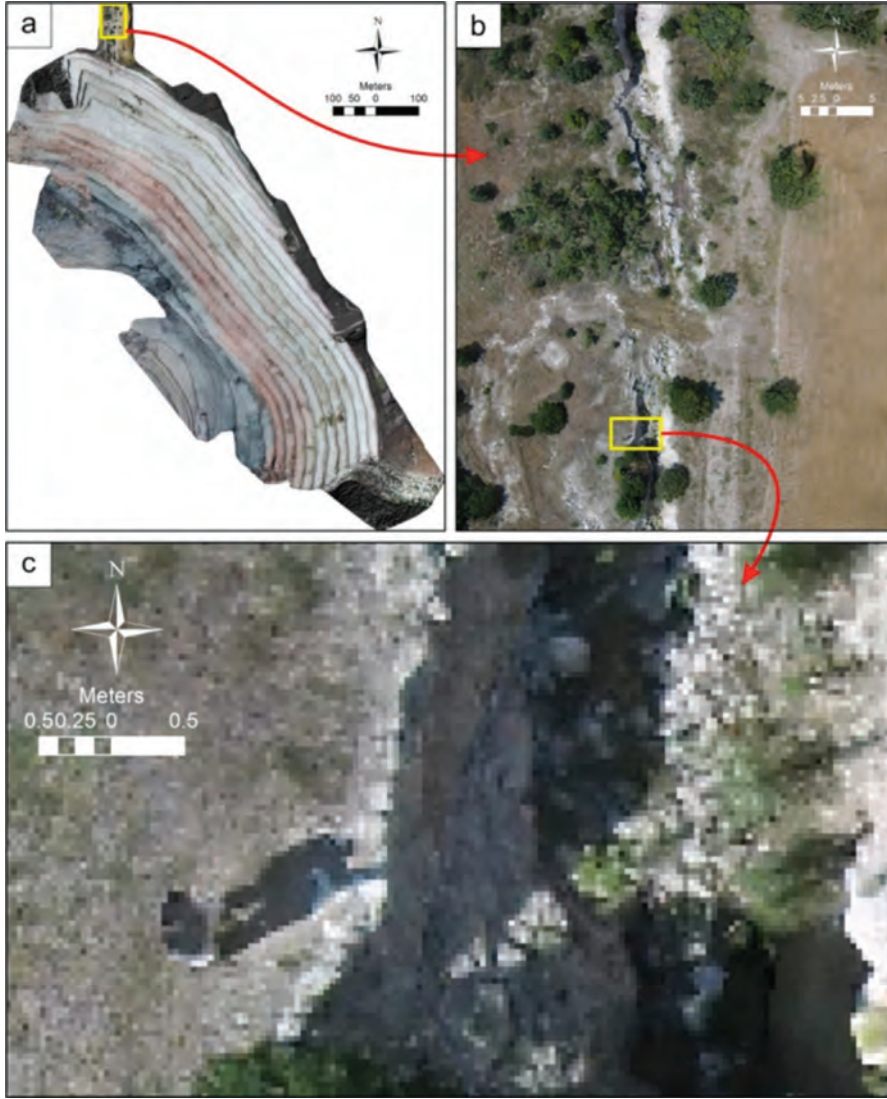


Figure 4. Derived orthorectified aerial photograph of the a) study area, b) zoomed section of the previous photograph showing the structural detail, c) higher zoom showing the limits of the study, please note the shadow of our colleague waving the drone.

Şekil 4. Üretilen ortorektifiye hava fotoğrafı a) çalışma alanının fotoğrafı, b) önceki fotoğrafın yapısal detayı gösteren yakınlaştırılmış kesimi, c) çalışmanın sınırlarını gösteren daha yüksek yakınlaştırma, detay için dron'a el sallayan meslektaşımızın gölgesine dikkat ediniz.

DEM derived by SfM-MVS modelling is presented in Figure 5a to provide a visual comparison with the DEM obtained by TS measurements (Figure 5b). In Figure 5, both DEMs have been presented with a colour spectrum that draped over the shaded relief products in two different sun azimuth angles (135 and 315 degrees respectively). High point density (11.20 points/m²) of the DEM by SfM-MVS (Figure 5a) resulted in a superior DEM quality and higher resolution when compared to DEM by TS (Figure 5b). Due to lower point density (0.008 points/m²), a false micro-hummocky terrain have been observed in DEM by TS. Sharp topographic features and bench geometry are better modelled by the SfM-MVS derived DEM (Figure 5a).

The difference between the two DEMs was further investigated both by arithmetic difference and by the percentage difference between the models (Figure 6). The arithmetic difference has been calculated by $D_2 - D_1$ and the percentage difference have been calculated by the following formula: $[(D_1 - D_2) / ((D_1 + D_2) / 2)] \times 100$; where D_1 is the SfM-MSV derived DEM and D_2 is the TS derived DEM. Difference frequency diagram

have been presented in Figure 7a. Root mean square (RMS) error on the control for the SfM-MVS model have been calculated 3.61 m and the percentage difference have been expressed within $\pm 1.2\%$ (Figure 6a,b). RMS error is an indicator of precision of the SfM-MVS cloud data with respect to the control (TS) data, and it has been calculated below 2 meters for the 80% and below 1 meter for the 50% of the dataset (Figure 7). Finally, we carried out a statistical comparison between two dataset. Based on the hypothesis that two dataset have no meaningful difference, t-test concerning 'paired two samples for means' results with a t-value of 1.15 (Table 1). When compared with the t-critical (1.15 < 1.96), the hypothesis is accepted stating that the difference between the two DEM sets is not meaningful and important. The margin of error in our determination is lower than 5 %.

Differences between the DEMs have been categorized into four main groups and indicated in Figure 6a: A) differences due to modelling, B) differences due to temporal physical changes, C) differences observed at bench crests and along slopes, D) nail shaped alternating differences near bench toes.

Table 1. Results of t-test comparing two elevation models at 95% confidence level.
Çizelge 1. %95 güven aralığında iki yükseklik modelini kıyaslayan t-testi sonuçları.

	TS	Drone
Mean	948.4461	947.4026
Variance	1797.047	1889.738
Observations	4497	4497
Pearson Correlation	0.996205	
Hyp. Mean Diff.	0	
df	1	
t Stat	1.15	
t Critical two-tail	1.96	

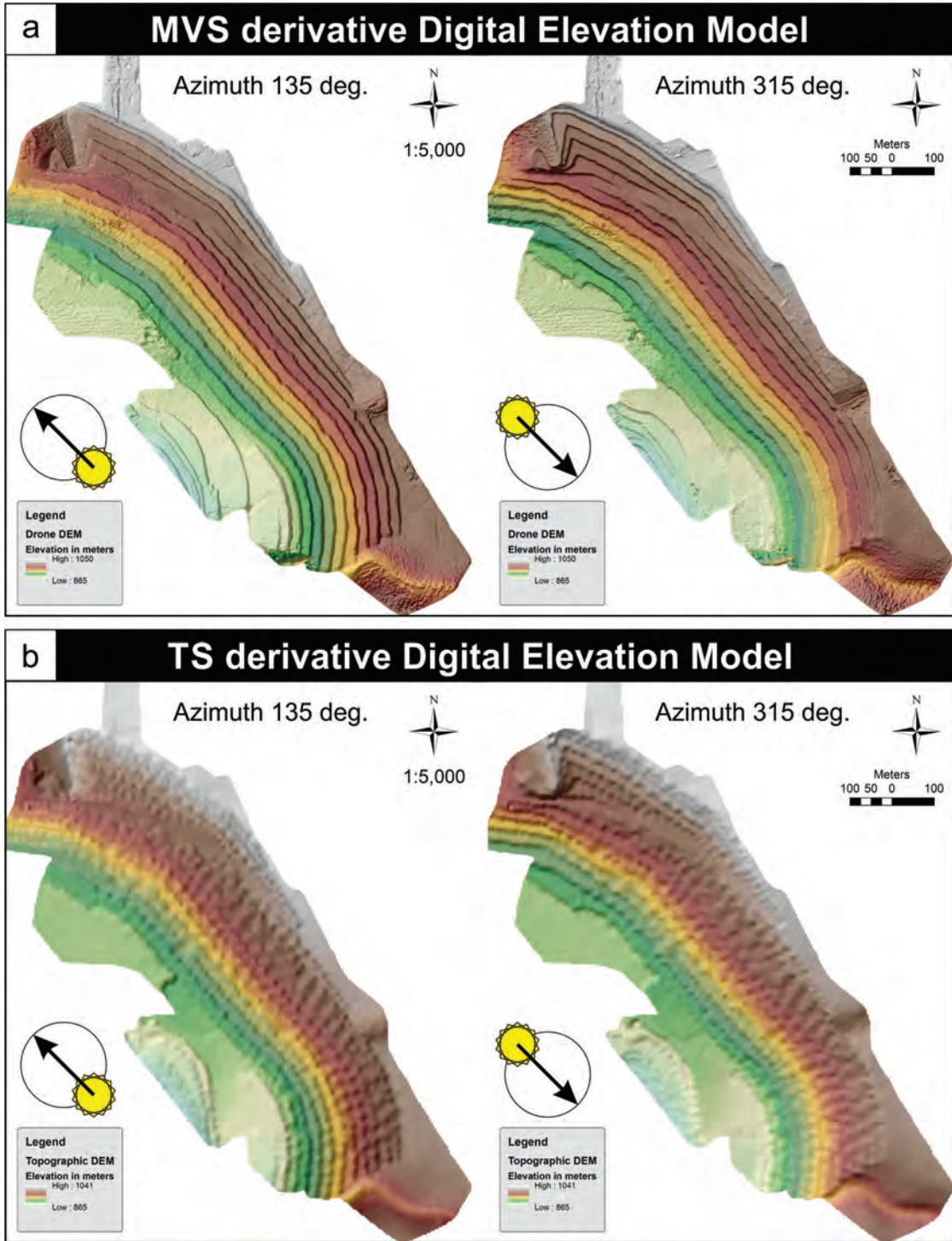


Figure 5. Comparison of the Digital Elevation models derived by a) SfM-MVS method and by b) TS measurements under different lighting. Both DEMs are draped over a shaded relief derived from its own.

Şekil 5. Üretilen sayısal yükseklik modellerinin farklı ışık koşulları altında karşılaştırılması a) HY-ÇBS yöntemi ile oluşturulan model, b) TS ölçümleri ile oluşturulan model. Her iki SYM de kendilerinden türetilen gölgeli yükselti modeli üzerine oturtulmuştur.

DISCUSSION

It is worthwhile to discuss the possible causes of differences between DEMs generated by MSV modelling and TS measurements. A common definition for precision depending on the measurement distance has been introduced by James and Robson (2012) where the relative precision rate is expressed as ‘measurement precision: observation distance’ (i.e. a precision of 1 centimeter over measurement distance of 10 meters is expressed as 1:1000). On various scales (from hand specimen to aerial imagery photographed by DSLR cameras) James and Robson (2012) achieved a precision rate exceeding 1:1000. Assuming the flight height of 25 meters as the measurement distance (to model a building using DSLR cameras), Esposito et al. (2014) have measured a precision rate of 1:250 on the entire model and achieved better precision than 1:500 locally. Using the lightweight UAV and 5 mm fixed focal length camera in our case, we have achieved a precision rate exceeding 3:100 for the entire model and 1:100 locally (Figure 7).

Sources of Modelling Errors

Susceptibility of the modelling depends on the variables and errors due to image acquisition, modelling method, and geo-referencing (eg. Fan et al. 2015).

Three main factors favouring a better model quality are high image resolution, an even and strong light condition and a stable image acquisition system. High image resolution can easily be achieved by digital non-metric cameras. As expected, height of the UAV during image acquisition and the resolution capability of the camera of are determinant factors for image resolution by changing the ground pixel size. On the other hand, higher image resolution requires a stronger CPU to process the increasing amount of data. Light condition drastically changes the

quality of the resulting model. Our experiences showed that a decimeter scale sample requires ~80 images to build a high-quality model using artificial lighting conditions in the laboratory, while similar sample could be modelled with the same quality in the field conditions under sunlight with ~30 images. Stability of the camera during image acquisition increases the sharpness, thus the detail of the resulting model. During flight, the stability of the camera could easily be achieved using three-axis electronic gimbals.

Separate image sets acquired at different flight (thus different image acquisition) altitudes or a discontinuous image set with a gap in between may result in relatively separated or en-echelon 3D models. To exemplify this phenomenon, we have eliminated a set of images from the open mine model intensively to produce a discontinuous image set. SfM-MVS modelling of this discontinuous image set has resulted with an en-echelon model (Figure 8).

Occasions have been noted where models derived from vertical imagery show systematic broad-scale deformations, expressed as a doming (Rosnell and Honkavaara, 2012; James and Robson, 2014; Javernick et al. 2014) or concavity (Skarlatos and Kiparissi, 2012) of the central domain of the model. The doming effect results from near-parallel imaging directions (flight routes) and inaccurate correction of radial lens distortion (James and Robson, 2014). James and Robson (2014) showed that it is possible to overcome the doming effect by a collection of additional oblique images within the near-parallel imaging sets. Although we did not have additional high-resolution digital elevation data to prove analytically, we had terrain models free of doming effect just by using near-parallel image sets as well. Image sets with high overlap rates acquired with wide-angle lenses may offer a secondary formula for prevention of doming effect. 50-60% overlap between adjacent images of near-parallel imaging routes provide sufficient bundle adjustment for

3D reconstruction (e.g. Krauss, 1993; James and Robson, 2012; Abdullah et al. 2013, Bemis et al. 2014). Predefined course run with autopilot instead of manual piloting facilitates systematic data collection which for sure increases the model accuracy.

Figure 6a: 'A' exemplifies the modelling errors we have observed in the open mine pit model. The error is also clearly visible in the Figure 2b near the ground control point 10, resembling a buckled paper edge. SfM algorithms have been proved to be powerful for matching disparate imagery but can produce relatively poor feature-position precision (Remondino, 2006; Barazetti et al. 2010; James and Robson, 2012). It is possible to examine and remove these mismatch errors during early stages of modelling.

Temporal Physical Changes

While correlating two DEMs, an additional source of the arithmetic difference is the temporal physical changes in topography. Those changes include rock-falls, mass movements, slope instabilities, gravitational jointing and cracking, tectonics, vegetation and man-made changes. Rather than a source of error in 3D modelling, those changes are the subject of temporal monitoring for safety and volume estimations. SfM-MVS modelling has the capacity to monitor these changes rapidly and in high quality. Figure 6a: 'B' marks the excavated areas and rockfalls occurred between the TS measurements and UAV photography. For example, excavated volume between two topographic acquisitions was calculated to be 199,666 m³ (Figure 6a: area drawn by dashed lines).

