
YERBİLİMLERİ

Bulletin for Earth Sciences

Cilt / Volume 35 Sayı / No 3 Aralık / December 2014

Baş Editör (Editor-in-Chief)

ELİF VAROL MURATÇAY

Editör (Editor)

ERMAN ÖZSAYIN

Yardımcı Editör (Assistant Editor)

BURCU KAHRAMAN

Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board (2013-2015)

Atilla Aydın (Stanford, USA)
Hasan Bayhan (Ankara, Turkey)
Osman Candan (İzmir, Turkey)
Attila Çiner (İstanbul, Turkey)
Klaus Gessner (Crawley, Australia)
Nilgün Güleç (Ankara, Turkey)
Cahit Helvacı (İzmir, Turkey)
Doğan Kalafat (İstanbul, Turkey)

Biltan Kürkçüoğlu (Ankara, Turkey)
Harun Sönmez (Ankara, Turkey)
Şevket Şen (Paris, France)
Şakir Şimşek (Ankara, Turkey)
Erhan Tercan (Ankara, Turkey)
Gültekin Topuz (İstanbul, Turkey)
Keith T. Weber (Idaho, USA)
M.Namık Yalçın (İstanbul, Turkey)

YERBİLİMLERİ Dergisi makale dizin ve özleri;

Bibliography of Economic Geology, Compendex, Elsevier BIOBASE, EMBASE, EMBiology, FLUIDEX, Geoarchive, GEOBASE, Geological Abstracts, Geoscience Documentation, GeoSEARCH, Geotitles, HydroROM, Hydrotitles, Marine - Oceanographic & Freshwater Resources, SCOPUS Water Resources Abstracts (Cambridge Scientific Abstracts), World Textiles, Zoological Record, ULAKBİM ve Directory of Open Access Journal veri tabanında yer almaktadır.

YERBİLİMLERİ is indexed or abstracted in

Bibliography of Economic Geology, Compendex, Elsevier BIOBASE, EMBASE, EMBiology, FLUIDEX, Geoarchive, GEOBASE, Geological Abstracts, Geoscience Documentation, GeoSEARCH, Geotitles, HydroROM, Hydrotitles, Marine - Oceanographic & Freshwater Resources, SCOPUS, Water Resources Abstracts (Cambridge Scientific Abstracts), World Textiles, Zoological Record, ULAKBİM and Directory of Open Access Journal databases.

ISSN 1301-2894

Kapak

Tasarım : Yağmur İNAL EMİROĞLU
Fotografı çeken: Erman ÖZSAYIN
Nallıhan (Ankara) TÜRKİYE

Cover

Design : Yağmur İNAL EMİROĞLU
Photographed by Erman ÖZSAYIN
Nallıhan (Ankara) TÜRKİYE

Yayın Türü (Publication type): Yaygın Süreli Yayın

Baskı (Printed by): Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri Basımevi, 06100, Sıhhiye-Ankara

Tel.: +90 312 310 97 90

Baskı Tarihi (Date of Print): 28.01.2015

YERBİLİMLERİ

Bulletin for Earth Sciences

Cilt / Volume 35 Sayı / No 3 Aralık / December 2014

İÇİNDEKİLER CONTENTS

2011-2012 Simav Depremleri (MI=5.7, MI=5.0, MI=5.4) ve Bölgenin Tektonik Yapısı ile İlişkisi
/ 2011-2012 Simav Earthquakes (MI=5.7, MI=5.0, MI=5.4) and Relationship with the Tectonic Structure of the Region
Recai Feyiz KARTAL,
Filiz Tuba KADİRİOĞLU 185

Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere (Kalkım, Yenice-ÇANAKKALE) Pb-Zn±Cu Distal Skarn Yataklarında Akışkanların Kökeni
/ Origin of the Fluids in the Handeresi, Bağırkaçdere, and Fırıncıkdere (Kalkım, Yenice-ÇANAKKALE) Pb-Zn±Cu Distal Skarn Deposits
Sinan AKISKA, Gökhan DEMİRELA 199

Alkali Bazalt ve Piroklastik Çökellerin Volkanolojik Özellikleri, Kula Volkanları, Batı Anadolu
/ Volcanological Characteristics of Alkaline Basalt and Pyroclastic Deposits, Kula Volcanoes, Western Anatolia
Erdal ŞEN, Erkan AYDAR, Hasan BAYHAN, Alain GOURGAUD 219

Kaya Kütlesi Deformasyon Modülünün Farklı Yöntemlerle Belirlenmesi
/ Determination of Rock Mass Deformation Modulus by Different Methods
Kadir KARAMAN, Ferdi CİHANGİR, Serkan DEMİREL, Ayhan KESİMAL 253

A Fuzzy AHP Approach to Select the Proper Roadheader in Tabas Coal Mine Project of Iran
/ İran Tabas Kömür Madeni Projesinde Uygun Tünel Açma Makinası Seçimi için Bulanık AHP Yaklaşımı
Arash EBRAHİMABADI 271

2011-2012 Simav Depremleri ($M_I=5.7$, $M_I=5.0$, $M_I=5.4$) ve Bölgenin Tektonik Yapısı ile İlişkisi

2011-2012 Simav Earthquakes ($M_I=5.7$, $M_I=5.0$, $M_I=5.4$) and Relationship with the Tectonic Structure of the Region

RECAİ FEYİZ KARTAL^{1*}, FİLİZ TUBA KADİRİOĞLU¹

¹Başbakanlık, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi, Kızılırmak Mah. Ufuk Üniv. Cad. No:12, Söğütözü, 06510, Çankaya-Ankara, Türkiye

Geliş (received) : 06 Mayıs (May) 2013
Kabul (accepted) : 11 Kasım (November) 2014

ÖZ

19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya ili Simav ilçesinde aletsel büyüklüğü $M_I=5.7$ olan bir deprem meydana gelmiştir. Söz konusu depremden yaklaşık 1 ay sonra aynı bölgede aletsel büyüklüğü $M_I=5.0$ olan ikinci bir deprem ve hemen hemen 1 yıl sonra 3 Mayıs 2012'de yine aynı bölgede aletsel büyüklüğü $M_I=5.4$ olan üçüncü bir deprem daha meydana gelmiştir. 19 Mayıs tarihinde meydana gelen depremden itibaren yaklaşık 1 yıl içerisinde 7000 civarında artçı deprem Ulusal Sismolojik Gözlem Ağı istasyonları tarafından kaydedilmiştir. Sismik aktivite bakımından oldukça yoğun olan bu bölgedeki ana tektonik yapı, KB-GD uzanımlı yaklaşık 220 km uzunluğundaki Simav Fay Zonu (SFZ) 'dur. Literatürde çoğu araştırmacı söz konusu fayı sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olarak tanımlarken, bazı araştırmacılar fayın normal fay karakterinde olduğunu öne sürmüşlerdir. Bu çalışma ile bölgede 19 Mayıs 2011 depremi ile başlayan sismik aktivite değerlendirilmiştir. Bu kapsamda aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremlerin dışmerkez dağılımları ile P dalgası ilk hareketine göre yapılan odak mekanizması çözümleri birlikte değerlendirildiğinde; depremlere kaynaklık eden yapının KKD eğimli normal fay karakterli Simav Fay Zonu olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Simav depremleri, tektonik yapı, artçı depremler, odak mekanizması.

ABSTRACT

An earthquake with magnitude $M_I=5.7$ occurred on May, 19, 2011 at Simav District of Kütahya Province. After nearly one month from the earthquake another earthquake with magnitude $M_I=5.0$ and after almost one year, a third earthquake with magnitude $M_I=5.4$ occurred on May, 3, 2012. After the earthquake that occurred on May, 19, around 7000 aftershocks have been recorded by National Seismological Observation Network in approximately one year. The main active tectonic element of the region is NW-SE trending 220 km long Simav Fault Zone having intense seismic activity. One group of researchers describes the fault zone as a strike-slip in nature but the other group have suggested that the fault zone has character of normal faulting. With this study, seismic activity was evaluated in the region which beginning with the May, 19, 2011 earthquake. Within this scope, epicenters coordinates of the earthquakes which is magnitude greater than 4.0 and focal mechanism solutions (according to P wave first motion) belongs to mentioned earthquakes was evaluated together. As a result; source fault which caused the earthquakes is a Simav Fault Zone that show a normal fault character with NNE dip direction.

Keywords: Simav earthquakes, tectonic structure, aftershocks, focal mechanism.

* R.F. Kartal
e-posta: recai.kartal@afad.gov.tr

GİRİŞ

Ege Graben Sistemi içerisinde yer alan Kütahya ili ve yakın çevresi, tarihsel ve aletsel dönemde yıkıcı depremlerin etkisi altında kalmıştır. Özellikle 1944 Şaphane ($M_s=6.0$) ve 1970 Gediz ($M_s=7.2$) depremleri bölgede can ve mal kaybına neden olmuş önemli depremlerdendir (Ambraseys ve Tchalenko, 1972). Sismik aktivite bakımından oldukça yoğun olan bölge bilim adamları tarafından da her zaman ilgi odağı olmuş ve bölgedeki mevcut tektonizma konusunda farklı görüşlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Seyitoğlu (1997) Simav Fayı'nın, ihmal edilebilir düzeyde doğrultu atım bileşeni olan normal fay karakterinde olduğunu ileri sürmüş ve fayın yüzeydeki izinin ortalama $45^\circ-50^\circ$ kuzeydoğuya eğimli olduğunu belirtmiştir. Bekler vd., (2011) Simav Fayı ile Kütahya Fayı arasında kalan (Emet Orta Batı Anadolu) bölgede oluşan depremlerin optimum kaynak parametrelerinin analizi sonucu bölgede KKD-GGB doğrultulu bir açılma rejiminin hakim olduğunu tespit etmişlerdir. Emre ve Duman (2011), 19 Mayıs 2011 Simav-Kütahya depremlerinin, Simav Fayının kuzeyinde bulunan KB-GD uzanımlı normal fay karakterindeki Naşa Fay Zonundan kaynaklandığı görüşünü ileri sürmüşlerdir. Duman vd., (2013) Simav Fay Zonu üzerinde yaptıkları Paleosismoloji çalışmalarında fayın Holosen aktivitesini ve doğrultu atım mekanizmasının açıkça görüldüğünü ileri sürmüşlerdir.

Bu çalışma ile 19 Mayıs 2011 depremi, arkasından meydana gelen artçı depremlerin lokasyonları ve meydana geldikleri derinlikler, bölgedeki mevcut fayların doğrultu ve eğimleri ile birlikte değerlendirilmiş, odak mekanizması çözümleri ile birlikte bölgedeki tektonizma ve fayların karakterleri yeniden yorumlanmıştır.

Çalışmada 01.01.1900-31.08.2012 tarihleri arasında, Simav ve çevresinde meydana gelen depremler kullanılmıştır. 01.01.1900-31.12.1980 tarih aralığı için Ayhan vd., (1981) tarafından hazırlanan Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu 1881-1980; 01.01.1981-31.12.2006 tarih aralığı için International Seismological Centre (ISC) kataloğu; 01.01.2007 ve sonrası için Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi kataloğu kullanılmıştır.

BÖLGENİN JEOLJİSİ VE TEKTONİĞİ

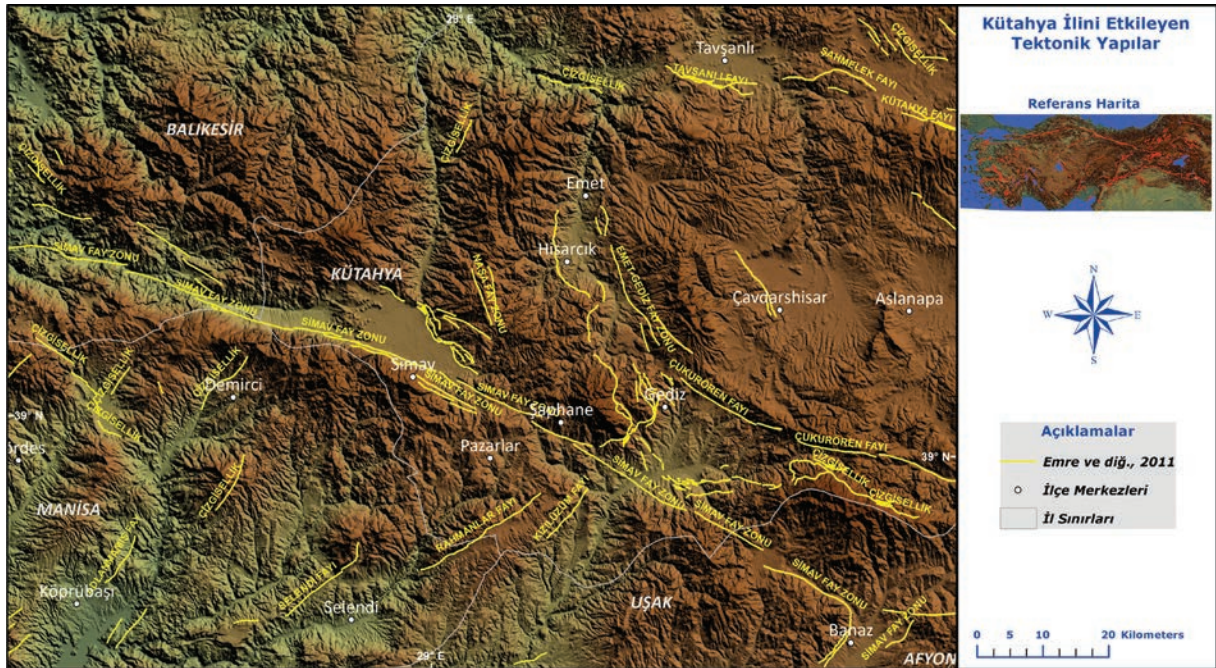
Çalışma alanının da içinde bulunduğu Türkiye'nin ana tektonik yapılarından biri olan Ege Graben Sistemi, kuzeyden güneye doğru birçok çöküntü alanlarından oluşmaktadır. Bu alanlar, Edremit Körfezi, Bakırçay-Simav, Gediz-Küçük Menderes, Büyük Menderes ve Gökova Körfezi olarak sayılabilir (Demirtaş ve Erkmen, 2000). Genellikle D-B uzanımlı normal fayların hüküm sürdüğü Ege Graben Sistemi içerisinde yer alan Kütahya ve yakın çevresinin jeoloji haritası incelendiğinde, bölgenin en yaşlı birimi Prekambriyen yaşlı metamorfikler olarak görülür. Bunların üzerinde Triyas yaşlı granitoidler, Orta Miyosen-Miyosen yaşlı piroklastik kayalar ve ayrılmamış volkanitler, karasal kırın-tıllar ve karbonatlar, en üstte ise özellikle Simav civarında Kuvaterner yaşlı birimler gözlenmektedir (Şekil 1) (Şenel vd., 2001). Emre ve Duman (2011)'a göre, KKD-GGB yönlü bir açılma sistemi içerisinde bulunan Kütahya ili kuzeydoğudan Tavşanlı, Şahmelek ve Kütahya Fayları, güneybatıdan ise Simav Fay Zonu ile sınırlanmıştır. İlin güneyinde Emet-Gediz Fay Zonu ve Çukurören Fayı yer almaktadır (Şekil 2). Simav havzası, fay sistemi içerisinde gelişmiş en büyük yapısal çöküntüdür ve Simav-Şaphane segmentleri arasında sağa sıçramalı büklümde gelişmiş açılmalı bir havzadır. Bu havza güneyden, sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olan Simav Fayı, kuzeyden ise normal fayların oluşturduğu Naşa Fay Zonu ile sınırlandırılmıştır. Naşa Fay Zonu genişliği 5 km'yi bulan KB-GD yönünde birbirine paralel uzanan bir seri normal faydan oluşur. Fay zonu toplam 20 km uzunlukta olup alt fayların uzunlukları 2 ile 8 km arasında değişir. Zondaki faylar $55^\circ-65^\circ$ güneybatıya eğimlidir (Emre ve Duman, 2011).