Differences due to Geo-referencing

One of the main factors that can affect the model accuracy is the susceptibility of the geo-referencing. When analysed in detail, the

arithmetic differences of two DEMs of the open mine model presented here showed negative trending topographic changes at the southeast domain while showing positive trending topographic changes at the north-western domain of the mine (Figure 6a: C). To further investigate these trends we overlapped the two DEMs (Figure 9a) and presented the arithmetic difference map in 3D (Figure 9b). The directional trending in the difference between the DEMs is better visualized in Figure 9. It is clear that the difference on the benches is negligible but main differential errors have been observed at the bench crests and along slopes (Figure 9a,b). This phenomenon was also clarified with a graph correlating both TS points and SfM-MVS point cloud data (Figure 10) which shows that these crest/slope errors may be up to ~6 meters in horizontal and ~14 meters in the vertical direction. Even a small shift in horizontal direction may result in high vertical drop when comparing two DEMs because of the high inclination of the bench slopes. We have concluded that the axial rotations during geo-referencing cause those major differential trends between two DEMs (Figure 9b). Both a counter-clockwise rotation at z-axis and a clockwise rotation at x-axis during geo-referencing may bring forth the differential error observed in the model (Figure 9b). Most of the precision error cumulated at the bench slopes is indicating the erroneous results of a poor geo-referencing. The best way to avoid geo-referencing errors is to perform a syn-flight referencing using flags that are pre-referenced accurately.

Differences due to Uneven Resolution of DEMs

Comparing two DEMs (TS DEM via SfM-MVS DEM) with different ground resolution produces an additional differential error. TS DEM has a ground resolution of 4.24 m/pixel and a point density of 0.008 points/m² while the SfM-MVS DEM is superior in quality with is 0.299 m/pixel ground resolution with a point density of

11.20 points/m². Interpolation of lower resolution TS DEM with lower point density results in higher interpolation smoothing in the generated DEM. The interpolation smoothing in the lower resolution TS DEM appears as alternating artificial hills and depressions due to the lower

density of the measurement points (Figure 9a: D). In hence, when the two sets of elevation models are compared, these artificial hills and depressions are added and subtracted and erroneously creates nail shaped alternating terrain near bench toes (Figure 6a: D).

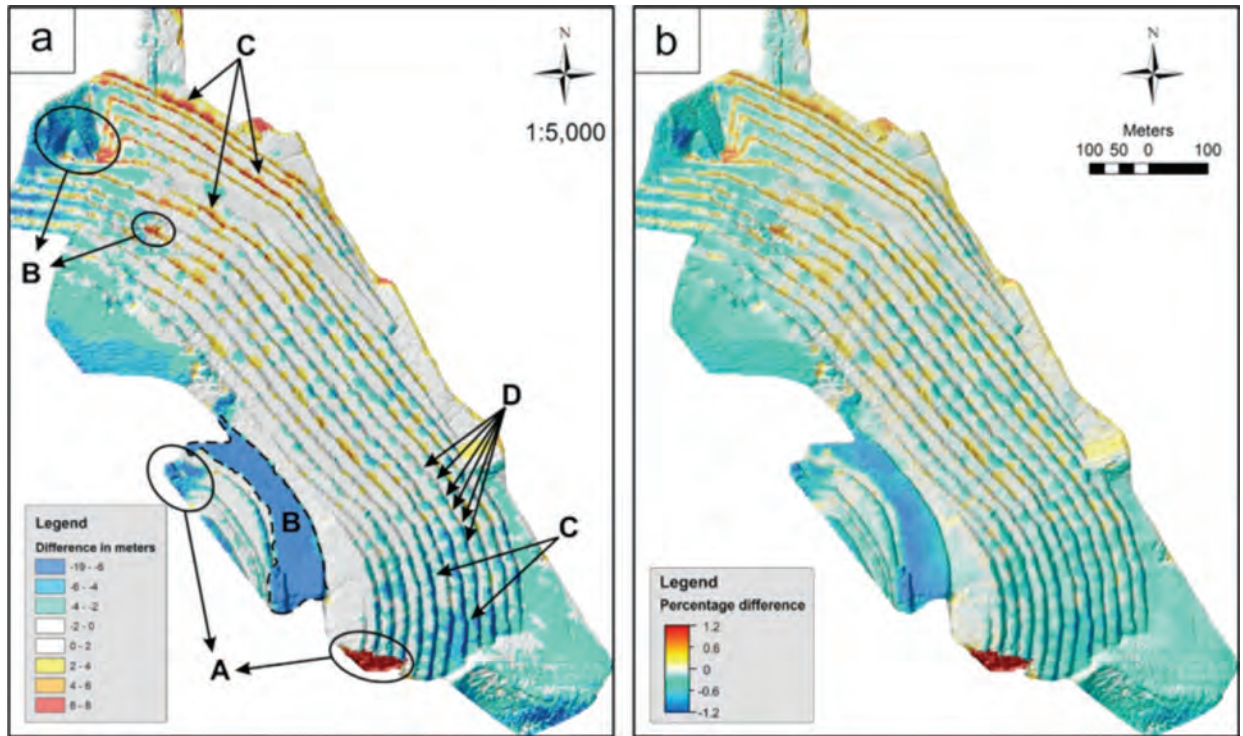


Figure 6. Arithmetic comparison of Digital elevation models, a) arithmetic difference of DEMs, b) percentage difference calculated. (A: modelling errors, B: temporal physical changes, C: differences due to geo-referencing, D: differences due to uneven resolution of DEMs, dashed line: excavated area).

Şekil 6. Sayısal Yükseklik Modellerinin aritmetik kıyaslaması a) SYM'lerin aritmetik farkı ve b) hesaplanan yüzde farkı. (A: modelleme hataları, B: zamana bağlı fiziksel değişiklikler, C: jeo-referanslamaya bağlı farklılıklar, D: SYM'lerin farklı çözünürlükleri nedeniyle oluşan farklılıklar, kesikli çizgi: kazım alanı).

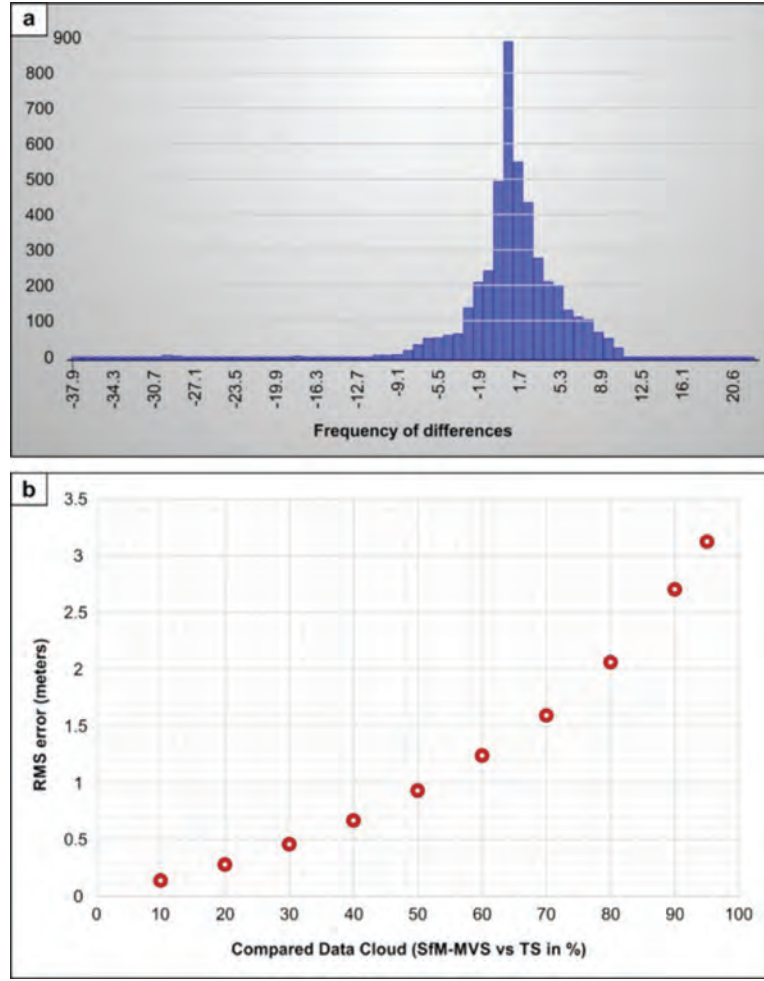


Figure 7. Accuracy of the produced model, a) Histogram of the arithmetic difference between two models, b) Graph showing the accuracy of the SfM-MVS derived elevation data with respect to TS measurements.

Şekil 7. Oluşturulan modelin hassasiyeti, a) İki yükseklik modeli arasındaki aritmetik farkın histogramı, b) TS ölçümlerine kıyasla HY-ÇBS ile türetilmiş yükseklik verisinin hassasiyetini gösterir grafik.

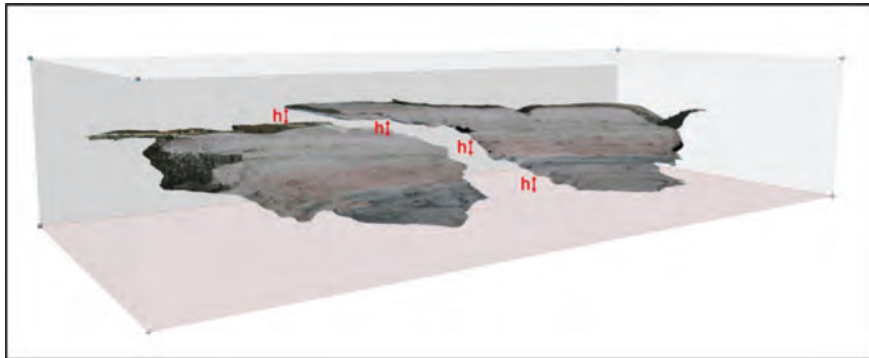


Figure 8. Erroneous en-echelon surface model generated as a result of discontinuous / incomplete image dataset.

Şekil 8. Süreksiz / tamamlanmamış veri seti sonucu basamak şekilli hata ile oluşmuş yüzey modeli.

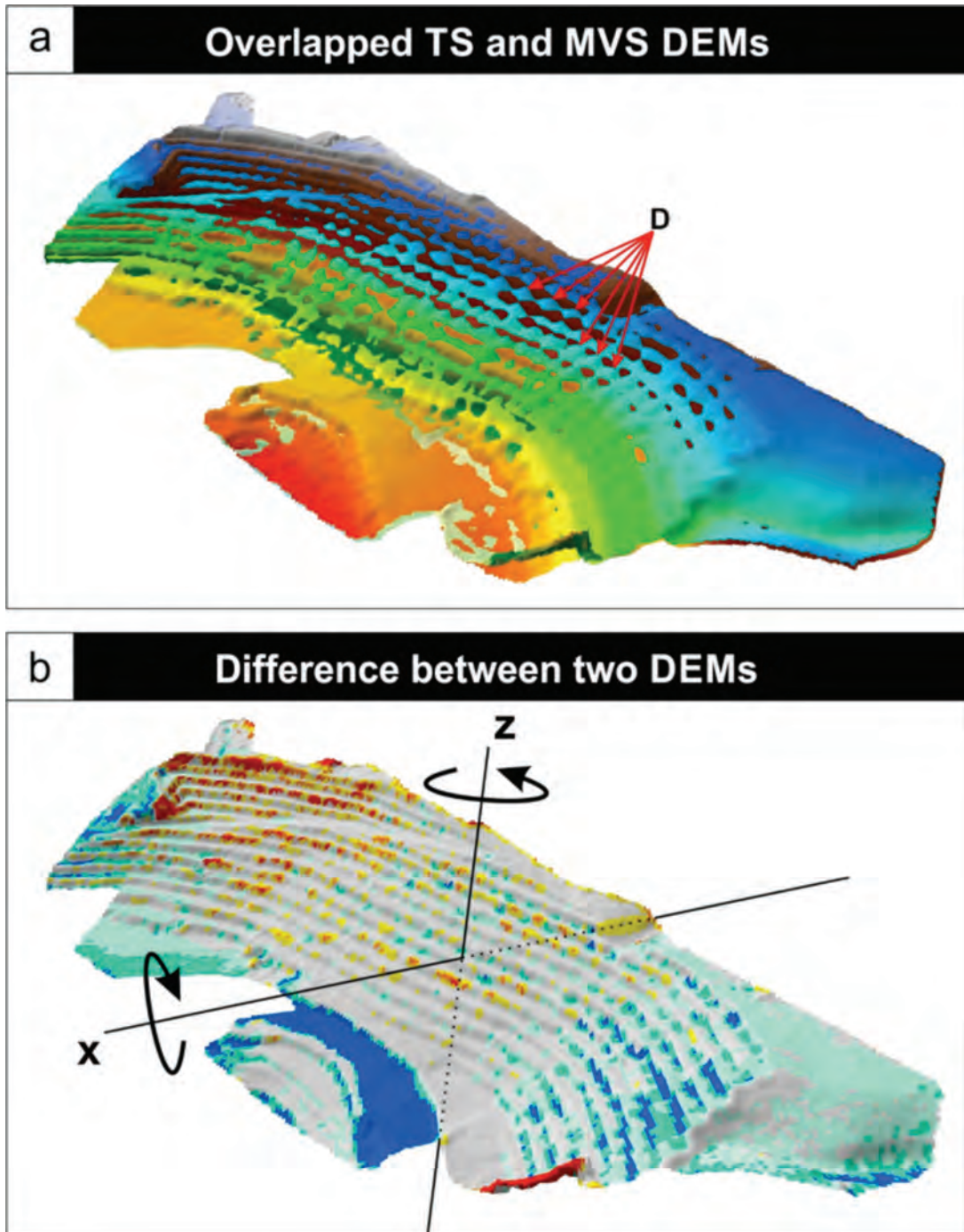


Figure 9. Visualization of the difference of two DEMs. a) Overlapped SfM-MVS and TS derived DEMs and b) 3D visualization of arithmetic difference (Figure 6a) between the DEMs.

Şekil 9. İki SYM'nin farkının görsel olarak ifadesi. a) HY-ÇBS ve TS ile türetilen SYM'lerin üstüste çakıştırılmış hali ve b) SYM'ler arasındaki aritmetik farkın (Şekil 6a) 3B gösterimi.

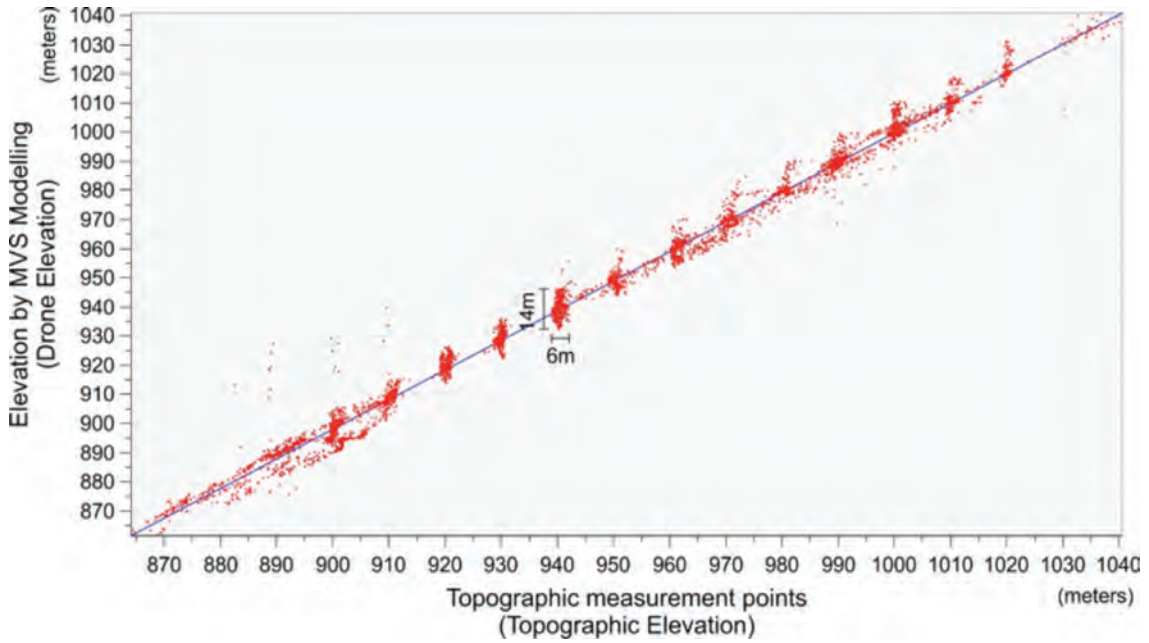


Figure 10. Graph comparing the direct TS measurement points and coinciding elevation points derived by SfM-MVS modelling.

Şekil 10. TS ölçüm noktaları ve bunlara karşılık gelen HY-ÇBS modeli ile üretilmiş yükseklik değerlerini kıyaslayan grafik.

CONCLUSION

3D modelling of open mines using lightweight UAV's and multi-view stereo modelling method is a cheap and efficient method that can fulfill the commercial and engineering needs. The method has a potential to supersede the existing expensive methods such as laser image detection and laborious methods such use mapping by point detection systems in the near future. Using low budget instrumentation and software, within a considerably short working time (including fieldwork and computer modelling) MSV with lightweight UAV provide tangible results.

Using a lightweight UAV equipped with a 5 mm fixed focal length camera which is stabilized by an electronic gimbal, we were able to produce a high resolution (0.3 m/pixel) DEM and a very high resolution (0.04 m/pixel) orthorectified aerial image. Both datasets have high point density (orthophoto: 716.86 points/m² and DEM: 11.20 points/m²) and we achieved an elevation precision

better than 3 m for the entire dataset and 1 m for the 50% of the dataset. Derived imagery and elevation data presents affordable, rapid and quality data for monitoring and mapping mining terranes. A discussion on the quality of the method and basic quality improvement strategies (such as syn-flight georeferencing and autonomous flight) have been explicated.

Rapid and easy execution of the modelling workflow allows temporal monitoring and helps investigating and quantifying manmade geomorphological modifications and changes due to mass movements, crack/fault formations, water and vegetation.

Future increase in flight time and payload capacity in lightweight UAVs will extend the investigation area and increase the quality of the models. Use of workstations with high RAM for modelling allows building DEMs with higher resolution. Resolution of the orthorectified imagery depends mainly on the resolution of the

camera, lighting conditions and distance from the target.

Besides geological and geomorphological applications, SfM-MVS is a promising technique for areas such as archaeology, urban planning, agriculture/forest engineering, construction engineering and preservation of cultural heritage with high precision earth modelling capabilities.

ACKNOWLEDGEMENTS

The presented work was funded by Hacettepe University Scientific Research Projects Coordination Unit with a Support project (FDS-2015-6927). The field test was supported by Eti Mine Works General Directorate, Turkey, whom we thank for permission to publish the results. The authors gratefully acknowledge the improvements by the Editor, Prof. Dr. Orhan Tatar and the anonymous Reviewer (#2).

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

“Hareketten yapı – Çok bakılı stereofotogrametri” (HY-ÇBS) yöntemi ile 3 Boyutlu (3B) model oluşturma çalışmalarındaki güncel atılımlar (Gong ve Wang, 2011; Calakli vd. 2012) yöntemin morfoloji kökenli çalışmalarda hızla yayılmasını sağlamıştır. 3B nokta bulutu verisinin üretilmesi artık sadece pahalı ve özelleşmiş cihazlar olan lazer / radar aralık ölçerlerle sınırlı değildir. Kalibrasyonsuz, tüketici ölçeğindeki sayısal kameralarla da 3B nokta bulutu verisi üretmek mümkündür (Furukawa ve Ponce, 2007; Gong ve Wang, 2011; James ve Robson, 2012; Bemis vd. 2014). HY-ÇBS yöntemi geniş ölçekte, çok ucuz, yüksek çözünürlüklü yüzey modellemesinin önünü açarak yerbilimlerinde yeni bir çağ açmaktadır.

HY-ÇBS yönteminde farklı açı, pozisyon ve uzaklıklardan alınan birçok görüntü yardımıyla basit bir ‘nokta bulutu’ oluşturulur. Bu basit nokta bulutunun tekrar işlenmesi ile bir ‘yoğun

nokta bulutu’ ve en sonunda da bu veri setinden ‘kafes-yüzey’ üretilir (Şekil 1a, b, c). ‘Kafes-yüzey’, fotoğraflardaki piksel değerlerine göre renklendirilebilir veya yüzeyler doğrudan fotoğraftan kesilerek model üzerine yapılandırılarak bir doku oluşturulabilmektedir (Şekil 1d, e, f). 3B modelleme yönteminin ilk etabı olan Hareketten-Yapı (HY) algoritması farklı pozisyonlardan çekilmiş pek çok görüntüyü tarar; bu görüntüleri elementlerine (izole noktalar, çizgisel unsurların bitiş noktaları veya dokusal unsurlar gibi ayırdedilebilir yapısal unsurlar) ayırır ve bunların üç boyutlu yapısını ve hareketini bu unsurları tekrar birleştirerek yeniden oluşturur (Ullman, 1979). Bu ilk aşamada kullandığımız yöntem, ölçüğe göre değişmeyen unsur dönüştürme temelli bir unsur tespit algoritmasıdır (SIFT – Love, 2004) ve her nokta için noktanın lokal komşularını kullanarak bir tanım (konum, renk, doku vs.) oluşturur.

Değişik araştırma alanlarından pek çok ilgi çekici ve faydalı örnek uygulama bu yeni modelleme tekniğinin sınırlarını çizmekte, tekniğe katkıda bulunmakta ve tekniğin sınırlarını belirlemektedir (pek çok örnekten bazıları şunlardır: Gimenez vd. 2009; Niethammer vd. 2010; James ve Varley, 2012; Skarlatos ve Kiparissi, 2012; Calakli vd. 2012; Tuffen vd. 2013; Bemis vd. 2014; Bennet, 2015; Shahbazi vd. 2015; Van Damme, 2015; Vepakomma vd. 2015; Tonkin vd. 2016).

Araştırma kapsamında hafif bir dron ile alınan hava fotoğrafları kullanılarak, HY-ÇBS yöntemi ile bir açık maden ocağının yüksek çözünürlüklü modellemesi gerçekleştirilmiş; oluşturulan model, ocağın olağan noktasal topoğrafik ölçümleri ile kıyaslanmıştır.

Çalışmada havadan görüntü almak için tasarlanmış hafif (1242 g) bir insansız hava aracı olan Phantom 2 vision+ kullanılmıştır (Şekil 3). Araç, 3 eksenli bir dengeleme halkasına (gimbal) oturtulmuş 14 MP çözünürlüklü bir kamera taşımaktadır. Kameranın odak derinliği

5 mm'dir. Uçuşlar sırasında 4384 x 3288 piksel çözünürlüklü görüntüler her 4 saniyede bir çekilmiş ve araç üzerindeki 4GB hafızalı bir mikro SD karta kaydedilmiştir. Tüm görüntüler iki uçuş ile alınmıştır; her bir uçuş yaklaşık 16 dakika sürmüştür. Uçuşlar 80, 100 ve 120 metre yükseklikte manuel kontrol ile gerçekleştirilmiştir. Tek bir fotoğrafın ayakizi (gösterdiği alan) ~244 x 180 metre ve yer piksel boyutu ~55 mm'dir. Bu koşul, görüntü çiftleri arasında yaklaşık %77'lik bir binili görüntü imkânı oluşturmaktadır (Şekil 2c). Görüntüler hem nadir yönlü (aşağı yönlü) bakış hem de 45° açılı bakış ile alınmıştır. Ocağın olağan nokta ölçümleri Leica Nova 50TM Total Station (TS) ile doğal yüzeyden ölçüm ile alınmıştır; TS ölçümlerinin nokta yoğunluğu 0,008 nokta/m² 'dir; 4,24 m Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) çözünürlüğü elde edilmiştir.

Uçuşlar süresince 491 görüntü alınmış, bunlardan 132 tanesi daha sonra net olmadığından, odaklı olmadığından veya yanlışlıkla İHA'nın iniş takımlarını çektiği için manuel olarak elenmiştir. Maden ocağının 3B modelini oluşturmak için toplamda 359 görüntü kullanılmıştır (Şekil 2c). Veriyi modellemek için kullanılan bilgisayar 8 GB RAM'a sahip bir dizüstü bilgisayardır.

3B modelleme Hareketten-yapı ve Çok-bakılı stereofotogrametrik yöntem kullanan lisanslı Agisoft Photoscan© ('Agisoft', 2016) yazılımı (sürüm 1.1.6) ile gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf hizalama 25.306 bağlantı noktası kullanılarak yapılmış ve düşük yoğunluklu nokta bulut modeli oluşturulmuştur. İkinci aşamada hizalanmış fotoğraflar 7.152.017 noktadan oluşan yüksek yoğunluklu 3B HY-ÇBS modelini oluşturmak için kullanılmıştır. Daha sonra kafes ve doku eklenmiş kafes bu yüksek yoğunluklu modelden oluşturulmuştur. Yüksek çözünürlüklü SYM ve ortorektifiye görüntüler bu modelden türetilmiştir. Modelleme süreci yaklaşık 6 saat sürmüştür. TS noktalarının dokuz tanesi jeoreferanslama için yer kontrol noktası olarak kullanılmıştır (Şekil 2b: sarı noktalar). Jeoreferanslama işleminin

RMS hatası X-yönünde 0,89 m, Y-yönünde 1,71 m, Z-yönünde 3,9 m ve genel olarak da 4,3 metre olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek referanslama hata payının sonuçları tartışma bölümünde irdelenmiştir.

Hafif bir İHA kullanarak, yüksek çözünürlüklü (0,299 m/piksel) bir SYM (Şekil 5a) ve çok yüksek çözünürlüklü (0,037 m/piksel) bir ortorektifiye hava fotoğrafı (Şekil 4) üretilmiştir. Her iki veri seti de yüksek nokta yoğunluğuna sahiptir (ortofoto: 716,86 nokta/m² ve SYM: 11,20 nokta/m²). Oluşturulan model 0,55 km²'lik bir alanı kaplamaktadır ve uzun eksenleri 1,4 km'ye 0,5 km uzunluğundadır. HY-ÇBS modelleme yöntemiyle türetilmiş SYM ile ocağın olağan TS ölçüm sonuçları kıyaslanmış, havadan üretilen modelin hassasiyeti sorgulanmıştır (Şekiller 6, 7, 9 ve 10). Oluşturulan modelin tamamı için 3 metreden daha hassas, veri setinin %50'si için de 1 metreden daha hassas yükseklik doğruluğu elde edilmiştir. İki veri setinin t-testi ile kıyaslanması sonucunda veri setleri arasındaki farkın anlamsız ve önemsiz olduğu gösterilmiştir (Çizelge 1). Bu yargımızda hata payı %5'in altındadır.

Modelleme kaynaklı farklılıklar, zamana bağlı fiziksel değişiklikler, jeo-referanslamaya bağlı farklılıklar ve SYM'lerin aynı olmayan çözünürlüğüne bağlı farklılıklar tartışılmış, basit kalite artırma stratejileri önerilmiştir (otonom uçuş ve uçuş ile eş zamanlı jeoreferanslama gibi).

Hafif İHA'lar kullanılarak çok-bakılı stereo modelleme yöntemi ile açık maden ocaklarının 3B modellemesi ticari ve mühendislik ihtiyaçlarını karşılayabilecek ucuz ve etkili bir yöntemdir. Yöntem, yakın gelecekte lazer görüntü alımı gibi pahalı ve nokta haritalama gibi zahmetli yöntemlerin yerini alabilecek potansiyele sahiptir. Düşük bütçeli enstrümantasyon ve yazılım kullanılarak dikkate değer ölçüde kısa çalışma zamanıyla (arazi ve bilgisayar modellemesi bir arada) hafif İHA ile ÇBS güvenilir sonuçlar verebilmektedir.

Modelleme iş akışının hızlı ve kolay uygulanabilirliği zamana bağlı değişiklikleri gözlemlemeye, suni jeomorfolojik değişiklikleri, kütle hareketlerine, kırık çatlak oluşumlarına, su ve vejetasyona bağlı değişimleri incelemeye ve sayısallaştırmaya olanak sağlamaktadır.

Hafif İHA'ların uçuş zamanında ve yük kapasitelerinde yakın zamanda meydana gelecek artış, model kalitesini ve inceleme alanını artıracaktır. Yüksek hafızalı bilgisayar istasyonların kullanımı daha yüksek çözünürlüklü modeller üretmeye olanak tanımaktadır. Ortorektifiye görüntünün çözünürlüğü esas olarak kamera çözünürlüğüne, ışık koşullarına ve hedefe olan uzaklığa bağlıdır.

Jeolojik ve jeomorfolojik uygulamaların yanısıra, HY-ÇBS, yüksek hassasiyetli modelleme kapasitesiyle arkeoloji, şehir planlama, ziraat/orman mühendisliği, yapı mühendisliği ve kültürel varlıkların korunması alanlarında gelecek vadeden bir yöntemdir.