BÖLGENİN ALETSEL DÖNEM SİSMİK AKTİVİTESİ

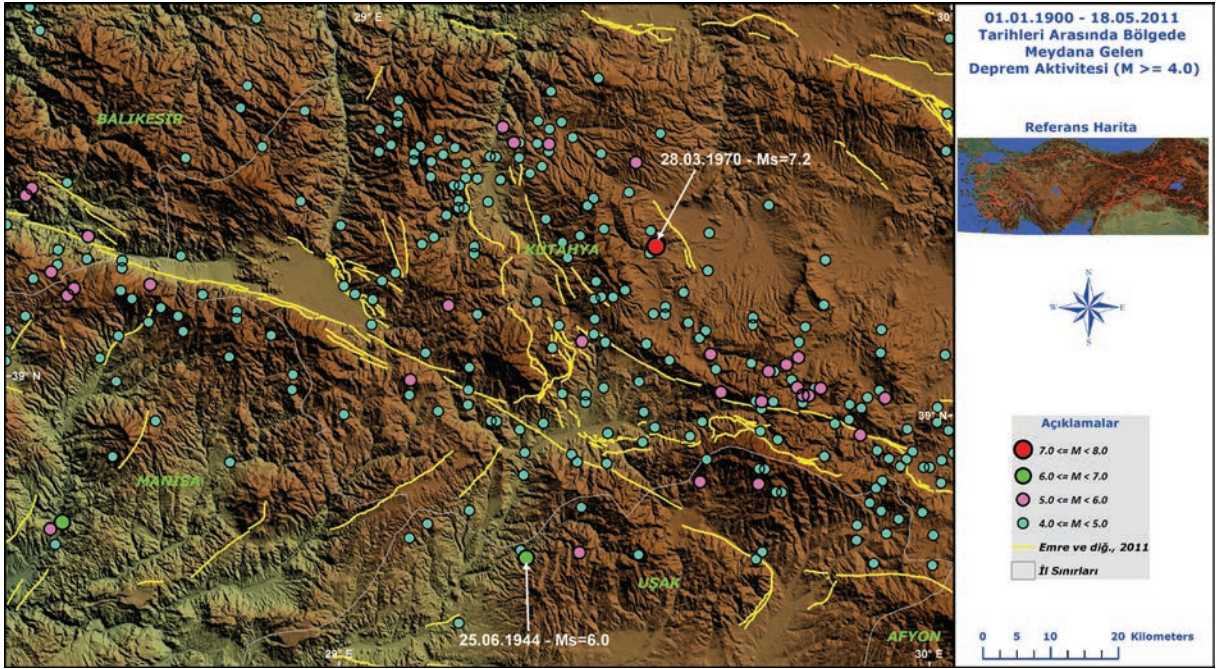
Aletsel dönemde bölgede meydana gelen en önemli depremler 1944 Şaphane ($M_s=6.0$) ve 1970 Gediz depremleridir ($M_s=7.2$) (Ayhan vd., 1981). Bu depremlerin yanı sıra 19 Mayıs 2011 depremi öncesinde bölgede aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük çok sayıda deprem gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 1. Simav ve çevresinin jeolojisi (MTA, 2001).
Figure 1. Geology of Simav and surrounding region.



Şekil 2. Kütahya ilini etkileyen tektonik yapılar.
Figure 2. Faults affecting the Kütahya province.



Şekil 3. 01.01.1900-18.05.2011 tarihleri arasında bölgede meydana gelen ve aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremlerin dağılımı (Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Kataloğu, 2007-2012, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Veritabani/DDA.aspx?param=1>).

Figure 3. Distribution of earthquakes that occurred in the region with magnitude 4.0 and greater between 01.01.1900 and 18.05.2011 (Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Kataloğu, 2007-2012, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Veritabani/DDA.aspx?param=1>).

Artçı Deprem Çalışmaları

19 Mayıs 2011 günü yerel saat ile 23:15'te Simav-Kütahya merkezli aletsel büyüklüğü $M_I=5.7$ olan bir deprem meydana gelmiştir. Depremden yaklaşık 1 ay sonra yine Simav-Kütahya merkezli aletsel büyüklüğü $M_I=5.0$ olan bir deprem daha meydana gelmiştir.

Bu ikinci depremin dışmerkez koordinatları, 19 Mayıs depreminin dışmerkez koordinatlarının güneybatısında yer almıştır. 19 Mayıs 2011 depreminden yaklaşık 1 yıl sonra 3 Mayıs 2012 tarihinde yine Simav-Kütahya merkezli aletsel büyüklüğü $M_I=5.4$ olan bir deprem daha meydana gelmiştir. 3 Mayıs depreminin dışmerkez koordinatları, 19 Mayıs depreminin güneydoğusunda yer almıştır (Şekil 4).

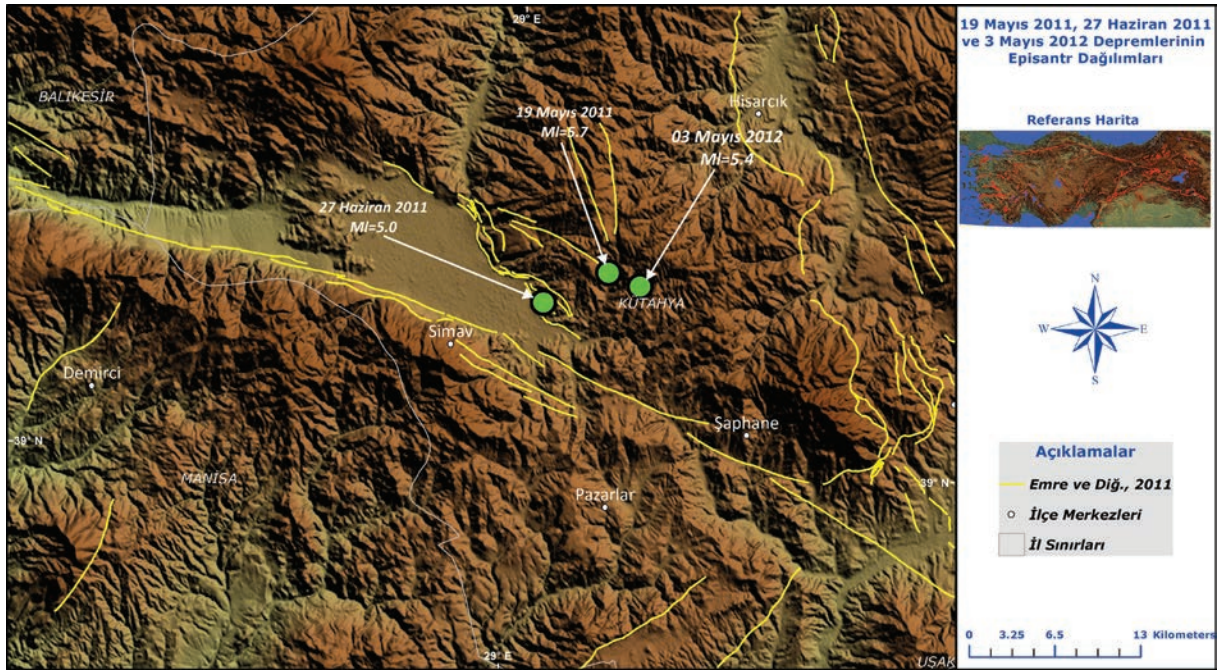
Sismik aktivite bakımından suskun sayılabilecek bir bölgede meydana gelen ana şoktan sonra, bölgedeki sismik etkinlik artıyorsa ve bu sismik etkinlik ana şokun dış merkez koordinatları etrafında yoğunlaşıyorsa, ana şoktan

sonra bölgede meydana gelen depremler, ana şokun artçı depremleri olarak değerlendirilebilir. Hatta ana şoktan 100-150 gün sonra aynı bölgede meydana gelen depremler ana şokun artçı depremleri olarak düşünülebilir (Tsapanos, 1995). Tajima ve Kanamori (1985), büyük depremlerden sonraki artçı depremlerin bir yıl kadar sürebileceğini belirtmişlerdir.

19 Mayıs 2011 tarihinde meydana gelen ve aletsel büyüklüğü $M_I=5.7$ olan depremden sonra (31.08.2012 tarihine kadar) bölgede 6897 artçı deprem meydana gelmiştir.

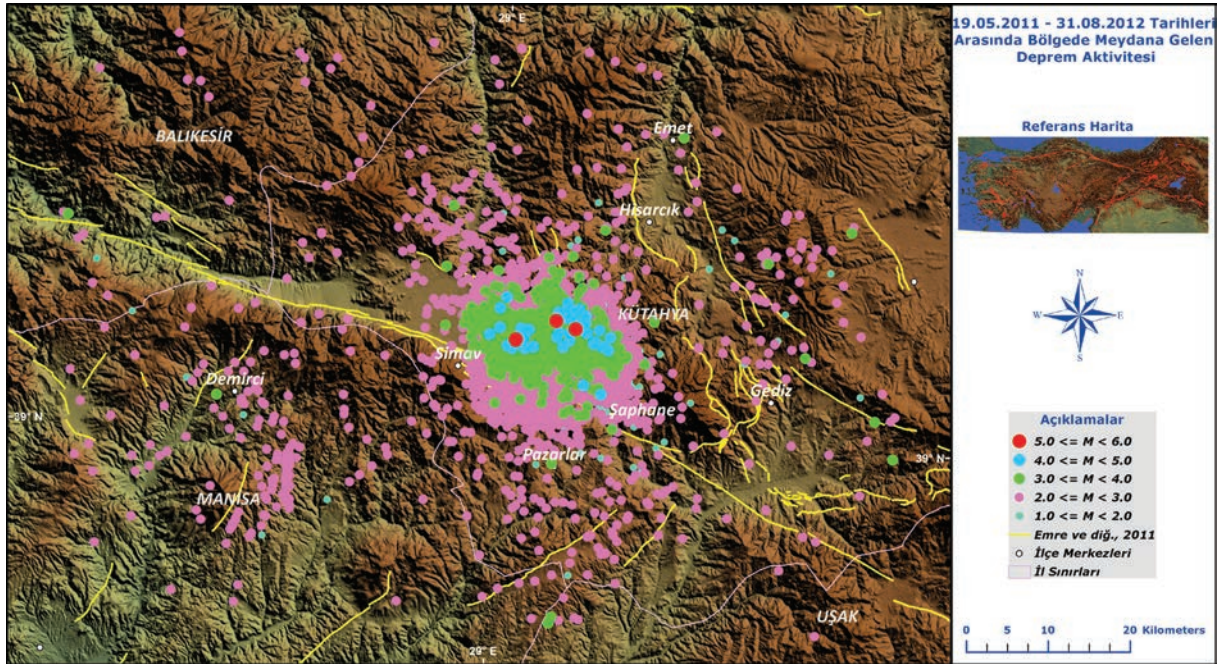
Depremlerin dışmerkez dağılımları belirli bir çizgisellik göstermeyip ana şok etrafında dairesel bir alanda toplanmıştır (Şekil 5).

Ana şokun meydana geldiği tarihten 31.08.2012 tarihine kadar olan zaman diliminde depremlerin aylık değişimleri incelendiğinde; ilk iki aylık sürede artçı deprem aktivitesinde hızlı bir artış gözlenirken (yaklaşık 4000 deprem), ikinci aydan



Şekil 4. 19 Mayıs 2011, 27 Haziran 2011 ve 03 Mayıs 2012 depremlerinin dış merkez koordinatları.

Figure 4. Epicentral coordinates of May 19, 2011 June 27, 2011 and May 3, 2012 earthquakes.



Şekil 5. 19.05.2011-31.08.2012 tarihleri arasında bölgede meydana gelen deprem aktivitesi.

Figure 5. Earthquake activity which occurred in the region between 19.05.2011-31.08.2012.