REFERENCES

- Abdullah, Q., Bethel, J., Hussain, M., Munjy, R., 2013. Photogrammetric project and mission planning. In Manual of Photogrammetry, in: McGlone, J.C. (Ed.), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda. MD, pp. 1187–1220.
- Agisoft [WWW Document], 2016. URL <http://www.agisoft.com/> (accessed 1.30.16).
- Barazzetti, L., Scaioni, M., Remondino, F., 2010. Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: Combining accuracy with automation. The Photogrammetric Record 25, 356–381. doi:10.1111/j.1477-9730.2010.00599.x
- Bemis, S.P., Mickelthwaite, S., Turner, D., James, M.R., Akciz, S., Thiele, S.T., Bangash, H.A., 2014. Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. Journal of Structural Geology 69, 163–178. doi:10.1016/j.jsg.2014.10.007
- Bennet, M.J., 2015. Evaluating the Creation and Preservation Challenges of Photogrammetry-based 3D Models. UConn Libraries Published Works. Paper 52.
- Brothelande, E., Lénat, J.-F., Normier, A., Bacri, C., Peltier, A., Paris, R., Kelfoun, K., Merle, O., Finizola, A., Garaebiti, E., 2015. Insights into the evolution of the Yenkahe resurgent dome (Siwi caldera, Tanna Island, Vanuatu) inferred from aerial high-resolution photogrammetry. Journal of Volcanology and Geothermal Research 299, 78. doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.04.006
- Burns, J.H.R., Delparte, D., Gates, R.D., Takabayashi, M., 2015. Integrating structure-from-motion photogrammetry with geospatial software as a novel technique for quantifying 3D ecological characteristics of coral reefs. PeerJ 3:e1077. doi:10.7717/peerj.1077
- Calakli, F., Ulusoy, O.A., Restrepo, M., Taubin, G., Mundy, L.J., 2012. High resolution surface reconstruction from multi-view aerial imagery [WWW Document]. Second International Conference on 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission (3DIMPVT). doi:10.1109/3DIMPVT.2012.54
- Esposito, S., Fallavollita, P., Wahbeh, W., Nardinocchi, C., Balsi, M., 2014. Performance evaluation of UAV photogrammetric 3D reconstruction, in: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IEEE, Quebec City, QC, pp. 4788–4791. doi:10.1109/IGARSS.2014.6947565
- Etimaden [WWW Document], 2016. URL <http://www.etimaden.gov.tr/tr/page/uretim-emet> (accessed 1.29.16).
- Fan, L., Smethurst, J.A., Atkinson, P.M., Powrie, W. 2015. Error in target-based georeferencing and registration in terrestrial laser scanning. Computers and Geosciences 83, 54-64.
- Forte, M., 2014. 3D ARCHAEOLOGY New Perspectives and Challenges – The Example of Çatalhöyük. Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies 2(1).
- Furukawa, Y., Ponce, J., 2010. Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 8.
- Gimenez, R., Marzoff, I., Campo, M., Seeger, M., Ries, J., Casali, J., Alvarez-Mozos, J., 2009. Accuracy of high-resolution photogrammetric measurements of gullies with contrasting morphology. Earth

- Surface Processes and Landforms 34, 1915–1926. doi:10.1002/esp.1868
- Gomez, C., Purdie, H., 2014. High-resolution monitoring of glacier and valley with combined ground- and UAV-based Photogrammetry: Study of fox valley, New Zealand, in: IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES). Indonesia.
- Gong, Y., Wang, Y.-F., 2011. Multi-view stereo point clouds visualization. *Lecture Notes in Computer Science* 281–290. doi:10.1007/978-3-642-24028-7_26
- Granshaw, S.I., 1980. Bundle adjustment methods in engineering photogrammetry. *The Photogrammetric Record* 10, 181–207. doi:10.1111/j.1477-9730.1980.tb00020.x
- Haukaas, C., 2015. New opportunities in digital archaeology: The use of low-cost Photogrammetry for 3D documentation of archaeological objects from Banks island, NWT (Electronic Thesis and Dissertation Repository No. Paper 2117.).
- Helvacı, C., 2015. Geological Features of Neogene Basins Hosting Borate Deposits: An Overview of Deposits and Future Forecast, Turkey. *Bulletin of The Mineral Research and Exploration* 151, 169–215. doi:10.19111/bmre.05207
- James, M.R., Robson, S., 2012. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research* 117, F03017. doi:10.1029/2011jf002289
- James, M.R., Robson, S., 2014. Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. *Earth Surface Processes and Landforms* 39, 1413–1420. doi:10.1002/esp.3609
- James, M.R., Varley, N., 2012. Identification of structural controls in an active lava dome with high resolution DEMs: Volcán de Colima, Mexico. *Geophysical Research Letters* 39, L22303. doi:10.1029/2012gl054245
- Javernick, L., Brasington, J., Caruso, B., 2014. Modeling the topography of shallow braided rivers using structure from motion photogrammetry. *Geomorphology* 213, 166–182. doi:10.1016/j.geomorph.2014.01.006
- Kraus, K., 1993. *Photogrammetry, Vol. 1: Fundamentals and standard processes*. Dümmlers.
- Lewis, A., Hilley, G.E., Lewicki, J.L., 2015. Integrated thermal infrared imaging and structure-from-motion photogrammetry to map apparent temperature and radiant hydrothermal heat flux at mammoth mountain, CA, USA. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 303, 16–24. doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.07.025
- Lowe, D.G., 2004. Distinctive image features from scale-invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision* 60, 91–110. doi:10.1023/b:visi.0000029664.99615.94
- Mackenzie, D., Elliott, J.R., Altunel, E., Walker, R.T., Kurban, Y.C., Schwenninger, J.-L., Parsons, B., 2016. Seismotectonics and rupture process of the MW 7.1 2011 Van reverse-faulting earthquake, eastern Turkey, and implications for hazard in regions of distributed shortening. *Geophysical Journal International*, 206 (1), 501–524.
- McLeod, T., Samson, C., Labrie, M., Shehata, K., Mah, J., Lai, P., Wang, L., Elder, J.H., 2013. Using video acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) to measure fracture orientation in an open-PIT mine. *Geomatica*, 67(3), 173–180.
- Niethammer, U., Rothmund, S., James, M.R., Travelletti, J., Joswig, M., 2010. UAV-Based Remote Sensing of Landslides. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. Vol. XXXVIII, Part 5*.
- Remondino, F., 2006. Detectors and descriptors for photogrammetric applications. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: Symposium of ISPRS Commission III Photogrammetric Computer Vision PCV '06, Int. Soc. for Photogramm. and Remote Sens., Bonn, Germany. 36, 49–54*.
- Rosnell, T., Honkavaara, E., 2012. Point cloud generation from aerial image data acquired by a Quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors* 12, 453–480. doi:10.3390/s120100453
- Shahbazi, M., Sohn, G., Théau, J. and Ménard, P., 2015. UAV-based point cloud generation for open-pit mine modelling. *The international archives of*

- the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol XL-1W4, 313-320.
- Skarlatos, D., Kiparissi, S., 2012. Comparison of Laser Scanning, Photogrammetry and SfM-MVS Pipeline Applied in Structures and Artificial Surfaces, in: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXII ISPRS Congress. Melbourne, Australia.
- Tong, X., Liu, X., Chen, P., Liu, S., Jin, Y., Li, L., Xie, H., Luan, K., 2015. Integration of UAV-Based Photogrammetry and terrestrial laser scanning for the Three-Dimensional mapping and monitoring of open-pit mine areas. *Remote Sensing* 7, 6635–6662. doi:10.3390/rs70606635
- Tonkin, T.N., Midgley, N.G., Cook, S.J., Graham, D.J., 2016. Ice-cored moraine degradation mapped and quantified using an unmanned aerial vehicle: A case study from a polythermal glacier in Svalbard. *Geomorphology* (in press). doi:10.1016/j.geomorph.2015.12.019
- Tuffen, H., James, M.R., Castro, J.M., Schipper, C.I., 2013. Exceptional mobility of an advancing rhyolitic obsidian flow at Cordón Caulle volcano in Chile. *Nature Communications* 4. doi:10.1038/ncomms3709
- Ullman, S., 1979. The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 203, 405–426. doi:10.1098/rspb.1979.0006
- VanDamme, T., 2015. Computer Vision Photogrammetry For Underwater Archaeological Site Recording In A Low-Visibility Environment, in: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Underwater 3D Recording and Modeling*. Piano di Sorrento, Italy. doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-231-2015
- Vepakomma, U., Cormier, D., Thiffault, N., 2015. Potential of Uav based Convergent Photogrammetry in monitoring regeneration standards, in: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Toronto, Canada, pp. 281–285. doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-281-2015
- Yücel, M.A., Turan, R.Y., 2016. Areal Change Detection and 3D Modeling of Mine Lakes Using High-Resolution Unmanned Aerial Vehicle Images. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(12), 4867-4878.



Güre (Balıkesir) Jeotermal Alanının Jeolojisi, Hidrojeokimyası ve Aktif Tektonikle İlişkisi
Geology and Hydrogeochemistry of Güre (Balıkesir) Geothermal Field and its Relationship with Active Tectonic

Belgin Kaçar^{1*}, Süha Özden², Özkan Ateş³

¹Mithatpaşa Mah. 212 Sok. Palmiye Apt. No: 2 Daire 1 Konak/İzmir

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çanakkale

³Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve
Maden Çıkarma Bölümü, Çan/Çanakkale

Geliş/Received : 10.02.2017 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 22.03.2017 • Kabul/Accepted : 24.03.2017 • Baskı/Printed : 01.04.2017

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Güre jeotermal alanı KB Anadolu'da Balıkesir ili sınırları içerisinde yer alır. Bu çalışmada alanın ve yakın çevresinin jeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ile aktif tektonizmaya ilişkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Güre jeotermal alanının temelini Paleozoyik yaşlı Kazdağ Grubu'na ait kayalar oluşturmaktadır. Temel kayaların üzerinde uyumsuzlukla Triyas yaşlı Karakaya formasyonu yer almaktadır. Kretase yaşlı Çetmi melanjı bu temelin üzerinde tektonik olarak durmaktadır. Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Hallaçlar volkaniti ve Oligo-Miyosen yaşlı granodiyoritler, tüm yaşlı birimleri keserek yerleşmişlerdir. Kuvaterner yaşlı alüvyon çalışma alanındaki tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Türkiye Diri Fay Haritalarında da aktif fay olarak gösterilen Edremit Fay Zonu'nun doğu kısmı üzerinde yer alan Güre jeotermal alanı yaklaşık DKD-BGB doğrultulu ve güneye eğimli bir normal fay tarafından kontrol edilmektedir. Aletsel dönemde Eylül 2013 ile Ağustos 2014 tarihleri arasında bu bölge ve yakın civarında $M=3.0$ dan büyük yaklaşık 12 adet deprem meydana gelmiştir. Güre jeotermal alanında yer alan dört adet sıcak su sondajından gelen jeotermal suların 21.09.2013-16.08.2014 tarihleri arasında 12 farklı dönemde bir izleme çalışması yapılmıştır. Yapılan sıcak su fiziko-kimyası ölçümü çalışmaları sırasında ve eş zamanlı olarak bölgede ve yakın civarında meydana gelen depremler öncesi ve sonrasında; termal suların özellikleri $T^{\circ}C$, pH ve EC değerlerinde bir değişim olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, termal suyun kimyasal analizleri sonucunda özellikle başta Cl^- , Na^+ ve SO_4^{2-} olmak üzere birçok elementel düzeyde artış ya da azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Bu değişimlerin bölgedeki aktif tektonik rejim ile doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aktif Fay, Deprem, Güre, Hidrojeokimya, Jeotermal

Abstract: Güre geothermal field is located in NW Anatolia within the boundaries of Balıkesir. This study attempts to determine the geologic and hydrogeochemical characteristics of the field and close surroundings and their correlation with active tectonism. The basement of Güre geothermal field is rocks of the Paleozoic-age Kazdağ Group. Above the basement, the Triassic-age Karakaya Formation lies above an unconformity. The Cretaceous Çetmi melange tectonically overlies this basement. The Upper Oligocene-Lower Miocene Hallaçlar volcanics and Oligo-Miocene granodiorites were emplaced by cutting all older units. Quaternary alluvium unconformably overlies all units in the study area. The Güre geothermal field located on the east section of the Edremit Fault Zone, marked as an active fault on the Active Fault Map of Turkey, is controlled by a nearly ENE-WSW oriented, south-dipping normal fault. In the instrumental period from September 2013 to August 2014, nearly 12 earthquakes occurred in this region and close surroundings with $M=3.0$ or more. Geothermal water from four hot-water wells in the Güre geothermal field had monitoring studies performed in 12 different periods from 21.09.2013-16.08.2014. Physico-chemical measurements and experimental studies of water from Güre geothermal field were compared simultaneous to earthquakes in the region. Before and after earthquakes changes were observed in these thermal waters, especially

T°C, pH and EC values. Additionally chemical analysis of the water identified increases or reductions in many elemental levels, especially Cl⁻, Na⁺ and SO₄²⁻. It was concluded that these variations were directly related to the active tectonic regime in the region.