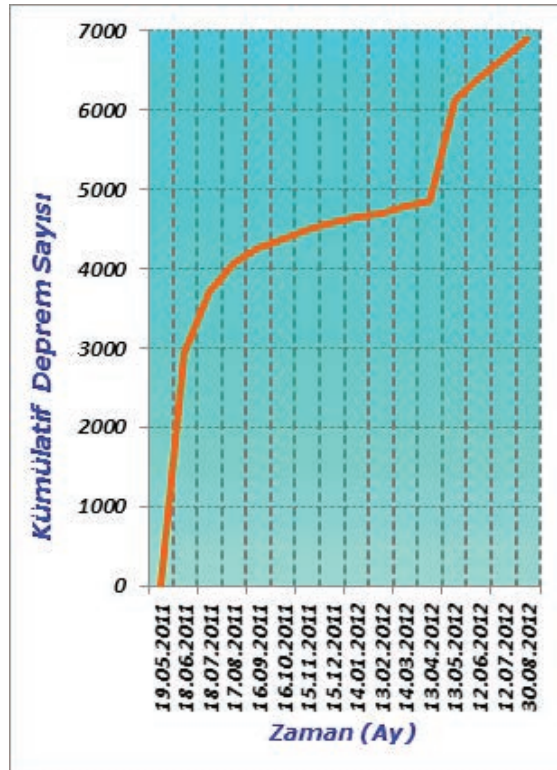
onüçüncü aya kadar, aktivitenin bir azalım sürecine girdiği görülmüştür. 3 Mayıs 2012 tarihinde meydana gelen $M=5.4$ büyüklüğündeki depremde sonra bölgedeki aktivite yeniden artış göstermiştir (Şekil 6). Artçı depremlerin aletsel büyüklükleri 0.8-5.4 aralığında değişirken, aletsel büyüklüğü 2.0-3.0 aralığında olan depremlerde yığılma gözlenmiştir (Şekil 7).

Depremlerin derinlik değişimini incelemek amacıyla ile ana tektonik yapının doğrultusuna yaklaşık dik olacak şekilde alınan derinlik kesitinde, derinliklerin 1.2-35.58 km arasında saçıldığı, 7-18 km aralığında yoğunlaştığı gözlenmiştir (Şekil 8a, b). GB-KD (AA') yönünde alınan derinlik kesiti incelendiğinde, artçı depremlerin derinlikle dağılımında kuzeydoğu yönünde bir eğimin varlığı göze çarpmaktadır.

Fay Düzlemi Çözümleri

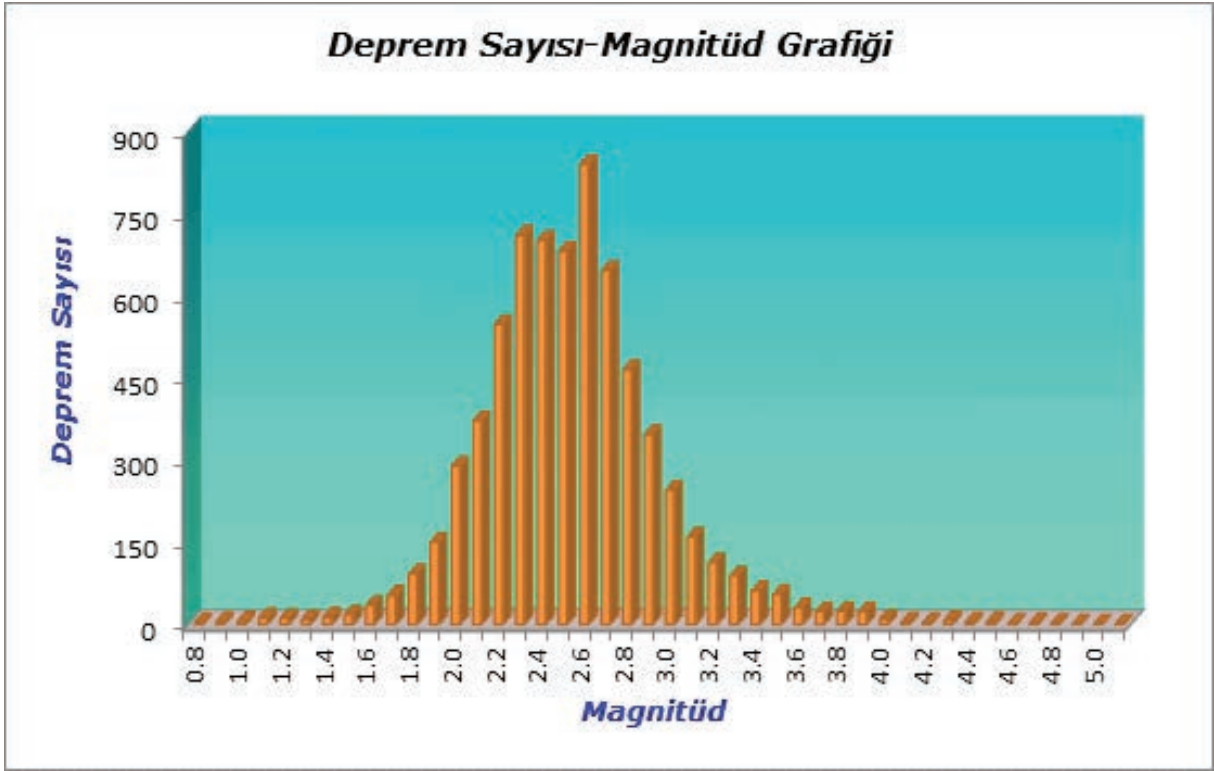
19 Mayıs 2011, 27 Haziran 2011 ve 3 Mayıs 2012 depremlerinin dışmerkez dağılımları Simav havzasının doğusunda yer alır. Söz konusu

depremlerin P dalgası ilk hareket yönüne göre yapılan fay düzlemi çözümleri çok küçük sağ yönlü doğrultu atım bileşeni olan normal faylanmayı işaret etmektedir (Şekil 9). 19 Mayıs 2011 depreminden sonra (31.08.2012 tarihine kadar) Simav Havzası ve çevresinde meydana gelen ve aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremlerin dışmerkez dağılımları, Naşa Fay Zonu'nun kuzeydoğusunda (9, 1, 15, 26, 18, 30, 35, 2, 28, 6, 36, 12, 32, 5, 33, 27, 31, 39, 29, 38, 37, 17, 7, 25, 24 numaralı depremler) ve güneybatısında (26, 8, 23, 4, 14, 21, 19, 22, 11, 34, 3, 10, 13, 20 numaralı depremler) kümelenmiştir (Şekil 10). Söz konusu kümeleleri oluşturan depremler; "kuzeydoğu kümesini oluşturan depremler" ve "güneybatı kümesini oluşturan depremler" olarak adlandırılabilir. Adı geçen kümeleri oluşturan 39 depremin P dalgası ilk hareketine göre yapılan fay düzlemi çözümleri de baskın olarak normal faylanmayı işaret etmektedir (Şekil 10). Bu durum bölgenin genel tektonik yapısı ile örtüşse bile Simav-Kütahya depremlerine kaynaklık eden fayın kimliği



Şekil 6. Artçı depremlerin kümülatif sayısının zamanla değişimi.

Figure 6. Change with time the cumulative number of aftershocks.



Şekil 7. Deprem sayısı-magnitüd grafiği.

Figure 7. Number of earthquakes-magnitude graph.

hakkında kesin ifadeler kullanmak için erken bir bulgudur. Çünkü Naşa Fayı'nın güneybatıya, Simav Fayı'nın kuzeydoğuya eğimli olduğu bilinmektedir. Depremlere kaynaklık eden fayın yapısal karakterini anlamak için, kümelerin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Kümeleri oluşturan depremlere ait parametrelerin (derinlik, doğrultu, eğim, kayma açısı) ayrı ayrı irdelenmesi amacı ile kümeler mercek altına alınmıştır.

Kuzeydoğu kümesi: Kümeyi oluşturan depremlere ait odak mekanizması çözümlerinden GGB'ye eğimli olanlar birinci düzlem (Doğrultu1, Eğim1, Kayma Açısı1), KKD'ye eğimli olanlar ikinci düzlem (Doğrultu2, Eğim2, Kayma Açısı2) olarak seçilmiştir (Tablo 1). Kuzeydoğu kümesini oluşturan 24 depreme ait birinci düzlem eğim açılarının ortalaması 39.8° , ikinci düzlem eğim açılarının ortalaması ise 55.5° olarak hesaplanmıştır.

Güneybatı kümesi: Kümeyi oluşturan depremlere ait odak mekanizması çözümlerinden GGB'ye eğimli olanlar birinci düzlem (Doğrultu1, Eğim1, Kayma Açısı1), KKD'ye eğimli olanlar ikinci düzlem (Doğrultu2, Eğim2, Kayma Açısı2) olarak

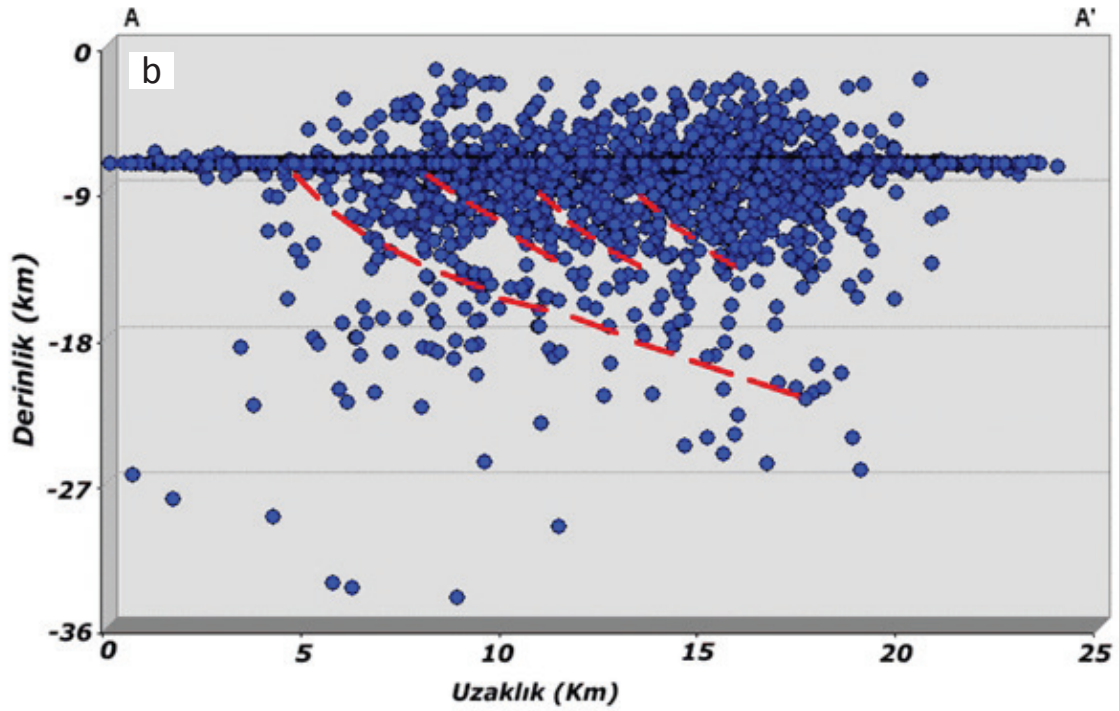
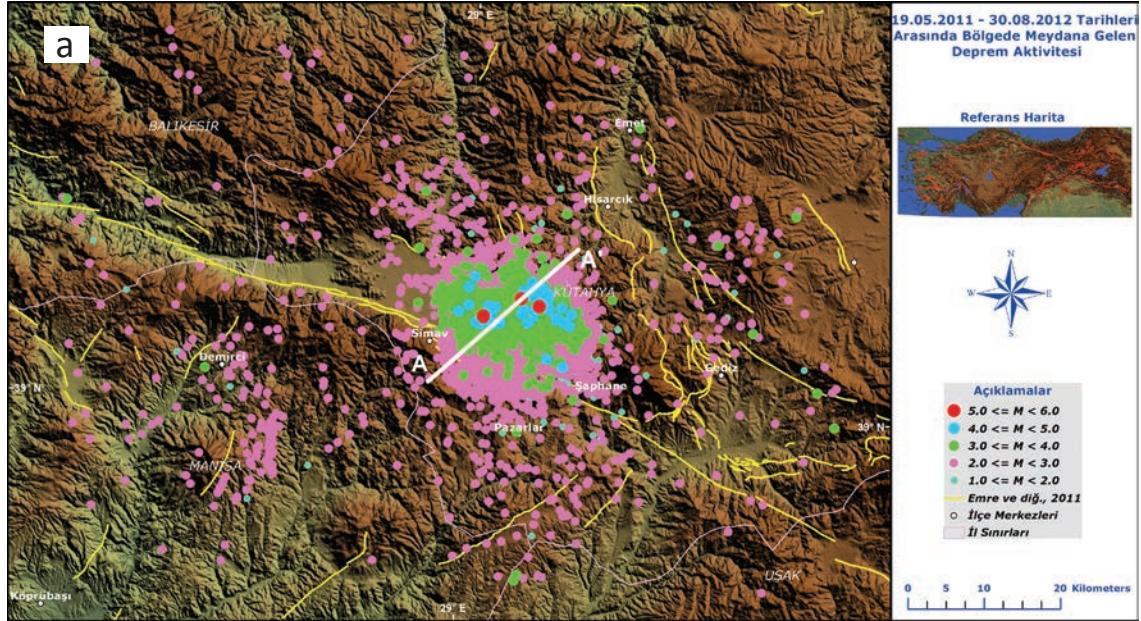
seçilmiştir (Tablo 2). Güneybatı kümesini oluşturan 12 depreme ait birinci düzlem eğim açılarının ortalaması 43.3° , ikinci düzlem eğim açılarının ortalaması ise 51.2° olarak hesaplanmıştır. Odak mekanizması çözümü doğrultu atıma işaret eden (30, 16, 21, numaralı) depremlerin fay düzlemi değerleri hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Bu hesaplamalar sonucunda aşağıdaki tablo oluşmuştur.