Key Words: Active Fault, Earthquake, Geothermal, Güre, Hydrogeochemistry

GİRİŞ

Yeraltı suyu bileşimindeki fiziksel ve kimyasal değişimlerin deprem öncesinde oluşan ilk sarsıntılarla başladığı ve enerji boşalımı maksimum değerlere ulaştığı, sonra zamanla normal değerlerine döndüğü bilinmektedir (Şimşek ve Yıldırım, 2000). Depremlerin öncesinde, sırasında ve sonrasında yeni su kaynakları oluşumu yada var olan su kaynaklarının kaybolması da olağandır. 1999 İzmit ve Düzce depremlerinde, 2011 Simav depreminde de bazı jeotermal kaynak ve sondaj kuyu sularında fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmiştir (Şimşek ve Yıldırım, 2000; Ateş, 2014; Ateş ve Tutkun, 2014). Bu çalışmada Balıkesir ili Edremit körfezi kuzeyi boyunca uzanan Edremit Fay Zonu üzerinde yer alan Güre Jeotermal Alanı'nda dört adet sıcak su sondajı belirlenmiştir. Bu sıcak su sondajlarından gelen sıcak sular Güre Jeotermal Isı Merkezi'nde toplanmaktadır. Sıcak su sondaj noktalarından örnek alınmadığı için ısı merkezinde toplanan sıcak su başında yerinde ölçümler (pH, iletkenlik-EC ve sıcaklık-T°C) ve alınan sıcak su örneklerinden hidrojeokimyasal analizler (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁼ ve HCO₃⁻) yapılarak termal suların hidrojeokimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Örnekleme ve yerinde ölçümler düzenli olarak belirli periyotlarla yapılmıştır. Bu çalışmada sismik olarak oldukça aktif olan Güre ve civarında yer alan sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve bölgenin aktif tektonik yapısı ile olan ilişkisinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

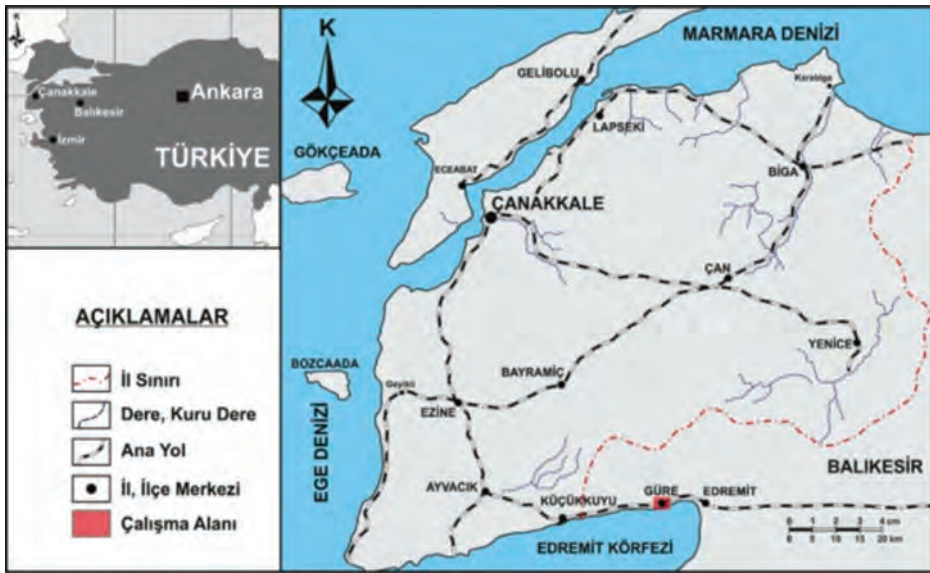
Bu çalışmada Balıkesir ili, Edremit ilçesi batısında yer alan Güre Jeotermal Alanı'nda aktif faylarla ilişkili sıcak su kaynakları belirlenmiştir. Bununla

beraber jeotermal alanın ve yakın civarının jeoloji ve aktif fay haritaları yenilenmiştir. Ayrıca arazide yer alan sıcak su sondajlarından ısı merkezine gelen sıcak suda bir yıl içerisinde 12 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme gerçekleştirilmiştir. Sıcak su başında pH, iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T°C) ölçümleri yapılmıştır. Sıcak suyun HCO₃⁻ analizleri laboratuvarda titrasyon yöntemi ile yapılmıştır. Alınan sıcak su örneklerini kimyasal analizlerinden major anyon ve kation (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁼) analizleri ise ACME LABS-Acme Analitik Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti. laboratuvarlarında yapılmıştır.

ÇALIŞMA SAHASININ JEOLJİSİ, AKTİF TEKTONİĞİ ve DEPREMSELLİĞİ

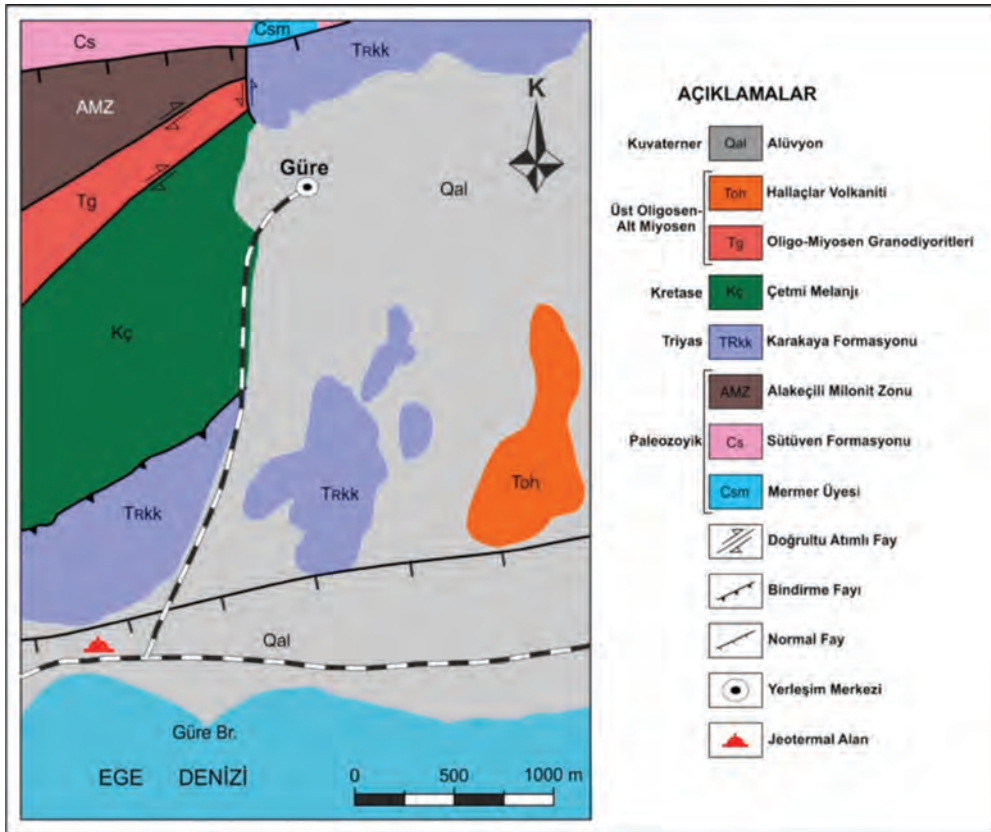
Çalışma alanının KB Anadolu'da Balıkesir ili, Edremit ilçesi, Güre beldesinde yer almaktadır (Şekil 1).

Çalışma alanı ve yakın civarı jeolojik olarak Kazdağlarının güney kısmını temsil eder. Bu kesim günümüzde Edremit Fay Zonu ile sınırlıdır. Çalışma sahasının temelinde Paleozoyik yaşlı Kazdağ Grubu'na ait Alakeçili milonit zonu, Sütüven Formasyonu ve Mermer üyesi oluşturmaktadır (Bingöl, 1975; Okay, 1987; Okay vd. 1990; Duru vd. 2004; Yüzer ve Yunay, 2012). Temel kayaların üzerinde uyumsuzlukla Triyas yaşlı Karakaya formasyonu yer almaktadır (Bingöl, 1968; Bingöl vd. 1973). Kretase yaşlı Çetmi melanjı bu temelin üzerinde tektonik olarak durmaktadır (Okay vd. 1990). Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Hallaçlar volkaniti (Ercan vd. 1995) ve Oligo-Miyosen yaşlı granodiyoritler (Duru vd. 2004) tüm yaşlı birimleri keserek yerleşmişlerdir. Tüm bu birimler üzerinde de uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı alüvyon ve kıyı çökelleri yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of the study area



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası

Figure 2. Geological map of the study area

Çalışma alanının güneyi boyunca uzanan ve üzerinde sıcak su kaynaklarının da yer aldığı Güre-Ilıca fayı yaklaşık DKD-BGB doğrultusundadır ve eğim atımlı normal fay karakterindedir (Şekil 3). Bir diğer eğim atımlı normal fay olan Kavlaklar-Yassıçalı fayı çalışma alanının KB sında metamorfik birimler arasında yaklaşık DKD-BGB doğrultusunda uzanır (Şekil 4). Ayrıca çalışma alanında metamorfik birimler sınırında KD-GB doğrultulu bir bindirme fayı yer almaktadır. Çalışma alanının KB sında doğrultusu KD-GB olan sağ yanal doğrultu atımlı faylar ve doğrultusu yaklaşık K-G olan sol yönlü doğrultu bir fay gözlenmiştir.

Çalışma alanı Edremit Körfezi ile Kazdağı arasında kalmaktadır. Edremit Körfezi, kuzeybatı Ege'de Kuzey Anadolu Fayı'nın orta ve güney

kolları arasında yer alan, kuzey sahili KDD-GBB doğrultulu normal fayların denetiminde tektonik olarak aktif bir genç havzadır (Alpar ve Yaltırak, 2002). Edremit Körfezi'nin çökmesi ve Kazdağı kütesinin yükselmesinde, KD-GB doğrultulu atımlı fayların Edremit Körfezi bloğunun saatin ters yönünde döndürülmesi ile oluşan yerel bir K-G gerilmenin etkisi bulunmaktadır (Alpar ve Yaltırak, 2002). Kazdağı Edremit Körfezi grabenin kuzeyinde asimetric olarak yükselen bir horsta karşılık gelmektedir. Edremit Körfezi Kuzey sahili de bu sistemin oluşturduğu kademeli faylarla yükselmekte körfez orta kesimi de aynı şekilde çökmektedir. Çalışma alanında bulunan Güre-Ilıca ve Kavlaklar-Yassıçalı fayı Kazdağı yükselimini Edremit Körfezi'nin çöküşünü sağlayan basamak şekilli normal faylar oluşturmaktadır (Alpar ve Yaltırak, 2002).



Şekil 3. Güre-Ilıca normal fayının morfolojik görünümü

Figure 3. Morphological view of Güre-Ilıca normal fault



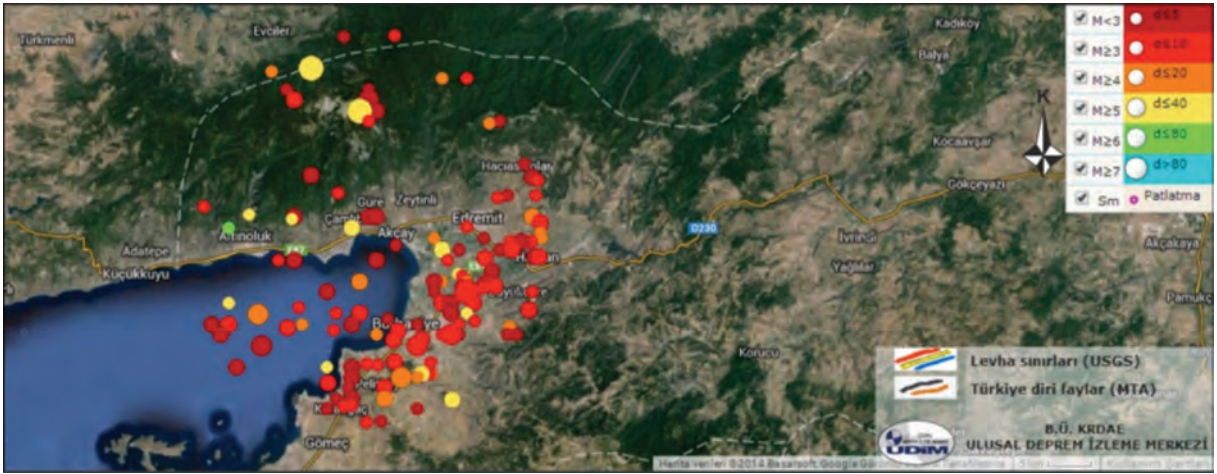
Şekil 4.Kavlaklar-Yassıçalı normal fayının morfolojik görünümü
Figure 4. Morphological view of Kavlaklar-Yassıçalı normal fault

Batı Anadolu'daki jeotermal aktiviteler çoğunlukla graben sistemleri içerisinde yer almışlardır. Büyük Menderes, Gediz, Simav, Bakırçay, İzmir, Gönen ve Edremit çevresinde 123 sıcak su kaynağı ve 36 jeotermal saha tanımlanmıştır (Akkuş vd. 2005; Şimşek, 2003). Depremsellikle ilişkili olduğu saptanan bölgesel faylar özellikle kaplıcalarla paralellik göstermektedir.

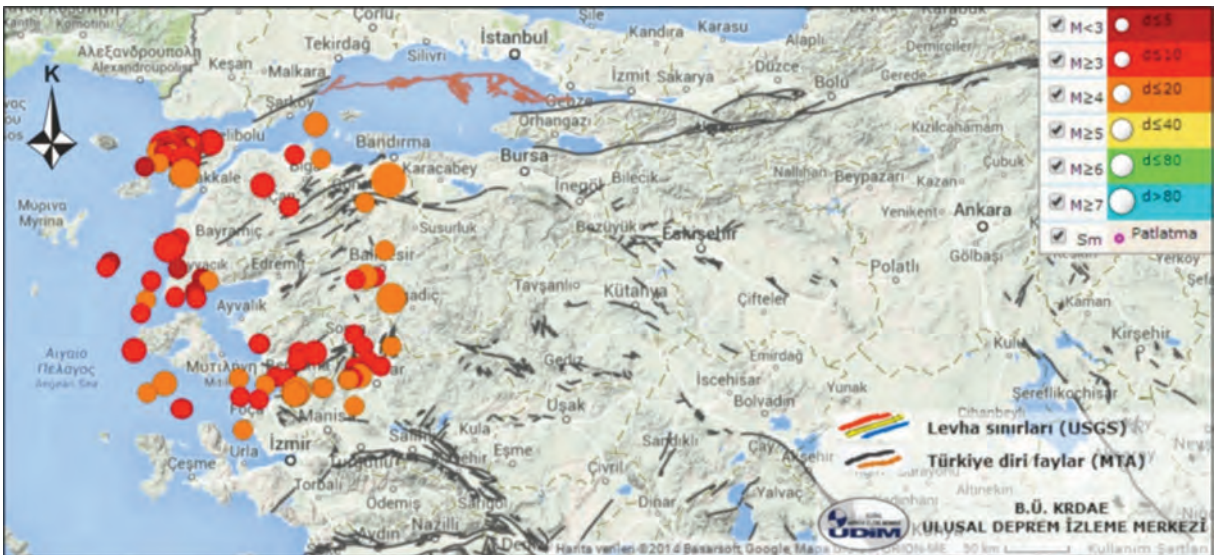
Çalışma alanı ve yakın çevresinde hasar yapıcı en büyük deprem büyüklüğü $M_s=7.0$ olan

6 Ekim 1944 Ayvalık-Edremit depremidir. Bu deprem Edremit Körfezi'nin kıyıları üzerinde yer alan köylerde, Ayvacık'ta ve Midilli Adası'nda ağır hasara neden olmuştur.

Ayrıca, 2013-2014 yıllarında arasında, çalışma alanı ve civarında meydana gelmiş çeşitli büyüklüklerdeki 126 adet deprem ve 24.05.2014 tarihinde büyüklüğü $M=6.5$ olan Gökçeada açıkları-Ege Denizi depremi kaydedilmiştir (Şekil 5, 6).