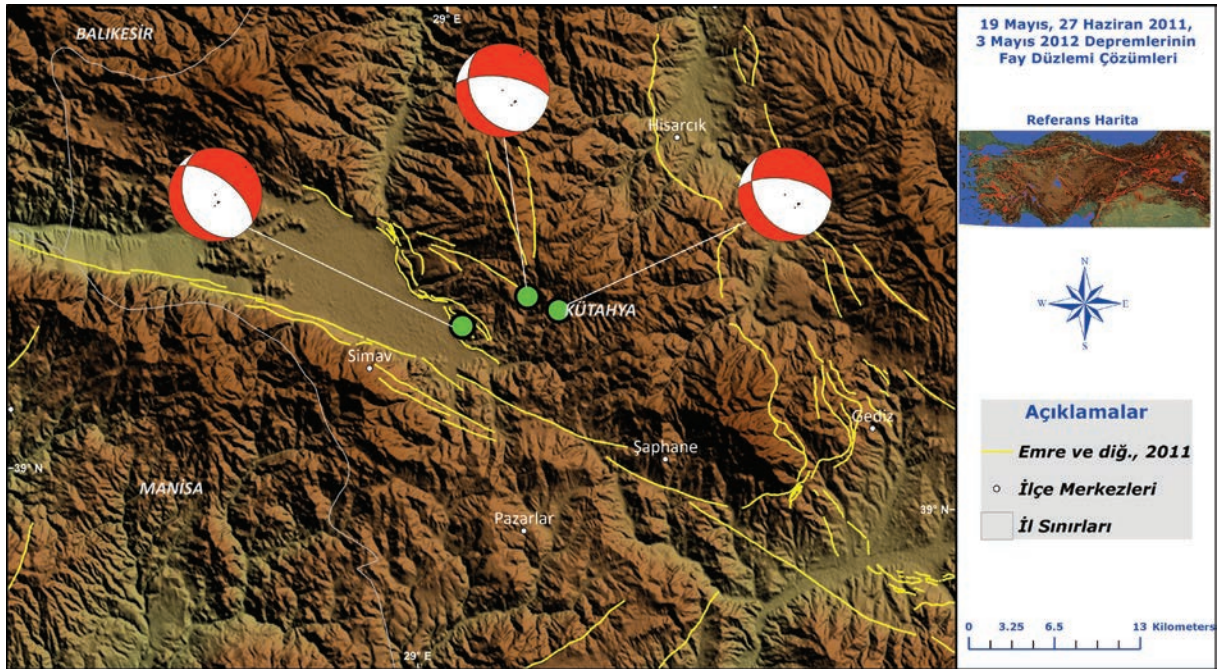
Tablo 3'e göre her bir küme için GGB'ye eğimli olan fay düzlemlerinin ortalama eğimleri 45° 'den küçük, buna karşılık KKD'ye eğimli olan fay düzlemlerinin ortalama eğimleri 50° 'den büyüktür. Bu bilgiler ışığında Şekil 11'deki geometrik model oluşturulabilir.

Şekil 11'deki modele göre Simav-Kütahya depremlerine kaynaklık eden fay için şu öngörülerde bulunulabilir:

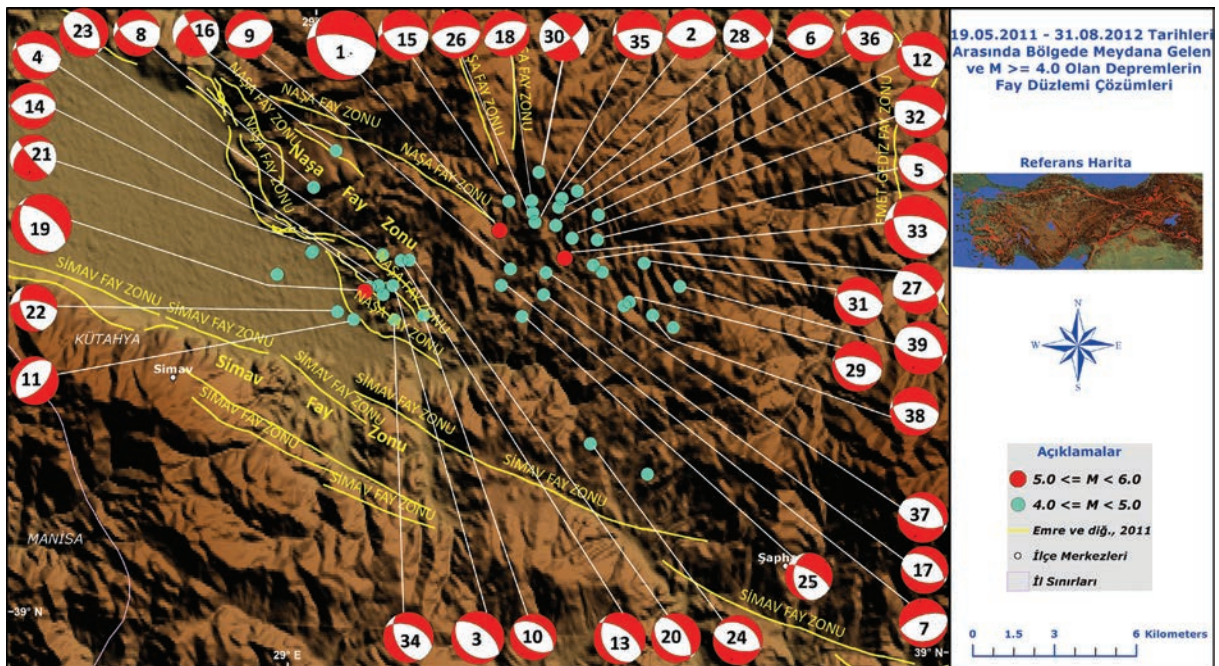
- Depremlere kaynaklık eden fay Naşa Fayı ise kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin odak derinlikleri güneybatı kümesini oluşturan depremlerin odak derinliklerinden daha küçük olmalıdır.



Şekil 8 (a). Derinlik profili. (b). Derinlik kesiti.
Figure 8 (a). Profile of depth. (b). Crossection of depth.



Şekil 9. 19 Mayıs, 27 Haziran 2011 ve 3 Mayıs 2012 depremlerinin fay düzlemi çözümleri.
Figure 9. Focal mechanism solutions of May 19, 2011 June 27, 2011 and May 3, 2011 earthquakes.



Şekil 10. 19 Mayıs 2011 depremi ve sonrasında bölgede meydana gelen ve $M \geq 4.0$ olan depremlerden bazılarına ait fay düzlemi çözümleri.
Figure 10. Some fault plane solutions that occurred in the region with magnitude $M \geq 4.0$ on 2011, May, 19 earthquake and after.

- Depremlere kaynaklık eden fay Simav Fayı ise güneybatı kümesini oluşturan depremlerin odak derinlikleri kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin odak derinliklerinden küçük olmalıdır.

Kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin (Tablo 1) derinlik ortalaması 15.3 km olarak hesaplanırken, güneybatı kümesini oluşturan

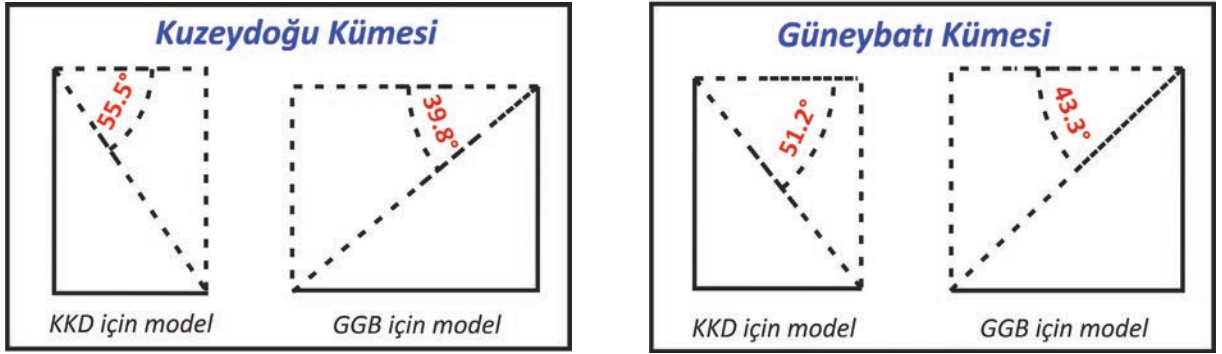
depremlerin (Tablo 2) derinlik ortalaması 13.8 km olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular yukarıdaki öngörülerini doğrulamaktadır.

Öte yandan kaynağı normal fay olan bir depremin dışmerkez koordinatının graben üzerinde, kaynağı ters fay olan bir depremin dışmerkez koordinatının ise horst üzerinde olması beklenir. Bu beklenti ışığında, depremlere kaynaklık

Tablo 1. Kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerden bazılarının ait fay düzlemi çözümlerinin doğrultu, eğim ve kayma açısı değerleri.

Table 1. Strike, dip and rake angle values of some fault plane solutions that refer to Northeast cluster.

No	Tarih	Zaman(GMT)	Enlem	Boylam	Derinlik	MI	Doğ.1	Eğim1	Kay. Aç.1	Doğ.2	Eğim2	Kay. Aç.2
01	19.05.2011	20:15:22.79	39.1328	29.0820	24.46	5.7	149	35	-45	278	66	-117
02	19.05.2011	20:25:32.37	39.1442	29.1078	07.00	4.6	89	47	-83	259	44	-98
05	19.05.2011	21:33:10.49	39.1310	29.1235	20.83	4.3	98	28	-106	296	63	-82
06	20.05.2011	00:13:07.69	39.1413	29.1065	16.92	4.1	81	35	-89	259	55	-91
07	20.05.2011	00:58:33.05	39.1147	29.0837	17.38	4.3	84	26	-80	252	64	-95
09	20.05.2011	05:00:36.19	39.1202	29.0872	07.09	4.2	79	46	-79	243	45	-101
12	27.05.2011	07:43:37.07	39.1393	29.1235	19.42	4.4	136	34	-66	287	59	-106
15	29.05.2011	01:31:39.16	39.1425	29.0853	05.04	4.5	129	37	-50	263	63	-116
17	04.06.2011	13:51:06.09	39.1122	29.1018	15.63	4.1	104	47	-106	307	45	-73
18	05.06.2011	21:29:12.39	39.1430	29.0950	06.98	4.0	60	42	-99	252	49	-82
24	17.07.2011	19:51:49.76	39.0638	29.1243	13.84	4.0	105	57	-97	298	34	-79
25	19.07.2011	21:16:52.73	39.1048	29.0930	17.77	4.1	176	36	-39	299	69	-119
26	25.08.2011	04:19:23.12	39.1390	29.0957	22.54	4.3	77	26	-98	266	64	-86
27	16.04.2012	10:10:47.04	39.1227	29.1222	06.90	4.7	73	51	-134	310	56	-49
28	17.04.2012	20:45:16.67	39.1468	29.1142	06.99	4.5	68	47	-136	305	59	-52
29	19.04.2012	19:52:41.28	39.1110	29.1382	07.49	4.5	120	32	-73	280	60	-100
31	23.04.2012	16:14:37.00	39.1240	29.1438	06.31	4.3	121	39	-73	279	53	-104
32	26.04.2012	22:05:33.60	39.1312	29.1128	25.54	4.8	68	32	-129	292	66	-68
33	03.05.2012	15:20:25.33	39.1245	29.1100	10.59	5.4	147	39	-48	278	62	-119
35	03.05.2012	17:10:09.61	39.1360	29.0968	23.70	4.4	131	28	-48	265	70	-110
36	03.05.2012	21:45:17.13	39.1352	29.1057	14.22	4.7	127	40	-60	270	57	-113
37	04.05.2012	02:00:36.07	39.1195	29.1023	23.94	4.5	103	58	-106	311	35	-66
38	13.06.2012	06:40:31.60	39.1070	29.1483	21.58	4.3	122	34	-66	274	59	-105
39	19.06.2012	01:46:13.13	39.1168	29.1593	25.91	4.9	100	60	-108	313	35	-62



Şekil 11. Ortalama eğim açlarına göre oluşturulan geometrik model.

Figure 11. Geometric model that was created according to average dip angle.

Tablo 2. Güneybatı kümesini oluşturan depremlerden bazılarının ait fay düzlemi çözümlerinin doğrultu, eğim ve kayma açısı değerleri.

Table 2. Strike, dip and rake angle values of some fault plane solutions that refer to Southwest cluster.

No	Tarih	Zaman(GMT)	Enlem	Boylam	Derinlik	Ml	Doğ.1	Eğim1	Kay. Açı.1	Doğ.2	Eğim2	Kay. Açı.2
03	19.05.2011	21:12:50.66	39.1130	29.0377	07.74	4.8	129	32	-88	306	58	-91
04	19.05.2011	21:21:29.45	39.1128	29.0317	06.99	4.3	127	44	-68	278	50	-110
08	20.05.2011	04:00:35.42	39.1443	29.0023	06.97	4.0	123	53	-59	258	47	-124
10	21.05.2011	21:43:08.56	39.1037	29.0513	07.00	4.0	302	43	-92	124	47	-89
11	24.05.2011	02:55:28.91	39.1013	29.0217	16.80	4.2	44	58	-87	219	32	-94
13	28.05.2011	05:47:16.74	39.1215	29.0408	23.02	4.7	155	34	-65	305	59	-106
14	28.05.2011	18:06:47.50	39.1123	29.0278	16.62	4.0	99	45	-78	262	46	-101
19	27.06.2011	21:13:58.53	39.1108	29.0260	18.27	5.0	156	33	-65	307	60	-105
20	27.06.2011	21:28:50.68	39.1217	29.0443	12.15	4.4	123	36	-109	326	56	-76
22	03.07.2011	14:16:28.51	39.1037	29.0147	10.78	4.1	159	47	-36	275	64	-131
23	13.07.2011	01:31:48.74	39.1230	29.0328	14.70	4.3	124	47	-107	329	45	-72
34	03.05.2012	16:16:04.27	39.1018	29.0390	25.41	4.6	153	48	-60	292	50	-119

Tablo 3. Her bir küme için hesaplanan ortalama eğim değerleri.