Şekil 5. Güre ve civarında aletsel dönemde meydana gelmiş büyüklüğü $M > 2.0$ depremler (udim.koeri.boun.edu.tr)
 Figure 5. Earthquakes which has $M > 2.0$ magnitude in the instrumental period at Güre and surrounding (udim.koeri.boun.edu.tr)



Şekil 6. Güre ve civarında 21.09.2013 ve 16.08.2014 tarihleri arasında meydana gelmiş büyüklüğü $M > 3.0$ olan depremler (udim.koeri.boun.edu.tr)
 Figure 6. Earthquakes which has $M > 3.0$ magnitude between 21.09.2013 and 16.08.2014 at Güre and surrounding (udim.koeri.boun.edu.tr)

ÇALIŞMA ALANINDAKİ JEOTERMAL SULARIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada Eylül 2013-Ağustos 2014 tarihleri arasında 12 farklı dönemde Balıkesir ili, Edremit ilçesi, Güre beldesinde yer alan jeotermal alanda belirlenen sıcak su sondaj kuyularından periyodik olarak yerinde ölçüm ve su örnekleme

çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sahasında arazide ölçülebilecek ve örnek alınabilecek sıcak su çıkışı bulunmadığından Güre jeotermal ısı merkezinden ölçüm ve örnekleme yapılmıştır. Örnek alınan Güre jeotermal ısı merkezine bağlı dört adet sıcak su sondajı bulunmaktadır. Bu sıcak su sondajları İGJ-1, İGJ-2, İGJ-3 ve İGJ-4 olarak adlandırılmıştır (Çizelge 1) (Şekil 7).

Çizelge 1. Güre jeotermal alanında yer alan sıcak su sondajları

Table 1. Geothermal water drillings in Güre geothermal area

Kuyu No	Koordinat	Derinlik (m)	Kuyu Başı Sıcaklık
İGJ-1	490224D / 4832366K	167	64°C
İGJ-2	490060D / 4382174K	250	56,3°C
İGJ-3	490215D / 4382392K	206	67°C
İGJ-4	490332D / 4382392K	250	67°C



Şekil 7. Güre jeotermal alanındaki sıcak su sondaj kuyu yerlerinin Google Earth görüntüsü

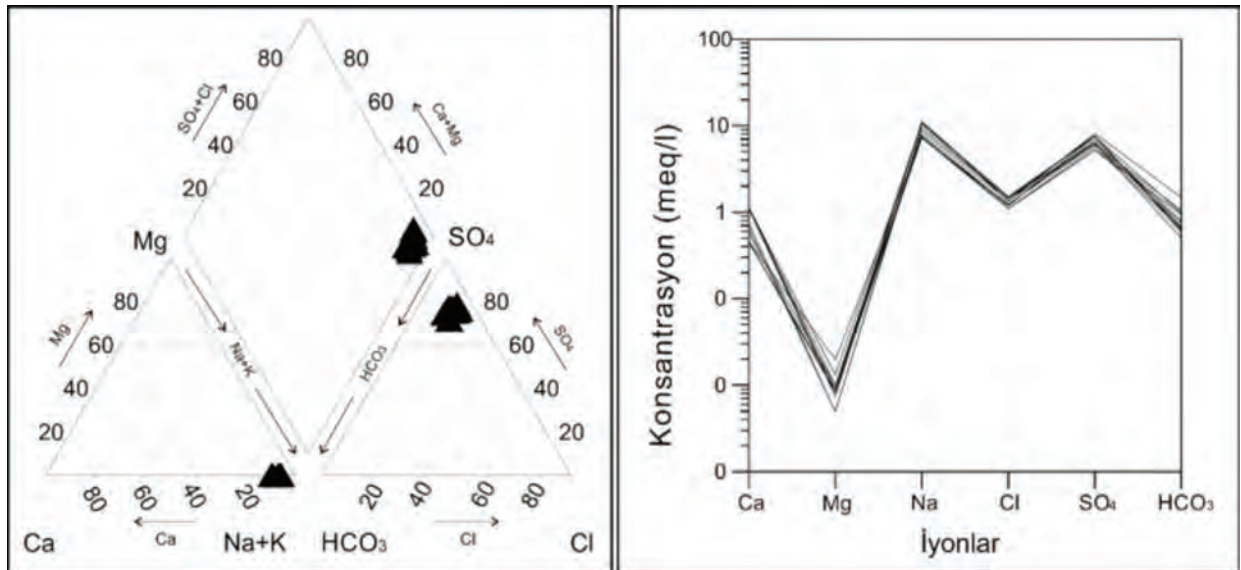
Figure 7. Google Earth image of geothermal water drilling locations in Güre geothermal area

Güre jeotermal alanında 21.09.2013-16.08.2014 tarihleri arasında 12 farklı dönemde periyodik olarak yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışması yapılarak termal suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 2).

Major anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki su tipleri incelendiğinde Güre Jeotermal alanındaki su tipi Na-SO₄ lı su tipini yansıtmaktadır ve kendi aralarında gösterdikleri benzer özelliklerden dolayı bu üç ayrı sıcak su kaynağı için eş kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına ait sular olarak yorum yapılabilir (Şekil 8, 9). Çalışma alanındaki sıcak su kaynağında kasyon dizilimleri (Na⁺+K⁺)>(Ca²⁺)>(Mg²⁺) şeklindedir. Anyon dizilimleri ise (SO₄²⁻)>(HCO₃⁻)>(Cl⁻) şeklindedir.

Çizelge 2. Çalışma alanındaki sıcak suyun majör iyon derişimleri**Table 2.** Major ion concentrations of thermal water in the study area

Lokasyon	Tarih	T (°C)	pH	EC (µs/cm)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
İGJ-1	21.09.2013	56.2	8.52	1113	218.97	14.95	5.01	0.06	51.00	310.00	40.57
İGJ-1	02.11.2013	56.3	8.53	1043	201.01	13.00	4.63	0.06	48.00	290.00	64.02
İGJ-4	30.11.2013	62.8	8.35	1356	256.74	22.14	7.22	0.09	47.00	390.00	90.36
İGJ-4	05.01.2014	59.7	8.29	1343	254.16	22.76	7.00	0.10	54.00	360.00	41.18
İGJ1-İGJ4	01.02.2014	58.4	8.48	1208	241.34	22.79	6.79	0.12	52.00	370.00	35.99
İGJ1-İGJ4	08.03.2014	58.5	8.48	1210	241.71	21.83	6.57	0.10	51.00	360.00	37.52
İGJ-2	05.04.2014	46.2	8.2	862.1	182.10	11.35	3.79	0.12	43.00	330.00	47.89
İGJ-4	09.04.2014	46.7	8.65	851	245.90	22.62	7.00	0.16	51.00	300.00	30.81
İGJ-2	26.04.2014	45.7	8.63	864.7	166.32	9.27	3.73	0.10	42.00	360.00	60.09
İGJ-2	24.05.2014	46.2	8.63	865.7	173.05	9.10	3.80	0.10	39.00	270.00	38.74
İGJ-2	24.05.2014	46.8	8.44	900.7	167.92	9.03	3.75	0.11	39.00	250.00	57.95
İGJ-2	28.06.2014	55.8	8.54	1063	167.33	9.19	3.87	0.24	44.00	290.00	45.75
İGJ-1	16.08.2014	56.2	8.52	1113	198,78	13,22	4,55	0,10	38,00	320,00	36,6

**Şekil 8.** Çalışma sahasındaki sıcak sulardan alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları**Figure 8.** Piper and Schoeller diagrams of Güre thermal water

Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri bölgede meydana gelen depremler ile ilişkilendirildiğinde çalışma

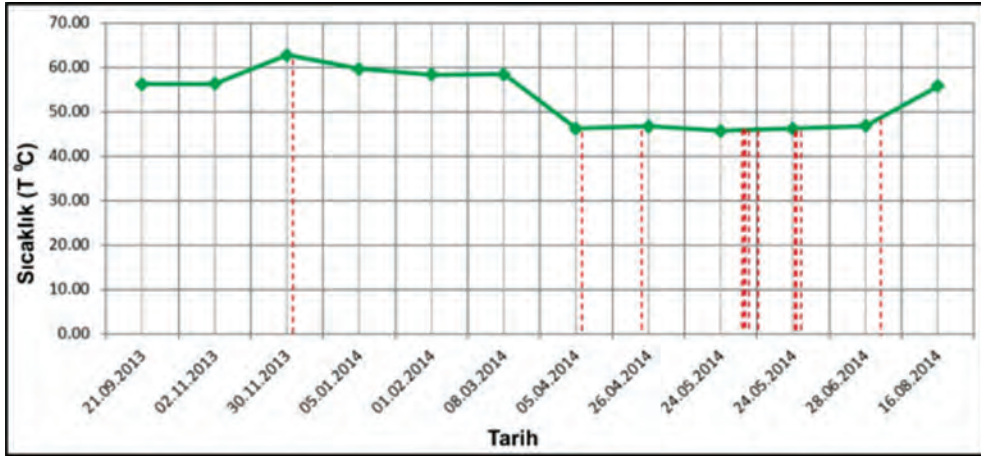
dönemi boyunca suların fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyen 12 deprem kaydı elde edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Güre jeotermal sistemini etkileyen depremler
Table 3. Earthquakes which effects Güre geothermal system

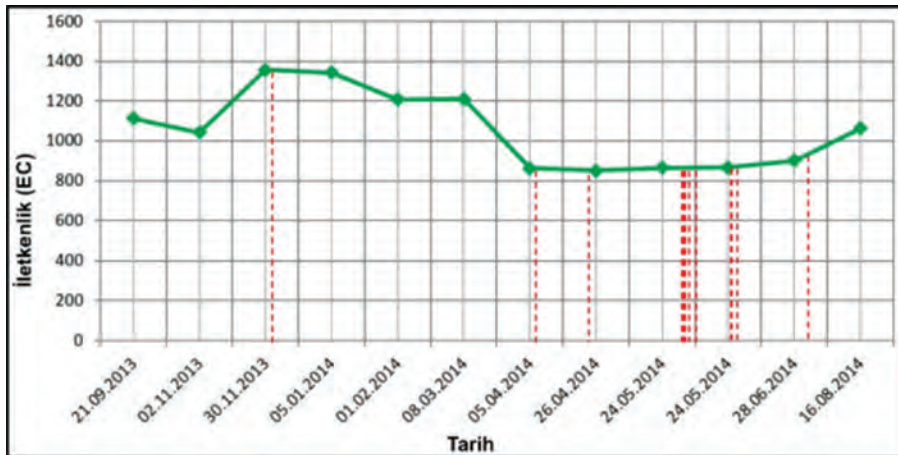
No	Tarih Saat	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (km)	Büyüklik (Ms)	Episantr Uzaklık	Kaynak
1	02.12.2013 06:11:25	39.5750	25.9735	5.3	3.4	Gülpınar Açıkları- Çanakkale (90 km)	Kandilli Rasathanesi
2	08.04.2014 23:08:36	39.5948	27.7518	12.2	3.7	Küpeler (Balıkesir) (75 km)	Kandilli Rasathanesi
3	24.04.2014 18:16:03	39.4508	25.9290	10.6	3.2	Gülpınar Açıkları- Çanakkale (90 km)	Kandilli Rasathanesi
4	24.05.2014 09:31:18	40.4270	26.2398	7.2	5.1	Saros Körfezi (Ege Denizi) (120 km)	Kandilli Rasathanesi
5	24.05.2014 09:33:48	40.4208	26.1673	7.6	4.0	Saros Körfezi (Ege Denizi) (120 km)	Kandilli Rasathanesi
6	24.05.2014 09:34:16	40.3377	26.2567	5.4	4.1	Saros Körfezi (Ege Denizi) (120 km)	Kandilli Rasathanesi
7	24.05.2014 10:35:01	40.4278	26.1382	4.9	4.2	Saros Körfezi (Ege Denizi) (120 km)	Kandilli Rasathanesi
8	24.05.2014 12:25:00	40.2108	25.3073	10.2	6.5	Gökçeada Açıkları (120 km)	Kandilli Rasathanesi
9	25.05.2014 11:38:38	40.4208	26.1515	13.0	4.9	Saros Körfezi (Ege Denizi) (120 km)	Kandilli Rasathanesi
10	25.05.2014 11:47:55	40.4123	26.0925	6.8	4.5	Saros Körfezi (Ege Denizi) (120 km)	Kandilli Rasathanesi
11	28.05.2014 03:59:51	40.4218	26.1343	13.2	4.5	Saros Körfezi (Ege Denizi) (120 km)	Kandilli Rasathanesi
12	23.07.2014 14:14:33	39.4588	26.3410	6.0	3.0	Edremit Körfezi (30 km)	Kandilli Rasathanesi

Derin jeotermal sularda sülfat (SO_4^{-2}) miktarı azdır. Yüzeğe yakın yerlerde hidrojen sülfürün yükseltgenmesi ile artış gösterir ($\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 = 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{-2}$). Klorür (Cl^-), jeotermal sistemlerin aranması ve yorumlanmasında çok kullanılan bir iyondur. Bir kez çözüldükten sonra başka minerallerin bünyesine kolay girmemesi nedeniyle doğrudan jeotermal suyu karakterize eder (Nicholson, 1993). Yüksek derişim doğrudan, derinden ve yüksek debili bir beslenmeyi gösterir. Düşük klorür derişimi yüzeğe sularının giriş doğrultularını belirtir (Eroğlu ve Aksoy, 2003).

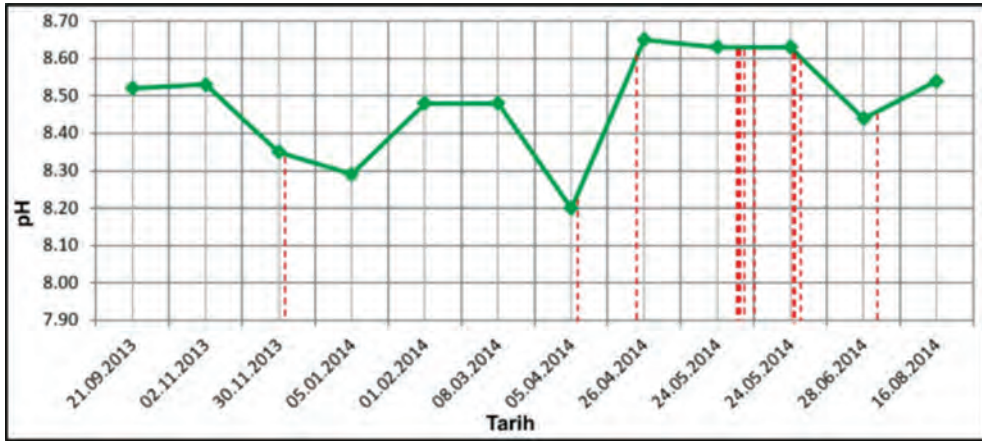
Güre jeotermal alanında 21.09.2013-16.08.2014 tarihleri arasında yapılan 12 dönem (yaklaşık 1 ay ara ile) boyunca yapılan sıcak su hidrojeokimyası çalışmaları sırasında eş zamanlı olarak bölgede meydana gelen depremlerin öncesi ve sonrasında; termal suda özellikle sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinde değişimlerin olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte kimyasal analizler sonucunda özellikle başta Cl^- , Na^+ ve SO_4^{-2} olmak üzere birçok elementel düzeyde artış ya da azalmanın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18).