Table 3. Average dip values that was calculated for each cluster.

Kuzeydoğu Kümesi		Güneybatı Kümesi	
GGB	KKD	GGB	KKD
39.8°	55.5°	43.3°	51.2°

eden fayın Naşa Fayı olduğu tezi göz önüne alındığında, 19 Mayıs 2011 ve 3 Mayıs 2012 depremlerinin dışmerkez koordinatlarının Si-mav havzasında olması gerekirdi. Ancak söz konusu depremlerin dışmerkez dağılımları Naşa Fay Zonu'nun kuzeydoğusunda yer almıştır.

Ayrıca aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan ve yukarıda kuzeydoğu kümesini oluşturan depremler olarak adlandırılan depremlerin dışmerkez dağılımları da yine Naşa Fay Zonu'nun kuzeydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 10).

Güneybatı kümesini oluşturan depremlerin derinlik ortalaması 13.8 km olarak hesaplanmıştı. Söz konusu depremlerin dışmerkez dağılımları Simav havzası ile Naşa Fay Zonu arasına saçılmıştır. İlk bakışta depremlere kaynaklık eden fayın Naşa Fayı olduğu düşünülse de depremlerin dışmerkez koordinatlarının Naşa Fayı'na olan uzaklığı trigonometrik bağıntılar yardımı ile hesaplandığında, Naşa Fayı için verilen eğim açısı değerleri ile hesaplama sonucunda elde edilen uzaklık örtüşmemektedir. Şöyle ki: Naşa Fay Zonu 55°-65° güneybatıya eğimli ise ve depremlerin ortalama derinliği de 13.8 km olarak hesaplanmış ise; deprem dışmerkezlerinin faya olan uzaklığına x dersek;

$$x = \frac{13.8}{\tan(55^\circ)} \quad (1)$$

bağıntısından $x=9.7$ km olarak elde edilir (Eşitlik 1). Aynı bağıntıda açı değeri 65° olarak alınırsa $x=6.4$ km bulunur. Elde edilen iki uzaklık değeri de deprem dışmerkezlerinin Naşa Fayı'na olan ortalama uzaklığından büyüktür. Depremlerin kaynağı olarak Naşa Fay Zonu'nu oluşturan faylardan en kuzeydoğuda olanı kabul edilse bile, bu faydan en uzaktaki deprem dışmerkezine olan uzaklık yaklaşık 5 km'dir. Bu hesaplamalar 19 Mayıs 2011 Simav-Kütahya depremlerine kaynaklık eden fayın Naşa Fayı olmadığına başka bir göstergesidir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

2011 yılında ve devamında Simav-Kütahya'da meydana gelen depremlerin hangi faydan kaynaklandığı ve fayların karakteristiği konusunda farklı araştırmacılar farklı görüşler öne sürmüşlerdir. Yapılan bu çalışma ile mevcut tektonik ve jeolojik veriler, sismolojik verilerle birlikte değerlendirilmiştir. Bu verilerden elde edilen sonuçlara göre;

Aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremlerin P dalgası ilk hareketine göre yapılan odak mekanizması çözümleri baskın olarak normal faylanmayı işaret etmektedir.

Ana tektonik yapıya (Simav Fayı'na) yaklaşık dik olacak şekilde alınan derinlik kesitinde, kuzeydoğu yönünde bir eğim olduğu görülmüştür. Bu bilgi, depremlere kaynaklık eden fayın 55°-65°

GB'ye eğimli olan Naşa Fayı olduğu bilgisi ile örtüşmemektedir.

19 Mayıs 2011 Simav-Kütahya depremi ve sonrasında bölgede meydana gelen ve aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremler, dışmerkez dağılımlarına göre kuzeydoğu kümesi ve güneybatı kümesi olarak adlandırılmıştır.

Kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin dışmerkez koordinatları, depremlere kaynaklık ettiği düşünülen Naşa Fay Zonu'nun kuzeyinde kalmaktadır. Naşa Fayı'nın GB'ye eğimli olduğu bilgisi göz önünde bulundurulduğunda sadece sismolojik verilerle bile söz konusu depremlerin Naşa Fayı'ndan kaynaklanmış olma ihtimali ortadan kalkmaktadır.

Kuzeydoğu ve güneybatı kümesini oluşturan depremlere ait odak mekanizması çözümleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Odak mekanizması çözümlerinden fay düzlemi olarak hem GGB'ye eğimli olanlar hem de KKD'ye eğimli olanlar ayrı ayrı ele alınmıştır. Kuzeydoğu kümesini oluşturan ve GGB'ye eğimli olan fay düzlemlerinin eğim açılarının ortalaması 39.8°, KKD'ye eğimli olan fay düzlemlerinin eğim açılarının ortalaması 55.5° olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde güneybatı kümesini oluşturan ve GGB'ye eğimli olan fay düzlemlerinin eğim açılarının ortalaması 43.3°, KKD'ye eğimli olan fay düzlemlerinin eğim açılarının ortalaması 51.2° olarak bulunmuştur. GGB'ye eğimli olan fay düzlemleri için elde edilen ortalama eğim açısı değerlerinin, Naşa Fayı için verilen eğim açısı değerleri ile uyumsuz olduğu görülmüştür. Buna karşılık Simav Fayı'nın yüzeydeki izi için verilen 45°-50° ortalama eğim açısı (Seyitoğlu, 1997) değerleri ile KKD'ye eğimli olan fay düzlemleri için elde edilen eğim açısı değerlerinde bir uyum olduğu görülmüştür.

KKD'ye eğimli olan fay düzleminin Simav Fayı'nı, GGB'ye eğimli olan fay düzleminin de Naşa Fayı'nı temsil ettiğini düşünüp depremlerin derinlikleri ile ilgili olarak şu öngörülerde bulunulmuştur:

- Depremlere kaynaklık eden fay Naşa Fayı ise kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin odak derinlikleri güneybatı kümesini oluşturan depremlerin odak derinliklerinden daha küçük olmalıdır.

- Depremlere kaynaklık eden fay Simav Fayı ise güneybatı kümesini oluşturan depremlerin odak derinlikleri kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin odak derinliklerinden küçük olmalıdır.

Bu öngörülerini aydınlatmak amacı ile yapılan hesaplamalar neticesinde ortalama odak derinlikleri kuzeydoğu kümesi için 15.3 km, güneybatı kümesi için 13.8 km olarak bulunmuştur. Bu bilgi, Simav-Kütahya depremlerine kaynaklık eden fayın Naşa Fayı olmadığına başka bir göstergesidir.

Güneybatı kümesini oluşturan depremlerin kaynağının Naşa Fayı olduğu varsayıldığında; Naşa Fayı'nın eğim değerleri (55°-65° GB) dikkate alınarak söz konusu kümeyi oluşturan depremlerin dışmerkez koordinatlarının Naşa Fayı'na olması gereken uzaklıkları hesaplanmış ve gerçek uzaklıklar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda da yine bir uyum elde edilememiştir.

Tüm bu sonuçlar, 19 Mayıs 2011 depremi ve devamında bölgede meydana gelen depremlere kaynaklık eden fayın KD'ye eğimli olduğu bilinen Simav Fayı olduğunu göstermektedir. Simav Fayı, baskın olarak normal fay karakterindedir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar değerli görüş ve katkılarından dolayı, ismi belli olmayan hakemlere; Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı Ulusal Sismolojik Gözlem Ağı çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Ambraseys, N. N., and Tchalenko, J., 1972. Seismotectonic aspects of the Gediz, Turkey, earthquake of March 1970. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 229-252.

Ayhan, E., Alsan, E., Sancaklı, N., ve Üçer, S. B., 1981. Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu 1881-1980. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.

Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Kataloğu, 2007-2012. <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Veritabani/DDA.aspx?param=1>

Bekler, T., Demirci, A., Özden, S., ve Kalafat, D., 2011. Simav ve Emet Fay Zonlarındaki Depremlerin Optimum Kaynak Parametrelerinin Analizi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. http://www.tdmd.org.tr/TR/Genel/6.Oturum/1.TDMSK_066.pdf 11-14 Ekim 2011 ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi. Ankara.

Demirtaş, R., ve Erkmen, C., 2000. Deprem ve Jeoloji. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 52. Ankara.

Duman, T. Y., Elmacı, H., Özalp, S., Olgun, Ş., ve Emre, Ö., 2013. Simav Fay Zonunda İlk Paleosismolojik Bulgular. 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı. 01-05 Nisan 2013 ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara, 28-29.

Emre, Ö., ve Duman, T. Y., 2011. 19 Mayıs 2011 Simav (Kütahya) Depremi (Mw=5.8) Ön Değerlendirmesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. Yer Dinamikleri Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü Aktif Tektonik Araştırma Birimi. Ankara.

Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., ve Özalp, S., 2011a. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi Kütahya (NJ 35-4) Paftası. Seri No:10, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.

Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., ve Özalp, S., 2011b. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi Eskişehir (NJ 36-1) Paftası. Seri No:15. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.

International Seismological Centre (ISC) Event Catalog, 1960-2010. <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>.

MTA, 2001. Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Seyitoğlu, G., 1997. The Simav Graben: An Example of Young E-W Trending Structures in the Late Cenozoic Extensional System of Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 135-141.

- Şenel, M., Akdeniz, N., Konak, N., Ulu, Ü., Türkecan, A., Aksay, A., Uğuz, M. F., Hakyemez, Y., Bilgiç, T., Tarhan, N., ve Günay, Y., 2001. Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Tajima, F., and Kanamori, H., 1985. Global Survey of Aftershock Area Expansion Patterns. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 40, 77-134. Amsterdam-Printed in the Netherlands.
- Tsapanos, T., 1995. The Temporal Distribution of Aftershock Sequences in the Subduction Zones of the Pasific. *Geophysical Journal International*, 123, 633-636.

Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere (Kalkım, Yenice-ÇANAKKALE) Pb-Zn±Cu Distal Skarn Yataklarında Akışkanların Kökeni

Origin of the Fluids in the Handeresi, Bağırkaçdere, and Fırıncıkdere (Kalkım, Yenice-ÇANAKKALE) Pb-Zn±Cu Distal Skarn Deposits

SİNAN AKISKA^{1*}, GÖKHAN DEMİRELA²

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100, Tandoğan, Ankara

²Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray

Geliş (received) : 24 Temmuz (July) 2014

Kabul (accepted) : 11 Kasım (November) 2014

Öz

Biga Yarımadası'nın doğusunda yer alan Kalkım (Yenice) beldesinin güneyinde bulunan Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere yatakları Türkiye'deki önemli Pb-Zn±Cu yatakları arasında yer almaktadır. Bölgedeki distal Pb-Zn skarn oluşumları, Kalabak Formasyonuna ait epidot-serizit-grafit şist ve metakumtaşları ile kalk şist ve mermer dokanalarında ve/veya bunların kırık-çatlaklarında meydana gelmiş olup, hem litolojik hem de yapısal kontrollü cevherleşmelerdir. Bölgede yapılan çalışmalar sırasında endoskarn zonuna rastlanılmamış olup, eksoskarn zonunda görülen mineraller, grossular-andradit türü granatlar, Mn-hedenberjit-johansenit (çok nadiren diyopsit) türü klinopiroksenler, aktinolit-tremolit türü amfiboller (çok nadir), epidotlar, kuvars (kuvars-I) ve kalsitir (kalsit-II). Cevher mineralleri olarak ise galenit, sfalerit, pirit, kalkopirit, arsenopirit, manyetit ve hematit saptanmıştır. Gerek cevherli zonları gerekse de tüm yan kayaçları kesen ve damar dolgusu şeklinde gözlenen ayrı bir kuvars (kuvars-II) ve kalsit (kalsit-II) jenerasyonu da belirlenmiş olup bunlar cevher içermeyen geç evre oluşumlarıdır.

Klinopiroksen, sfalerit, kuvars-I ve kalsit-II örnekleri üzerinde yapılan sıvı kapanım çalışmalarında klinopiroksen minerallerinin 300-340 °C (% 5,6 ile % 8 arası NaCl eşdeğeri tuzluluk), sfalerit minerallerinin 272-338 °C, kuvars-I minerallerinin 157-319 °C (% 1,4 ile % 9,1 arası NaCl eşdeğeri tuzluluk) ve kalsit-II minerallerinin 68-75 °C arasında oluştuğu saptanmıştır. Kapanımların çok küçük olmaları sebebiyle sfalerit ve kalsit-II minerallerinden tuzluluk ölçümleri yapılamamıştır. Cevherleşme ile ilişkili kalsit (kalsit-I) minerallerinde yapılan C-O izotop analizleri sonucunda $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değerlerinin ‰ -3,9 ile ‰ 0,6 arasında, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ değerlerinin ise ‰ 1,82 ile ‰ 12,76 arasında yer aldıkları görülmüştür.