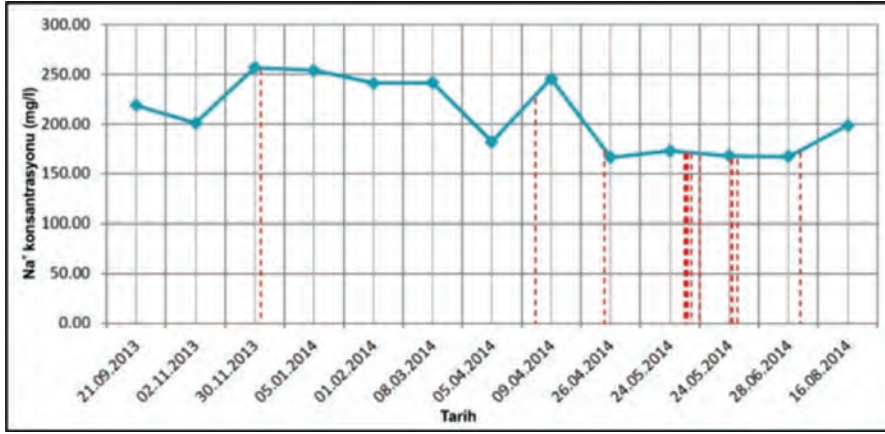
Şekil 9. Sıcaklık ($T^{\circ}\text{C}$) değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 9. Temperature ($T^{\circ}\text{C}$) value changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)



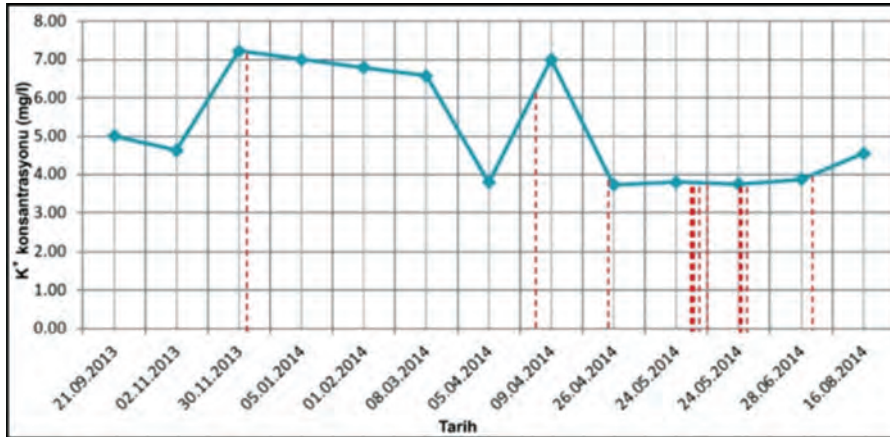
Şekil 10. İletkenlik (EC) değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 10. Conductivity (EC) value changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)



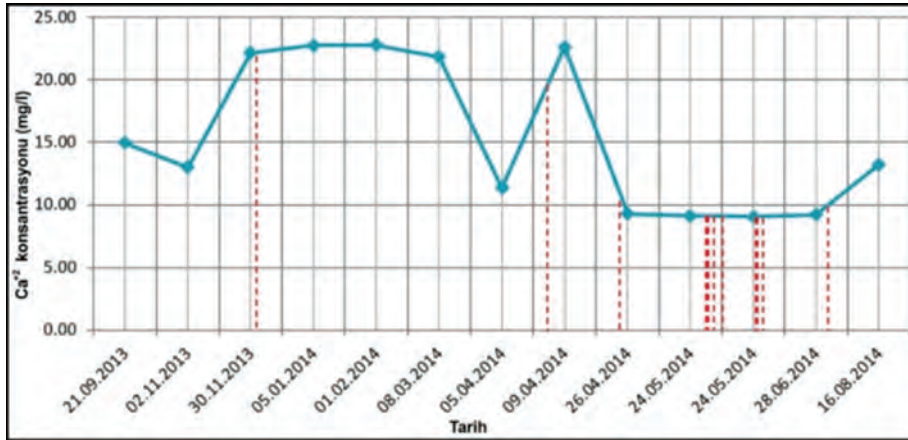
Şekil 11. pH değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 11. pH value changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)



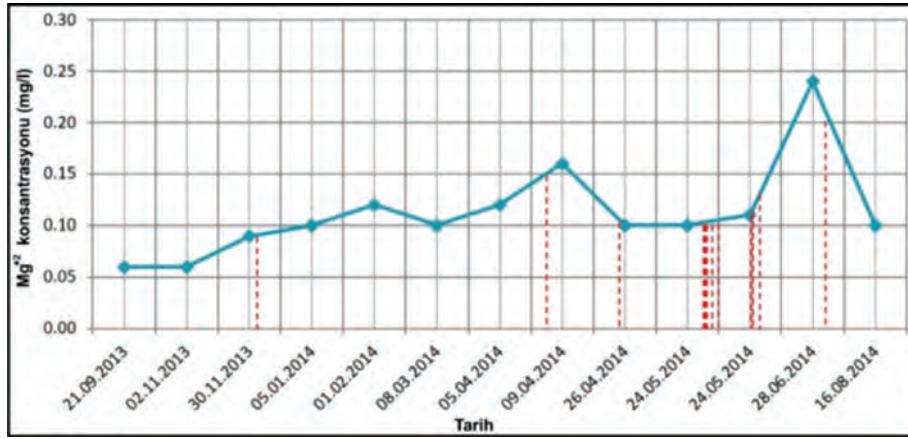
Şekil 12. Na⁺ iyon değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 12. Na⁺ ion concentration changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)



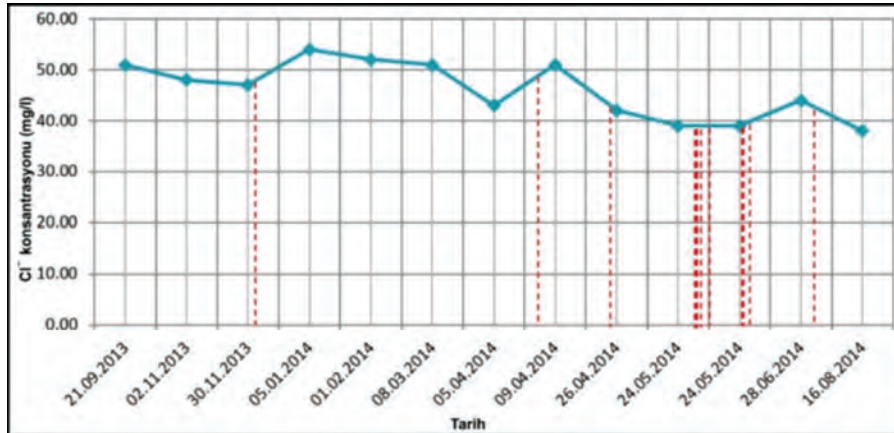
Şekil 13. K⁺ iyon değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 13. K⁺ ion concentration changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)



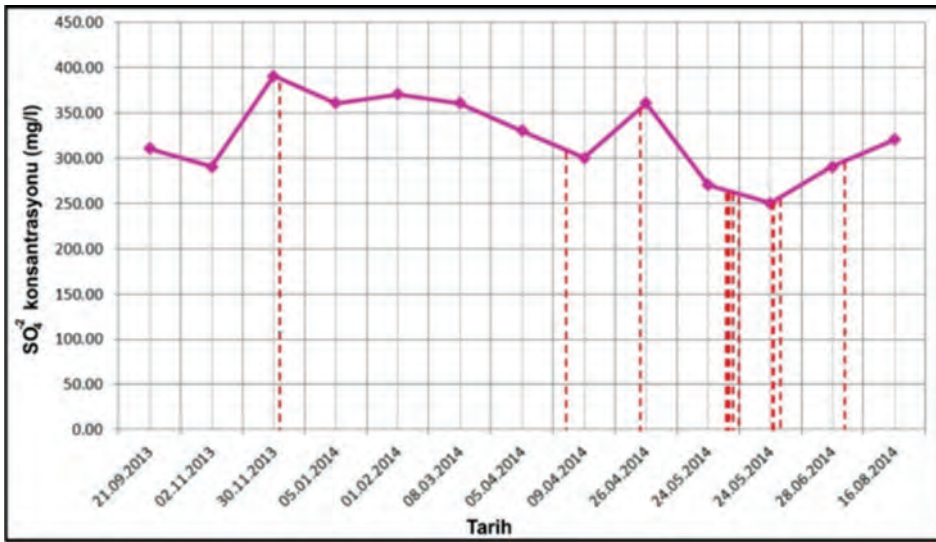
Şekil 14. Ca²⁺ iyon değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 14. Ca²⁺ ion concentration changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)



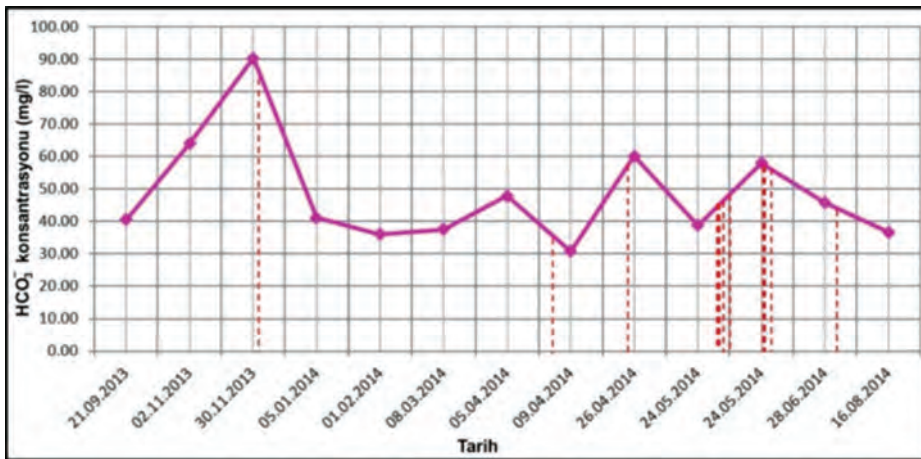
Şekil 15. Mg²⁺ iyon değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 15. Mg²⁺ ion concentration changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)



Şekil 16. Cl⁻ iyon değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 16. Cl⁻ ion concentration changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)



Şekil 17. SO₄²⁻ iyon değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 17. SO₄²⁻ ion concentration changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)



Şekil 18. HCO₃⁻ iyon değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler (kırmızı çizgiler depremleri göstermektedir)
Figure 18. HCO₃⁻ ion concentration changes connected with seismicity (red lines show earthquakes)

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Çalışma alanında daha önce yapılmış jeoloji ve aktif fay haritaları da kullanılarak bölgenin jeoloji haritası yapılmıştır. Çalışma alanında dokuz farklı kaya birimi ayrılanmıştır. Temelde Paleozoyik yaşlı Kazdağ Grubu'na ait metamorfik kayalar bulunmaktadır. Bunların üzerinde uyumsuzlukla Triyas yaşlı Karakaya Formasyonu yer almaktadır. Kretase yaşlı Çetmi melanjı,

Triyas yaşlı Karakaya Formasyonu üzerine tektonik dokanakla gelmektedir. Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Hallaçlar volkaniti ve Oligo-Miyosen granodiyoritleri alttaki tüm yaşlı birimleri kesmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon çalışma alanındaki tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Ayrıca çalışma alanında başlıca KD-GB ve K-G yönlü sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı faylar ve DKD-BGB doğrultulu eğim atımlı normal fayların geliştiği gözlemlenmiştir.

Çalışma alanındaki jeotermal kaynak çıkışlarını sağlayan önemli tektonik hatların, basamak şeklinde sıralanan eğim atımlı normal faylar ve bu faylarla oluşmuş çatlak sistemleridir. Bölgede bulunan kaya birimleri derinlere süzülen sularının depolanabileceği gözenekli ve geçirimli ortam özelliğine sahiptirler. Kazdağ grubuna ait mermerler porozite ve permeabiliteye sahip hazne kaya özelliğindedir. Derinlerde ısınan sular yine bu faylar ve çatlaklardan yeryüzüne ulaşmaktadır.

Çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde meydana gelen 1912 Saros Körfezi-Mürefte (M:7.3, M:6.3), 1935 Erdek Körfezi (M:6.4), 1935 Çan-Biga (M:6.3), 1944 Edremit Körfezi-Ayvacık (M:6.8), 1953 Yenice-Gönen (M:7,2), 1964 Gönen (M:5,8), 1971 Edremit-Bakırçay (M:5,5), 1983 Biga (M:5,8), 2006 Kuşgölü-Manyas (M:5,2) ve 2006 Bandırma (M:5.0) depremleri ve 2013 Kuzey Ege depremi (M:5.7) Biga Yarımadası, 24.05.2014 Gökçeada Açıkları-Ege Denizi (M:6.5) depremleri bölgede belirgin bir sismik aktivitenin olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında Balıkesir ili, Edremit ilçesi, Güre beldesinde yer alan jeotermal alanda belirlenen sıcak su kaynağında Eylül 2013-Ağustos 2014 tarihleri arasında 12 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme yapılmıştır. Çalışma alanında meydana gelen depremler ile termal sulardaki fiziksel ve/veya kimyasal değişimler korele edilmiştir. Buna göre alandaki depremlerle birlikte sıcak sularda fiziksel ve kimyasal değişimler meydana geldiği görülmüştür.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde Eylül 2013 tarihinden Ağustos 2014 tarihine kadar $M \geq 3$ büyüklüğünde yaklaşık 12 adet deprem meydana gelmiştir. Güre jeotermal alanında 12 dönem (yaklaşık 1 ay ara ile) boyunca yapılan su fiziko-kimyası ölçüm ve deneysel çalışmalar sırasında eş zamanlı olarak bölgede olan depremler (24 Mayıs 2014 depremi ve artçılarıyla birlikte 12 adet deprem) öncesi ve sonrasında; bu termal sularda özellikle sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik

değerlerinde bir değişim olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, bu suyun kimyasal analizleri sonucunda özellikle başta klorür (Cl^-), sodyum (Na^+) ve sülfat (SO_4^{2-}) olmak üzere birçok elementel düzeyde artış ya da azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Bu artış ve azalmanın (değişimin), bölgedeki aktif tektonik rejim ile doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, suyun fiziko-kimyasal değişimlerini iyi anlayabilmek için, depremlerin dışındaki diğer faktörleri (kuyu değişimi, mevsimsel etkiler, hazne kaya özellikleri, okuma-uygulama-ölçme hataları vb.) dikkatli bir şekilde ayırtlamak ve bundan sonra bu değişimleri yorumlamak gerekmektedir. Bu çalışma ile Güre jeotermal sisteminin hidrojeokimyasal bileşenlerinin sürekli ve uzun izlenmesi (monitoring) sayesinde bir depremin önceden tahmin edilebilmesi ile ilgili “tekrarlanabilir” önemli bilgiler elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (ÇOMÜ-BAP) FYL-2014-188 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

EXTENDED SUMMARY

This study investigates the geology and hydrogeochemistry of Güre geothermal field and surroundings located in NW Anatolia in Balıkesir province, Edremit county, Güre town and deals with the correlation of these geothermal resources with active tectonism to research earthquake predictability.