Tüm veriler bir arada değerlendirildiğinde, bölgedeki bu oluşumları meydana getiren akışkanın olasılıkla magmatik kökenli olduğu ve yaklaşık 340 °C veya üzerindeki bir sıcaklıkta (prograd-retrograd evre geçişi) meydana geldiği sonucuna varılabilir. Sıcaklığın düşmesi ile birlikte, ilk olarak oluşan klinopiroksenlere kuvars-I mineralleri de eşlik etmiştir. Sıcaklığın yaklaşık 300 °C altına düşmesi (retrograd evre) ile meteorik sular sisteme katılıp tuzluluk değerlerinin düşmesine sebep olmuşlardır. Cevherleşme ise yaklaşık prograd-retrograd evre geçişinden itibaren oluşmaya başlamış ancak esasen retrograd evrede meydana gelmiştir. Yapılan C-O izotop çalışması ile de cevherleşme ile ilişkili kalsitlerdeki karbonun kökeninin öncelikle magmatik olduğu ancak cevherleşmenin ilerleyen evrelerinde yan kayaçlardaki rekristalize denizel kireçtaşlarının da karbona kaynaklık ettiği, oksijenin ise yine magmatik kaynaklı olduğu ancak ilerleyen evrelerde meteorik su etkisi ile oksijen izotop değerlerinin değiştiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıvı kapanımı, skarn, Handeresi, Biga, distal, duraylı izotop, karbon, oksijen

* S. Akiska

e-posta: akiska@eng.ankara.edu.tr

ABSTRACT

Handeresi, Bağırkaçdere and Fırıncıkdere deposits located in the south of Kalkım (Yenice) and at the east of Biga Peninsula are some of the important Pb-Zn±Cu deposits in Turkey. The distal Pb-Zn skarn formations in the area have occurred in the contact between the epidote-sericite-graphite schist-metasandstone and calc schist-marble and/or in fault zones of these units. These occurrences are controlled both structurally and lithologically. While the endoskarn zone are not seen in the area, the exoskarn zone consists of garnet (grossularite-andradite), clinopyroxene (Mn-hedenbergite-johannsenite and very rare diopside), amphibole (very rare actinolite-tremolite), epidote, quartz (quartz-I) and calcite (calcite-I). The ore minerals are galena, sphalerite, pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, magnetite and hematite. Late-stage barren quartz (quartz-II) and barren calcite (calcite-II) veins and veinlets cut both all the mineralization zones and all the wall rocks.

Fluid inclusion studies shows that the homogenization temperatures (and salinities) of clinopyroxene, sphalerite, quartz-I, and calcite-II are between 300-340 °C (5.6 - 8.0 % NaCl equiv.), 272-338 °C, 157-319 °C (1.4 - 9.1 % NaCl equiv.), and 68-75 °C, respectively. Because the sphalerite and calcite-II contain very small inclusions, the salinity could not be measured. C-O isotope analyse results of calcite-I associated with the mineralization shows that $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ values range between -3.9 ‰ and 0.6 ‰, while $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ values range between 1.82 ‰ and 12.76 ‰.

When all data are evaluated together, the fluid, responsible for skarn-associated mineralizations, is probably magmatic origin and develops at/above ~340 °C (prograde-retrograde stage transition). On cooling, quartz-I accompanies with early formed clinopyroxene. With the temperature decreases below 300 °C, meteoric water was incorporated into fluids of the retrograde stage and has led to decrease the salinity. The mineralization has begun to form from approximately prograde-retrograde stage transition, but has mainly occurred in the retrograde stage. C-O isotope studies indicate that the carbon in the calcite associated with the mineralization is magmatic origin at first, but in the later stages, the recrystallized marine limestone is the source of carbon while oxygen is also magmatic origin at first, but incorporating meteoric water into the system has changed the oxygen isotope values.

Keywords: fluid inclusion, skarn, Handeresi, Biga, distal, stable isotope, carbon, oxygen

GİRİŞ

Tetis metalojenik kuşağının önemli bir parçasını oluşturan Biga Yarımadası, antik çağlardan beri metal madenciliğinin ana merkezlerinden birisi olmuştur. Bölgede baz metallerinin yanı sıra, birçok Au-Ag-Mo-Cu ve W oluşumlarına da rastlanmaktadır. Ayrıca, Biga Yarımadası'nda MTA tarafından uzun yıllar boyunca çok sayıda baz metal arama çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar genel anlamda jeoloji çalışmalarına ve maden aramacılığına yöneliktir (MTA, 1993). Bunlara ilaveten, özellikle son yıllarda, bölgedeki Pb-Zn-Cu-Ag yataklarının oluşumlarına yönelik mineraloji, cevher mikroskopisi, sıvı kapanımı, izotop jeolojisi ve EPMA çalışmaları yapılmıştır. Bunlardan başlıcaları; Kuru Pb-Zn±Ag±Au yatağı (Bozkaya ve Gökçe, 2009), Arapuçandere Pb-Zn-Cu±Ag±Au yatağı (Çağatay, 1980; Anıl, 1984; Orgün vd., 2005; Bozkaya vd., 2008; Bozkaya, 2011), Balya Pb-Zn-Cu±Ag±Au yatağı (Akyol, 1977; Çağatay, 1980; Ağdemir vd., 1994) ve bu çalışmanın da

konusu olan Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere Pb-Zn-Cu±Ag yataklarıdır (Anıl, 1984; Akiska, 2010; Akiska vd., 2013). Genel anlamda bakıldığında Biga Yarımadası'nda oluşan baz metal cevherleşmeler iki farklı tipte sınıflandırılmıştır (Demirela, 2011): (1) metamorfik kayaçlar içerisindeki kalk şistler ve mermer mercekleri ile ilişkili skarn-CRD (ornatma türü) yataklar ve (2) volkanik ve metamorfik kayaçlar içerisindeki kırık sistemlerine bağlı gelişen damar tipi cevherleşmeler. Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere yatakları, epidot serizit grafit şist, kalk şist ve metakumtaşları içerisindeki kırık-çatlak sistemlerinde ve bu birimler içerisindeki mermer merceklerinin dokanaklarında gözlenen Pb-Zn distal skarn yatakları olarak tanımlanmış olup, yapılan saha gözlemleri, mineralojik-petrografik çalışmalar, EPMA ve izotop çalışmaları sonucunda bu üç bölgedeki cevherleşmelerin aynı tip cevherleşmeler olduğu ve üç yatağın da tek bir oluşum olarak değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Akiska, 2010; Akiska vd., 2013). Bu

çalışmalarda özellikle mineraloji, cevher mikroskobisi, EPMA, Pb ve S izotop verileri kullanılmış olup, yatak sınıflaması da bu verilere dayanılarak yapılmıştır. Bu makalede ise bölgedeki bazı alterasyon ve cevher mineralleri (klinopiroksen, sfalerit, kuvars ve kalsit) üzerinde sıvı kapanım çalışmaları ve cevherleşme ile ilişkili kalsitlerde de karbon ve oksijen izotop analizleri yapılmış olup elde edilen değerler önceki çalışmalardaki veriler ile karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

BÖLGESEL JEOLJİ

Çalışma sahası jeotektonik olarak Ketin (1966)'e göre Pontidler içinde ve bu tektonik birliğin kuzeybatı ucunda yer alır. Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından Sakarya Kıtası adı verilen bu bölgenin sınırları, kuzeyde Pontid İçi Kenedi, güneyde ise İzmir-Ankara Kenedi olarak tespit edilmiştir. Hem Brinkmann (1966, 1971) hem de Şengör ve Yılmaz (1981) bu tektonik birimi Ankara'nın hemen doğusunda sona erdirmiştir. Okay (1984, 1989) ise Sakarya Zonu'nun doğu sınırını, kuzeybatı Anadolu'ya çok benzeyen bir stratigrafi ve tektonik gelişme gösteren Doğu Pontidler'i de içine alacak şekilde doğruya doğru genişletmiştir (Okay vd., 1990).

Sakarya Zonu boyunca karmaşık bir şekilde deforme olmuş ve genellikle metamorfizma geçirmiş Jura öncesi bir temel ile çok daha az bir deformasyon kapsayan ve hiç metamorfizma göstermeyen bir Jura-Tersiye örtü ayrımı yapmak mümkündür. Sakarya Zonu'na ait kristalen temel genel anlamda üç gruba ayrılabilir (Okay vd., 2008): (a) Gnays, amfibolit, mermer ve nadir olarak gözlenen metaperidotitlerin yüksek dereceli Variskan metamorfik serisi, (b) Devoniyen, Karbonifer veya Permiyen kristalizasyon yaşlarına sahip Paleozoyik granitoidleri (Delaloye ve Bingöl, 2000; Okay vd., 2002, 2006; Topuz vd., 2007) ve (c) Permo-Triyas yaşlı metabazit ve daha az oranda görülen mermer ve fillitçe baskın düşük dereceli metamorfik kompleks.

Karakaya öncesi birimler, Biga Yarımadası'nda özellikle Havran ve Edremit'in kuzeyinde yüzeyleyen metasedimanter kayalardan (Kalabak Formasyonu) ve bir intrüzif kütleden oluşmaktadır (Çamlık Granitoidi). Çalışma sahasında Triyas öncesi düşük dereceli bir metamorfizma

geçirmiş Kalabak Formasyonu batıda Oligo-Miyosen yaşlı Eybek granodiyoriti tarafından kesilmiş (Okay vd., 1990) iken doğuda Devoniyen yaşlı Çamlık Granitoidi ile ilişkisi tartışmalıdır (Okay vd., 1996; Aysal vd., 2012).

Kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase sonları ile Tersiyer başı zaman aralığında Neo-Tetis Okyanusu kuzey kolunun kuzeye, Sakarya Kıtası altına doğru dalıp-batarak tüketilmesiyle, güneydeki Torid-Anatolid platformu ile kuzeydeki Sakarya Kıtası çarpışmış ve aralarında, tüm kuzey Türkiye'yi kat eden İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Kuzeybatı Anadolu'da kenet kuşağı gelişiminin ardından, hem kenet kuşağı birimleri; hem de Sakarya Kıtası'na ait temel kayalar, Orta Eosen yaşlı çökel kayalar ile uyumsuz olarak örtülmüşlerdir. Bu stratigrafik veri, en azından kıta-kıta çarpışmasının Orta Eosen döneminden önce tamamlanmış olduğunun göstergesidir (Genç ve Altunkaynak, 2007).

Biga Yarımadası'nın Sakarya Zonu kesiminde Geç Kretase-Erken Eosen yaşlı kayalar bilinmemektedir. Sakarya Zonu'nun daha doğu kesimlerinde, Orta Sakarya bölgesinde, Orta Kretase yaşlı Vezirhan Formasyonu üzerine 1000 metreyi aşkın kalınlıkta pelajik killi kireçtaşı arakatkıları ve serpantin ile Bilecik kireçtaşı olisitolitlerini kapsayan Geç Kretase yaşlı volkanitli bir fliš istifi bulunur (Altınlı, 1975; Saner, 1978). Gölpazarı Grubu ismi verilen bu türbiditik fliš istifi regresif bir gelişme gösterir ve üste doğru Paleosen yaşlı genellikle kalın tabakalı kumtaşlarından oluşmuş nehir çökellerine geçer. Biga Yarımadası'nda Gölpazarı Grubu olasılıkla Paleosen sonunda aşınmıştır (Okay vd., 1990). Oligosen sonunda Biga Yarımadası'nda önemli bir yükselme ve karasallaşma yaşanmış ve Eosen-Oligosen istifi de büyük ölçüde aşınmıştır.

Bu evreyi takiben çok yaygın ve yoğun bir Oligo-Miyosen kalkalkalen magmatizması Biga Yarımadası'nı etkilemiştir. Yarımada'nın güneyindeki granitlerin tümü Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşları verir: Eybek Granodiyoriti 23-31 my (Krushensky, 1975; Ayan, 1979), Kestanbol siyeniti 28 my (Fytikas vd., 1976), Ilıca-Şamlı granodiyoriti 20-23 my (Ataman, 1975; Bingöl vd., 1982), Nevruz-Çakıroba Granodiyoriti 24

my (Zimmermann vd., 1989). Bu intrüzifler dışında, Erken ve Orta Miyosen'de faaliyete geçen volkanizma Biga Yarımadası'nda geniş alanlar kaplamıştır. Bu volkanik ürünler andezit, breşik dasit ve bölgesel genişleme ile oluşan dasit-andezit-trakit-bazalt sekansını içerir (Ercan, 1979). Granodiyoritlerin kenar zonları ve yakınlarında Pb-Zn-Cu-Fe mineralizasyonları, andezitik birimler içerisinde ise Pb-Zn ve Au cevherleşmeleri görülmektedir (Pehlivan ve Çetin, 1997). Bölgede meydana gelen magmatik aktivite ile oluşan granitoidik kayaçlar ve bunların yarı derinlik ve yüzey eşdeğeri ürünleri birbirleriyle zaman, mekan ve kökende ortaklıklar sergilemekle birlikte bunların kökeni, tektonik anlamları ve magma kaynağı konusunda günümüzde de tartışmalar devam etmektedir (Fytikas vd., 1984; Yılmaz, 1989; Seyitoğlu vd., 1997; Okay ve Sattır, 2000; Delaloye ve Bingöl, 2000; Aldanmaz vd., 2000; Yılmaz vd., 2001; Beccaletto, 2004; Beccaletto ve Jenny, 2004).

Geç Miyosen'de volkanizma durmuş, sığ denizel ve fluvial klastikler bölgede çökelmiştir. Pliosen ve Kuvaterner'de yerel nehir ve göl sedimantasyonu ve az miktarda alkali bazaltik volkanizma gerçekleşmiştir (Okay vd., 1990) (Şekil 1 ve 2).

MİNERALOJİ-PETROGRAFI

Çalışma alanlarında izlenen başlıca kayaçlar, Kalabak Formasyonu'na ait kalk şistler, epidot-serizit-grafit şistler, bunların içerisindeki metakumtaşı, mermer ve kuvarsit mercikleri ile cevherli oluşumlardır. Her ne kadar yapılan arazi çalışmaları ve galeri haritalamaları sırasında karşılaşılmaş olsa da sondaj karotlarında yapılan incelemelerde daha derinlerde serpantinlerin de bulunduğu belirlenmiştir. Çalışma alanlarının yakınlarında ise Çamlık Granitoidi, Eybek Plütonu ve Kalkım Volkanitleri yüzlek vermektedir (Şekil 1).

Kalabak Formasyonu

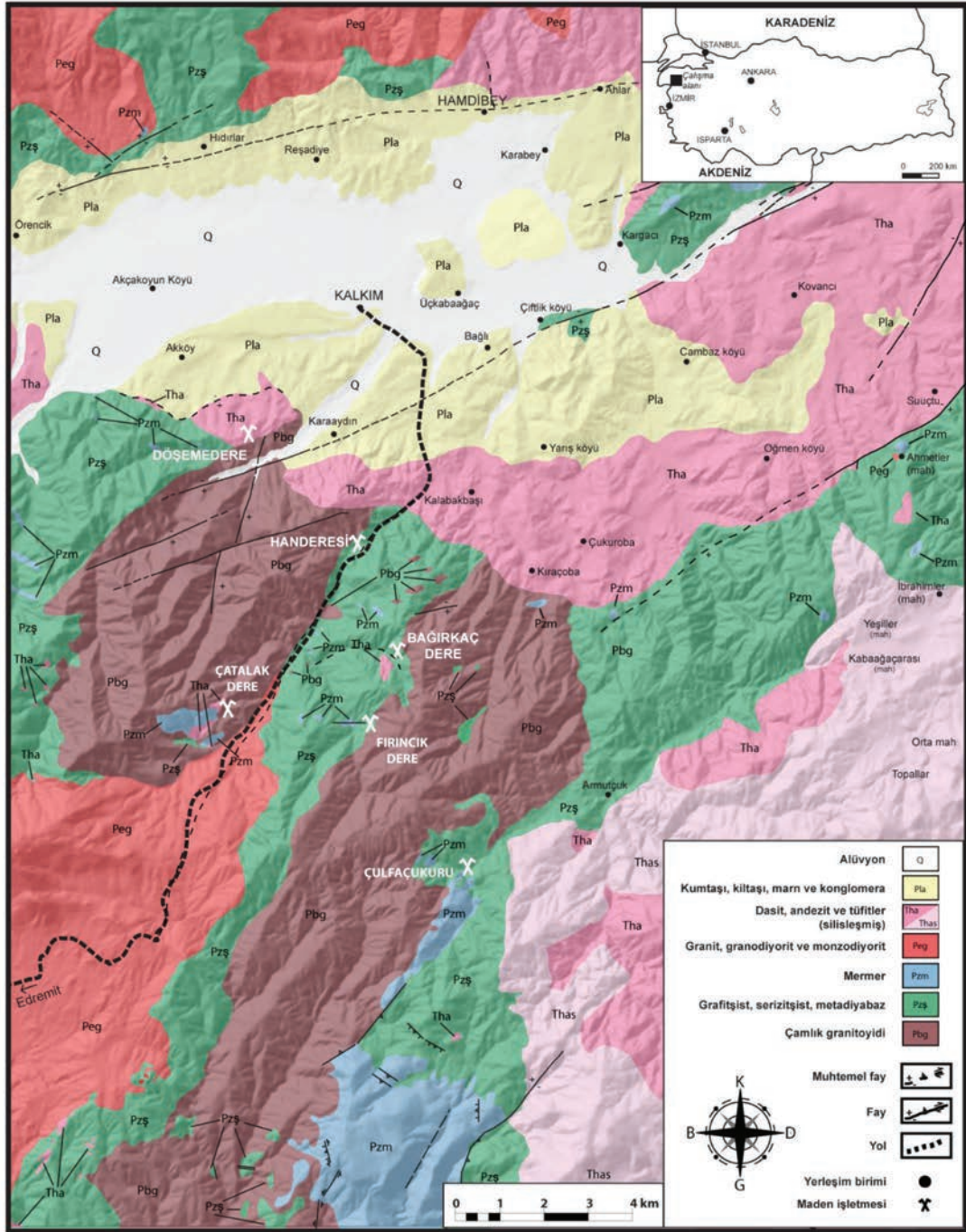
Bölgede görülen epidot-serizit-grafit şistler genellikle koyu yeşil-siyahımsı renklerde olup, bazılarında şistoziteye paralel veya onları keser biçimde 1-2 cm'lik kuvars ve karbonat damarları görülmüştür. Bazı örneklerde kıvrımlanmalar

izlenirken bazılarında ise şistozite düzlemlerinde açılmalar olmuş ve ağsal bir yapı gelişmiştir. Bunlar genellikle cevherli zonlara yaklaştıkça sıklaşmakta olup, damar ve damarcıklar bu kesitlerde daha yoğun görülmektedir. Mineral bileşimi kuvars, grafit, serizit ve epidotlardır. Şistlerde grafitler ve kuvarslar ardalanmalı şekilde dizilmişlerdir. Ayrıca kayaçlarda damar şeklinde ikincil kuvars ve karbonat oluşumlarına da rastlanır. Epidotlar hem kuvarslarla birlikte birincil olarak, hem de damarlar içerisinde ikincil olarak görülmektedir. Serizitler ise çoğunlukla grafitlerle birlikte yer alır. Ayrıca saçılım şeklinde ve bazen de şistoziteye paralel opak minerallere de rastlanmıştır (Şekil 3a).

Kalk şistler genellikle epidot-serizit-grafit şistlerle birlikte bulunurlar. Bölgeden alınan kalk şistlerin renklerinin çoğunlukla gri-beyazımsı gri renklerde oldukları ve belirgin şistozite düzlemlerine sahip oldukları gözlenmiştir. Yapılan mikroskobik incelemelerde tespit edilen ana mineraller yönlenmiş olarak görülen kalsit ve kuvars taneleridir. Tali mineral olarak ise yine şistozite düzlemlerine yaklaşık paralel olarak dizilmiş opak mineraller görülmektedir. Bazı kalk şist örneklerinde yaygın olan ikincil kırık ve çatlaklar da kuvars ve kalsit ile doldurulmuş durumdadır (Şekil 3b).

Farklı seviyeler ve kalınlıklar halinde ve merceksi yapılar da gözlenen metakumtaşları ise masif görünümlü olup metamorfizmanın etkisiyle çok hafif yönlenme gösterirler. Mineral bileşimi kuvars, ortoklaz, plajiyoklaz, epidot, serizit ve grafit kalıntılarıdır. Bu tür kayaçlarda da yine ikincil kuvars ve karbonat damarlarına rastlanmaktadır. Epidotlar yine hem birincil hem de ikincil oluşuklar şeklinde bulunmaktadır. Feldspatların birçoğunda serizitleşme ve killeşme yaygındır. Bazı plajiyoklaz porfiroblastlarında basınç etkisinden dolayı ikiz lamellerinde kaymalara rastlanmaktadır. Özellikle saçılım şeklindeki opak mineraller bu kesitlerde izlenmiştir (Şekil 3c).

Rekristalizasyon sebebiyle iri taneli kalsitlerin hakim olduğu mermerlerde kayacın çoğunluğu kalsit mineralinden oluşmaktadır (Şekil 3d). Ayrıca ikincil kuvars ve karbonat damarları ile saçılım şeklinde görülen opak minerallere de rastlanmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Duru vd., 2007'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 1. The geological map of the study area and its surrounding (modified from Duru et al., 2007).

Eksoskarn Zonu

Yapılan arazi çalışmalarında bölgede endoskarn zonuna rastlanılmamış olup yalnızca eksoskarn zonuna ait oluşumlar görülmüştür. Bu zonda yer alan alterasyon mineralleri ile birlikte

çoğunlukla cevherli mineraller de izlenmektedir. Bu zondaki kayalar, granat, klinopiroksen (Mn-hedenberjit-johansenit ve az miktarda diyopsit), amfibol (çok nadir aktinolit ve tremolit), çubuksu epidotlar, kuvars, kalsit ve cevher minerallerinden oluşmaktadır.

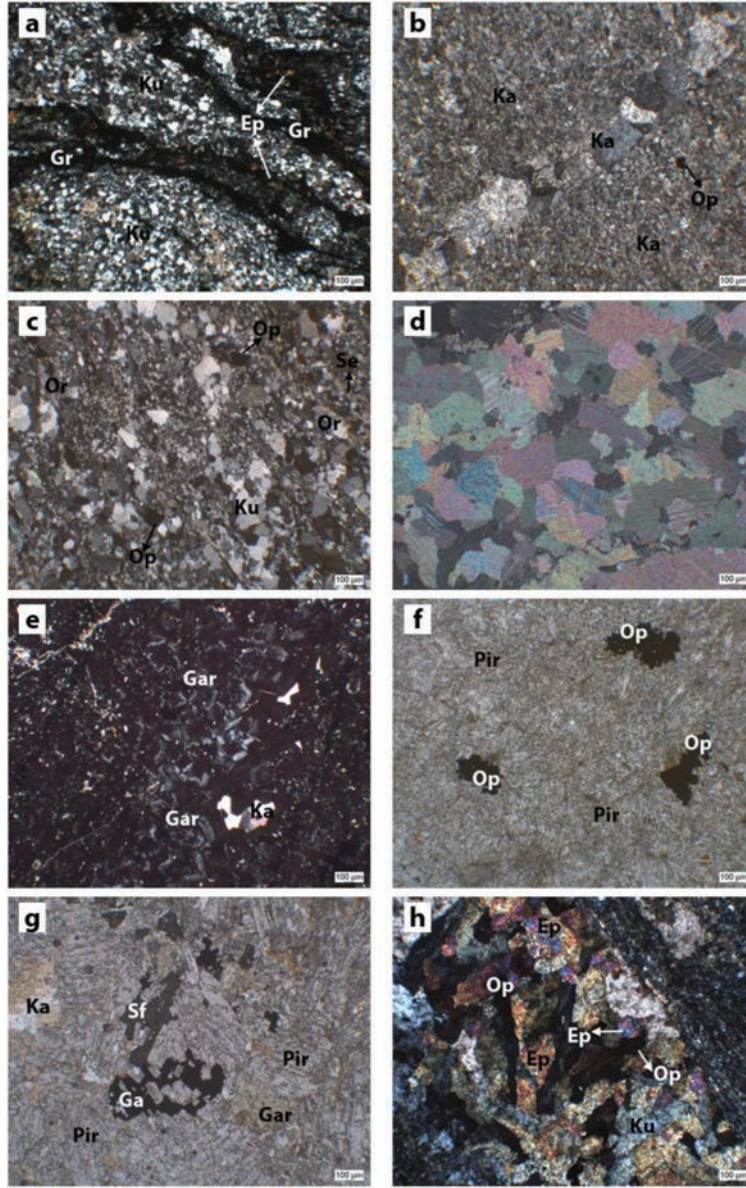
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA	FOSİL
SENOZOYİK	TERSİYER	Kuvaterner			Q	Alüvyon	
		Pliosen	Akkoy	250 - 300	Linyit Pla	Çapraz tabakalanmalı kumtaşı Linyit arakatlı kilitaşı ve marl Gevşek çimentolu konglomera	Pecten reghiensis Pecten benedictus Ostrea offedulis Ostrea fibriata
		Orta Miyosen	Kalkın Volkanitleri	± 500	Tha	Sarımsı beyaz renkli çatlaıklı, yer yer tabakalanmalı tüfit Kahverengimsi yeşil renkli çatlaıklı limonit sıvımalı aglomera Griimsi yeşil renkli, saçılmalı pirit içeren çoğunlukla altere andezitler (Thas : siilesmiş)	
		Üst Olig - Alt Miy	Eybek granitoidi		Peg	Açık-koyu gri, pembemsi renkli altere granit, granodiyorit ve monzodiyorit	
PALEOZOYİK	PERMOTRIYAS	MESOZ.	Kalabak	± 500 - 700	Pzş Pzm Pzmd Pzmk Pzş	Pzm : Karbonatlı kayaçlar Pzmd : Metadiyabaz daykan Pzmk : Meta kumtaşları Pzş : Epidot-serizit grafitist Serizit şist Pb-Zn-Cu cevherleşmeleri	
					Pbg	Koyu renkli, bazı örnekleri foliyasyonlu, diyorit ve granodiyoritler	
DEVONİYEN			Çamlık granitoidi	± 1100			

Şekil 2. Çalışma alanına ait stratigrafik kolon kesit (Tufan, 1993'den değiştirilerek alınmıştır).
Figure 2. Stratigraphic columnar section of the study area (modified from Tufan, 1993).

Granatlar renksiz-yeşil renklerde görülmekte olup kesitlerde özşekilli-yarı özşekilli, inceden-iri taneliye kadar değişen boyutlardadır ve hem izotrop hem de anizotrop özellikler sergilemektedirler. İzotrop granatlar genellikle orta-iri tane boyutlarında görülürken, anizotrop granatlar ince-orta tanelidir. Bazı izotrop granatlar kenar zonları boyunca anizotrop granatlara dönüşürken, bazı granatlarda ise merkezden dışa doğru birden fazla izotropi-anizotropi özelliği görülmüş ve bu da granata zonlu bir yapı özelliği kazandırmıştır. Akıska (2010) tarafından zonlu granatlar üzerinde yapılan SEM-EDS çalışmalarında bu zonlanmaların Al ve Fe element değişimlerinden kaynaklandığı saptanmış olup bunlar grossular-andradit türü granatlar olarak isimlendirilmiştir. Granatlar damarlar içerisinde hem dizili hem de

saçınımlı şekilde görülmektedir (Şekil 3e). Bazı granatlar ise epidota dönüşmüştür. Granatların hem kuvarsın hem de sfaleritin içinde kapanımları izlenmektedir.

Johansenit-hedenberjit türü piroksenler özellikle Handeresi bölgesindeki galerilerde makro ölçekte tespit edilmişlerdir. Genellikle çubuksu, ışınal, yassı prizmatik, yelpaze ve yıldız şekilli (Şekil 3f) gruplar halinde görülen johansenit-hedenberjit birlikteliği çoğunlukla iri taneli, bazen de ince-orta tanelidir (Şekil 3g). Bazı ışınal-yassı prizmatik türleri karbonatlaşarak kırmızımsı-turuncu renk kazanmışlardır. Bazı kesitlerde de ışınal karbonatlar görülmektedir. Bunların içerisinde johansenit-hedenberjit pseudomorfoları ve bazen de reliklerinin izlenmesi, olasılıkla



Şekil 3. a) Hafif kıvrımlanma gösteren epidot-grafit şist içerisindeki kuvars, epidot ve grafit taneleri (çift nikol), b) Kalk şist içerisindeki kalsit taneleri ve bu kayacı kesen geç evre kalsit damarı (çift nikol), c) Kuvars, ortoklaz, serizit ve opak mineral içeren metakumtaşı (çift nikol), d) Orta-iri taneli, özşekilli-yarı özşekilli kalsit mineralleri içeren mermer (çift nikol), e) İçerisinde kalsit ve zonlu granatlar bulunan damar (çift nikol), f) İnce taneli yıldız şekilli klinopiroksenler (Mn-hedenberjit-johansenit) ve cevher mineralleri (tek nikol), g) Cevherli alterasyon zonu (tek nikol), h) Bol miktarda orta taneli epidot içeren cevherli kuvars damarı (çift nikol). (Kısaltmalar: Ku: kuvars, Or: ortoklas, Ep: epidot, Gr: grafit, Ka: kalsit, Op: opak mineral, Se: serizit, Gar: granat, Pir: klinopiroksen, Ga: galenit, Sf: sfalerit).