The basic aim of this study is to measure in place, sample and analyze hot water resources from Güre geothermal field to determine parameters and their threshold values that may predict a possible earthquake in the region and close surroundings. Additionally, old and new

earthquake data for Güre and close surroundings were examined.

The earthquakes occurring in the instrumental period in the study area and surroundings of 1912 Saros Bay-Mürefte (M:7.3, M:6.3), 1935 Erdek Bay (M:6.4), 1935 Çan-Biga (M:6.3), 1944 Edremit Bay-Ayvacık (M:6.8), 1953 Yenice-Gönen (M:7.2), 1964 Gönen (M:5.8), 1971 Edremit-Bakırçay (M:5.5), 1983 Biga (M:5.8), 2006 Kuşgözü-Manyas (M:5.2), 2006 Bandırma (M:5.0), 2013 Northern Aegean earthquake (M:5.7), Biga Peninsula, and 24.05.2014 offshore Gökçeada –Aegean Sea (M:6.5) indicate there is clear seismic activity in the region.

The basement of study area is rocks of the Paleozoic Kazdağ Group. The Triassic-age Karakaya Formation unconformably lies above the basement. The Cretaceous Çetmi melange tectonically overlies this basement. The Upper Oligocene-Lower Miocene Hallaçlar volcanics and Oligo-Miocene granodiorites were emplaced by cutting all older units. Quaternary alluvium unconformably overlies all units in the study area. Güre geothermal field is controlled by a ENE-WSW oriented, south-dipping normal fault.

In the Güre geothermal heat center, water resources from four hot water wells called İGJ-1, İGJ-2, İGJ-3 and İGJ-4 had measurements and water sampling performed in 12 sampling periods between September 2013 and August 2014. Earthquakes occurring in the study area were correlated with physical and/or chemical variations in thermal waters.

In the study area and surroundings, 12 earthquakes occurred with magnitude $M \geq 3$ between September 2013 and August 2014. During the 12 monitoring periods (at nearly 1 month intervals) physico-chemical measurements and experimental studies of water from Güre geothermal field were compared simultaneous to earthquakes in the region (12 earthquakes of 24 May 2014 earthquake and aftershocks). Before

and after earthquakes changes were observed in these thermal waters, especially temperature, pH and electrical conductivity values. Additionally chemical analysis of the water identified increases or reductions in many elemental levels, especially Cl^- , Na^+ and SO_4^{2-} . It was concluded that these variations were directly related to the active tectonic regime in the region. To better understand the physico-chemical changes in water, it is necessary to carefully distinguish other factors apart from earthquakes (well variations, seasonal effects, reservoir rock properties, reading-application-measurement errors, etc.) and then interpret these variations.

In Güre geothermal field and close surroundings, it was concluded that the observation of variations (decrease-increase) in the physio-chemistry of water before and after earthquakes occurring during the study period suggests that continuous monitoring of geothermal fields may be instructive for prediction of earthquakes.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin, Z., 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, MTA Genel Müdürlüğü Envanter Serisi-201, 849 s.
- Alpar, B. and Yaltrak, C., 2002. Characteristic features of the North Anatolian Fault in the eastern Marmara region and its tectonic evolution, Marine Geology, Vol. 190, No. 1-2, s. 329-350, ISSN: 0025-3227, Elsevier B.V.
- Ateş, Ö. ve Tutkun, S.Z., 2014. Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri, Türkiye jeoloji Bülteni, Cilt 57, Sayı 32, 25-40.
- Ateş, 2014. Kütahya ve Simav Fayları Arasında Kalalan Jeotermal Alanların Hidrojeokimyası ve Aktif Tektonik İle İlişkisi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 81 s.
- Bingöl E., 1968. Contribution a l'etude geologique de la Partie Centrale et sud-est du Massif de Kazdağ (Turquie). PhD Dissertation (Doktora Tezi). Nancy Univ. Fransa.

- Bingöl, E., 1975. 1:2 500 000 ölçekli Türkiye metamorfizma haritası ve bazı metamorfik kuşakların jeotektonik evrimi üzerinde tartışmalar. M.T.A. Derg., no. 83, Ankara.
- Bingöl E., Akyürek B., Korkmazer B., 1973. Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, Ankara, 70-76.
- Duru, M.,İlgar, A., Dönmez M., Atabey, E., Pehlivan, Ş., Akçay, A.E., Şentürk, Y., Sezen Demirci, E., İlgar, Y., Demirci, Ö., Bilgin, R., Eyüpoğlu, M., Kar, H., Özata, A., Sakitaş, A., Okay, A., Genç, Ş.C., Altunkaynak, Ş., 2007. Türkiye Jeoloji Haritaları İ17 Paftası, 1:100000, M.T.A, Ankara.
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, H.-J., Yıldırım, T., 1995. Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer volkanizmasının özellikleri. MTA Dergisi 117, 55-86 (in Turkish).
- Eroğlu, A. ve Aksoy, N., 2003. Jeotermal Suların Kimyasal Analizi, VI. Ulusal Tesisat Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri Kitapçığı, 149-183.
- Nicholson, K.,1993, Geothermal fluids: chemistry and exploration techniques, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Okay, A.İ., 1987. The oxygen fugacity stability of deerite: an alternative view. Journal of Metamorphic Geology, 5, 553-555.
- Okay A.İ., Siyako M., Bürkan K.A., 1990. Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Tektonik Evrimi. TPJD Bült., 2/1: 83-121.
- Şimşek, Ş., 2003, Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes Graben, Geothermics, 23, 669-478
- Şimşek, Ş. ve Yıldırım, N., 2000. Termal Kaynaklar: Deprem habercisi, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 deprem bölgelerindeki termal kaynaklarda gözlenen değişimler ve önemi, Cumhuriyet, Bilim Teknik, 01 Temmuz 2000.
- Yüzer E. ve Tunay G., 2012. Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 28: 19-59.
- <http://udim.koeri.boun.edu.tr/> (Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Ulusal Deprem İzleme Merkezi)



TÜRKİYE JEOLOJİ BÜLTENİ

YAZIM KURALLARI

Yazıların hazırlanması

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

Yazılar, aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır.

- (a) **Başlık** (Türkçe ve İngilizce)
- (b) **Yazar adları** (koyu ve baş harfleri büyük harfle) ve **adresleri** (italik ve küçük harfle) ile başvurulacak **yazarın E-posta adresi**
- (c) **Öz** (Türkçe ve İngilizce)
- (d) **Anahtar Kelimeler** (Türkçe ve İngilizce)
- (e) **Giriş** (amaç, kapsam ve yöntem)
- (f) **Ana metin** (kullanılan yöntemler, çalışılan malzemeler, tanımlamalar, analizler vd.)
- (g) **"Tartışma ve Sonuçlar"** veya **"Tartışma ve Öneriler"**
- (h) **"Extended summary"/"genişletilmiş özet"**
- (i) **Katkı Belirtme** (gerekliyorsa)
- (j) **Kaynaklar**
- (k) **Çizelgeler**
- (l) **Şekiller Dizini**
- (m) **Şekiller**
- (n) **Levhalar** (var ise)

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

Başlıklar şu şekilde olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

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

Kapak Sayfası

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır.

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

Başlık ve Yazarlar

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

Yazarlara ilişkin bilgi ise aşağıdaki örneğe uygun olarak verilmelidir:

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

ÖZ

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

Anahtar Kelimeler

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

EXTENDED SUMMARY/GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

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

KATKI BELİRTME

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

DEĞİNİLEN BELGELER

(aşağıdaki örnekler ile kesinlikle uyumlu olmalıdır)

(a) Süreli yayınlar :

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

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

(b) Bildiriler:

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

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

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

(c) Kitaplar:

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

(d) Raporlar ve Tezler:

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

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

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

(e) Kişisel Görüşme:

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

(f) İnternette İndirilen Bilgiler:

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

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır.

Eşitlikler ve Formüller

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

Burada; makaslama dayanımı, c kohezyon, normal gerilme ve içsel sürtünme açısıdır". Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin; I_d, x_2). Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (örneğin; $c_{mass} = s_{0.5}$). Çarpım işlemi göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda "*" işareti tercih edilmelidir (örneğin; $y = 5 \cdot 10^{-3}$). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} ve CO_3^{--} yerine Ca^{2+} ve CO_3^{2-} tercih edilmelidir. Metinde eşitlikler "eşitlik (1)" şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekliyse, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

Çizelgeler

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

Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak "Şekil" başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekiller orijinal çıktılar olup, ayrı sayfalara bastırılarak ve katlanmadan gönderilmelidir. Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalı, ayrıca şekiller küçültülüp büyütülebilecek halde sunulmalıdır. Şekil açıklamaları; şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya bastırılarak "Şekiller Dizini" başlığıyla verilmeli, ayrıca "Şekil 1." olarak başlamalıdır. Çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe, hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Ayrı sayfalara bastırılmış olan şekiller, çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15.8 cm (Genişlik) x 22.5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin Dergi'nin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir. Katlanmış şekiller ile renkli şekiller Dergi'ye kabul edilmez. Özellikle haritalar, araziyle ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çubuk ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun olduğu takdirde, ulusal grid veya enlem/boylam değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları, şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yerelmalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda (örneğin; Şekil 5a ve 5b) a, b, c vb. gibi tek bir şekle ait çizimler veya fotoğraflar, ayrı sayfalarda basılması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. Şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen grafiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Gölgeleme belirgin, fotoğraflar siyah-beyaz ve iyi bir kontrasta sahip olmalıdır. Tüm şekiller, Şekil 1 veya Şekil 1 ve 2 (birden fazla şekle değiniliyorsa) gibi ve metinde anıldıkları sırayla numaralandırılmalıdır. Bir dizi fosil fotoğraflarını içeren şekiller Levha olarak değerlendirilmeli ve parlak kağıda basılmış orijinal halde verilmelidir. Levha sayısı mümkün olduğunca az tutulmalıdır. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

MAKALELERİN EDİTÖRLÜĞE GÖNDERİLMESİ

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

TÜRKİYE JEOLJİ BÜLTENİ EDİTÖRÜ

Prof. Dr. Orhan TATAR

Tel : 0346-219 1010 / 1548

e-posta : orhantatar@gmail.com

YAYIMA KABUL EDİLEN MAKALELERİN SUNUMU

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

PROVA BASKILAR

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

AYRI BASKILAR

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

TELİF HAKLARI

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



GEOLOGICAL BULLETIN OF TURKEY

INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS

Preparation of Manuscripts

The language of the GEOLOGICAL BULLETIN OF TURKEY is both Turkish and English. For manuscripts submitted in English "Genişletilmiş Özet", for manuscripts submitted in Turkish "Extended Summary" should be given. If the author(s) are residents of a non-Turkish speaking country, titles, abstracts, and captions of figures and tables are translated into Turkish by the Editors. It is strongly recommended that authors whose native language is not English, should ask a person whose native language is English to check the grammar and style of manuscript before submission. Papers should be original and comprise previously unpublished research, interpretations, or synthesis of two, or technical notes. Submission implies that the manuscript is not currently under consideration for publication elsewhere.

Manuscripts should generally be structured as follows:

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

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

Examples for headings:

ABSTRACT

INTRODUCTION

PRIMARY HEADING

Primary Sub-Heading

Secondary sub-heading

Tertiary sub-heading

CONCLUSIONS
EXTENDED SUMMARY
ANCKNOWLEDGEMENTS
REFERENCES

Cover Page

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

- a. Title of the paper
- b. Name(s) of author(s) (full forenames should be given)
- c. Full postal and E-mail addresses of all authors (the corresponding author should be indicated). 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. Hüsnü Hüsnüoğlu	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 Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey.

(f) Information Downloaded from the Internet

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

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

Mathematical Expressions

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

Where 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. Id , x^2). Instead of square-root symbol, an indice of 0.5 should be used (e.g. $y = 5x^{0.5}$). For the of multiplication sign do not use any symbol, however if necessary, the symbol "*" can be preferred (e.g. $y=5*10^{-3}$). Please use "/" for division instead of a horizontal line between numerator and denominator. In the expression of chemical reactions, ions should be given as 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 DergiPark Academics (dergipark.gov.tr/tjb)

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 JEOLOJİ BÜLTENİ

Geological Bulletin of Turkey

Nisan 2017 Cilt 60 Sayı 2
April 2017 Volume 60 Issue 2

İÇİNDEKİLER CONTENTS

Akın Alak, Ökmen Sümer

Marmara ve Karadeniz Kıyılarındaki Güncel Sedimanlar İçinde Antroposen'in Varlığına Ait Yeni Bulgular

New Findings of Existence Anthropocene in Recent Sediments at Marmara and Black Sea Coast..... 145

Çağlar Özkaymak, Hasan Sözbilir, İbrahim Tiryakioğlu, Tamer Baybura

Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzeysel Deformasyonlarının Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi

Geologic, Geomorphologic and Geodetic Analyses of Surface Deformations Observed in Bolvadin (Afyon-Akşehir Graben, Afyon)..... 169

Hülya Erkoyun

Eskişehir Neojen Alpu Havzasındaki Kömürle Ara Katkılı Killi Kayaçların Mineralojisi ve Jeokimyası

Mineralogy and Geochemistry of Clayey Rocks Intercalated with Coal Seams in the Neogene Alpu Basin, Eskişehir, Central Turkey..... 189

Yunus Levent Ekinci

A Comparative Study on Computing Horizontal Derivatives of Gravity Data for Geological Contact Mapping

Jeolojik Dokanak Haritalama İçin Gravite Verilerinin Yatay Türevlerinin Hesaplanması Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma..... 209

İnan Ulusoy, Erdal Şen, Alaettin Tuncer, Harun Sönmez, Hasan Bayhan

3D Multi-view Stereo Modelling of an Open Mine Pit Using a Lightweight UAV

Hafif bir İHA ile bir Açık Maden Ocağının 3B Çok-bakılı Stereo Modellemesi 223

Belgin Kaçar, Süha Özden, Özkan Ateş

Güre (Balıkesir) Jeotermal Alanının Jeolojisi, Hidrojeokimyası ve Aktif Tektonikle İlişkisi

Geology and Hydrogeochemistry of Güre (Balıkesir) Geothermal Field and its Relationship with Active Tectonic..... 243

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

Yazışma 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