Figure 3. a) Quartz, epidote, and graphite in slightly folded epidote-sericite-graphite schist (crossed nicols), b) Calcite grains in calc schist and the late stage calcite vein cutting calc schist (crossed nicols), c) Quartz, orthoclase, sericite, and opaque minerals in metasandstone (crossed nicols), d) medium-coarse grained, idiomorph-hipidiomorph calcite minerals in marble (crossed nicols), e) The vein including calcite and zoned garnet (crossed nicols), f) Fine grained, star-shaped clinopyroxene (Mn-hedenbergite-johannsenite) and ore minerals (parallel nicols), g) Ore-alteration zone (parallel nicols), h) Ore bearing quartz vein containing a plenty of medium-grained epidote (crossed nicols). (Abbreviations: Ku: quartz, Or: orthoclase, Ep: epidote, Gr: graphite, Ka: calcite, Op: opaque mineral, Se: sericite, Gar: garnet, Pir: clinopyroxene, Ga: galena, Sf: sphalerite).

ilksel johansenit-hedenberjitlerin karbonatlaşmaları sonucu oluştuklarına işaret etmektedir. Diğer bir piroksen minerali olarak da genellikle renksiz ve yarı özşekilli görülen diyopsit bileşimli piroksenler belirlenmiştir. Bu minerallere kesitlerde oldukça az rastlanmaktadır.

Epidotlar, ince-orta taneli özşekilsiz ya da ince çubuksu taneler şeklinde görülmektedir. Bazı bölgelerde gruplar halinde görülen epidotlar tür olarak klinozoisit ve pistaşit türündedirler. Genellikle damarlar içerisinde kuvars ve cevher mineralleri ile birlikte bulunurlar (Şekil 3h). Pistaşit türünde olanlar sarımsı yeşil renklerde olup yüksek girişim renkleri gösterirken, klinozoisit mineralleri ise tipik olarak mürekkep mavisi renginde girişim renklerine sahiptir. Bazı epidotlar klorite dönüşmüş şekilde görülmektedir.

Cevherle birlikte görülen kuvarslar ve kalsitler kesitlerin büyük kısımlarını kaplarken, çoğunlukla iri taneli ve özşekilli-yarı özşekillidir. Bazı bölgelerde cevherli minerallerin etrafını saran ya da aralarını doldurur şekilde izlenen bu mineraller bazen de kırık-çatlak dolguları halinde izlenmektedir. Özellikle kırık-çatlak dolgusu şeklinde izlenen kuvarslar yalnızca cevher minerallerini değil, aynı zamanda bölgede izlenen tüm oluşumları keser şekilde gelişmişlerdir. İçerisinde herhangi bir cevher mineraline rastlanmayan bu dolgular, olasılıkla en son evre kuvars ve kalsitlerine karşılık gelmektedir.

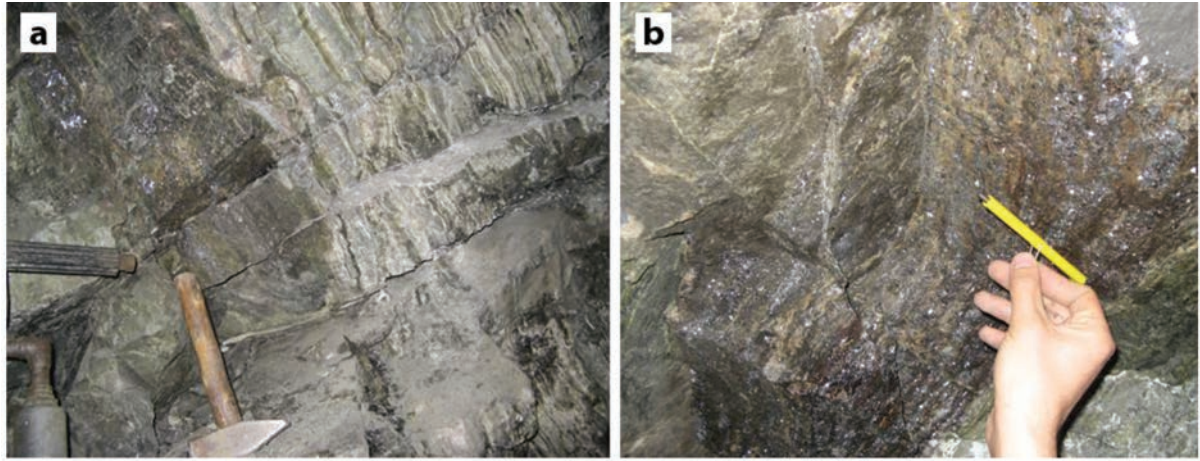
CEVHERLEŞME ve ALTERASYON

Çalışma alanlarındaki cevherleşmeler genellikle mermer-kalk şistlerin içerisinde ve bunların yan kayaçlarla (grafit şist, metakumtaşı) dokanakları boyunca, hem litolojik hem de yapısal kontrollü olarak izlenmektedir (Şekil 4). Handeresi bölgesinde fayların genel doğrultuları KD-GB yönelimlidir. Bölgedeki cevherleşmelerin konumları da bu doğrultulara uyum sağlamaktadır. Bölgede gözlenen bu faylanmalar, antiklinal ve senklinal oluşumları ile ilişkili kırılanmalar ve şistozite düzelemleri, cevherleşme için uygun alanları oluşturmuştur. Bu bölgede gözlenen şistozite düzelemleri genellikle $K30^{\circ}-70^{\circ}D/20^{\circ}-72^{\circ} KB'$ 'dir. Bağırkaçdere bölgesinde fayların genel doğrultuları KB-GD yönelimlidir. Cevherleşmeler de genel olarak bu doğrultulara paralel gelişmiştir.

Özellikle bölgedeki en büyük galeri olan Bağırkaçdere (BG) galerisinde görülen ana cevherleşmenin iki tarafı faylarla kontrol edilmektedir. Bölgedeki metamorfik kayaçların şistozite düzelemleri, faylara yaklaşık paralel olarak izlenmekte olup, cevherleşme için uygun bir ortam sağlamıştır. Şistozite düzelemlerinin genel yönelimleri $K50^{\circ}-65^{\circ}B/30^{\circ}-53^{\circ} KD'$ 'dir. Fırıncıkdere bölgesinde görülen cevherleşmeler de diğer iki bölgede izlenen cevherleşmeler gibi hem fay düzelemleri boyunca hem de kayaçlardaki şistozite düzelemleri boyunca gelişmiştir. Bu bölgedeki fayların genel doğrultuları KD-GB ve KB-GD iken şistlerin şistozite düzelemleri ise $K10^{\circ}-75^{\circ}D/28^{\circ}-40^{\circ} GD'$ 'dir.

Bölgedeki alterasyon mineralleri ve cevherleşmeler üzerinde yapılan ayrıntılı polarizan-cevher mikroskobisi çalışmaları Akıska (2010) ve Akıska vd. (2013)'de sunulmuştur. Burada cevher ve alterasyon minerallerinin kısaca parajenez ve süksasyonlarından bahsedilerek (Şekil 5) özellikle sıvı kapanım çalışmalarında ve C-O izotop analizlerinde kullanılan minerallerin birbirleri ile ilişkileri üzerinde durulacaktır.

Yapılan petrografik ve cevher mikroskobisi çalışmalarında susuz silikat minerallerinin ilk oluşan silikat mineralleri oldukları bir başka ifade ile bunların cevherleşmeden önce oluştukları tespit edilmiştir. Akıska (2010) ve Akıska vd. (2013) tarafından yapılan çalışmalarda klinopiroksen minerallerinin Mn-hedenberjit ve johansenit bileşiminde oldukları saptanmıştır (çok nadiren diyopsit de görülebilmektedir). Granat mineralleri ile eş zamanlı veya daha geç oluşan klinopiroksenlere kuvars ve kalsit ile cevher mineralleri (galenit, sfalerit, kalkopirit) eşlik etmiştir. Cevher mineralleri çoğunlukla retrograd evreye özgü sulu kalk silikat mineralleri (aktinolit-tremolit ve epidot) ile birlikte bulunmakta olup ana cevher mineralleri olan sfalerit, galenit ve kalkopirit ile eş zamanlı oluşmuşlardır. Bölgede gözlenen kuvars ve kalsit mineralleri ise iki farklı safhada gelişmiştir. Bunlardan kuvars-I ve kalsit-I olarak isimlendirilen mineraller cevherleşme ile ilişkili olup genellikle cevher ve alterasyon mineralleri ile birlikte bulunmaktadır. Aynı zamanda yan kayaç içerisinde de damar dolguları şeklinde gözlenen bu minerallere cevher mineralleri eşlik eder. Kuvars-II ve kalsit-II



Şekil 4. a) Kalk şist içerisinde gözlenen litoloji kontrollü cevherleşme, b) Fay zonu içerisinde gözlenen yapısal kontrollü cevherleşme.

Figure 4. a) Lithologically controlled mineralization in calc schist, b) Structurally controlled mineralization in fault zone.

	Prograd Evre	Retrograd Evre	Geç Evre
Granat	■		
Piroksen	■		
Manyetit		■	
Epidot		■	
Amfibol		■	
Kuars-I		■	
Kalsit-I		■	
Pirit		■	
Arsenopirit		■	
Sfalerit		■	
Kalkopirit		■	
Galenit		■	
Hematit			■
Kuars-II			■
Kalsit-II			■

Şekil 5. Çalışma alanında izlenen minerallerin parajenez ve süksesyonları (Akıska vd., 2013).

Figure 5. The paragenesis and the successions of minerals in the study area (Akıska et al., 2013).

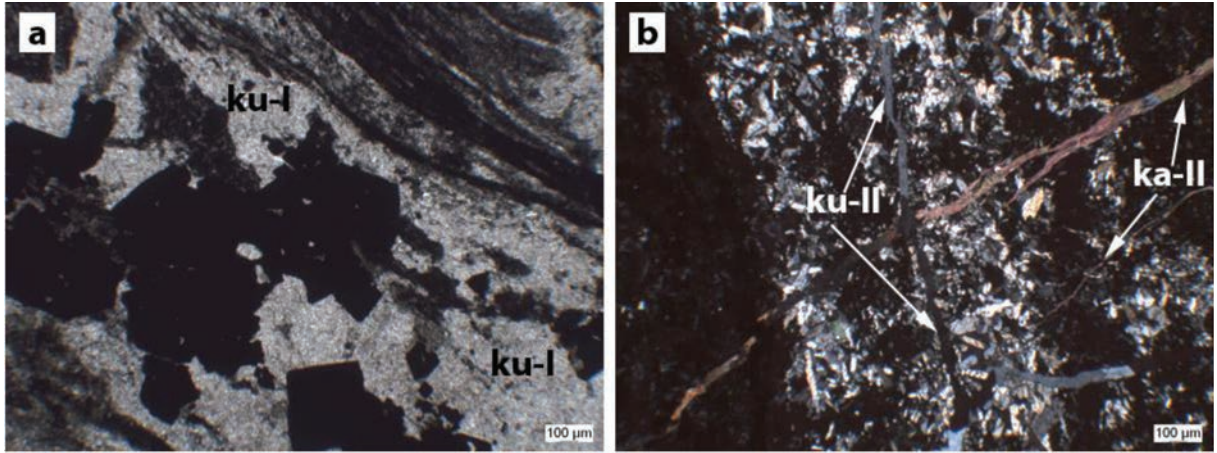
olarak tanımlanan diğer bir jenerasyon ise geç evreye ait minerallerden oluşmaktadır. Bunlar ise kırık ve çatlak dolguları şeklinde görülmekte olup tüm cevher ve alterasyon zonlarını ve hatta tüm yan kayaçları da kesmektedirler. Damar dolgusu şeklinde gözlenen bu mineraller hiçbir cevher minerali içermemektedir (Şekil 6).

MATERYAL ve YÖNTEM

Sıvı kapanım çalışmaları Ankara Üniversitesi Sıvı Kapanım Laboratuvarı, UNLV (University

of Nevada, Las Vegas) ve MTA Analiz Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Sıvı kapanım için hazırlanan örnekler standart 28x48x1mm ebadındaki lam üzerine entellan ile yapıştırılarak incelenecek mineralin şeffaflığına göre yaklaşık 60-100 µm kalınlıkta hazırlanarak çift taraflı parlatılmıştır.

Ankara Üniversitesi Sıvı Kapanım Laboratuvarı'nda ve MTA Analiz Laboratuvarları'nda sıvı kapanım çalışmaları için benzer sistemler kullanılmaktadır. Linkam MDSG 600 (motorize) ısıtma ve soğutma



Şekil 6. a) Epidot-serizit-grafit şist içerisindeki şistozite düzlemine paralel şekilde yerleşmiş cevherli kuvars damarları (tek nikol), b) Tüm sistemi kesen son evre, cevhersiz kuvars ve kalsit damarcıkları (çift nikol) (Kısaltmalar: ku-I: kuvars-I, ku-II: kuvars-II, ka-II: kalsit-II).

Figure 6. a) Ore bearing quartz vein located parallel to the schistosity in the epidote-sericite-graphite schist (parallel nicols), b) Late stage barren quartz and calcite veinlets cutting all the rocks (crossed nicols) (Abbreviations: ku-I: quartz-I, ku-II: quartz-II, ka-II: calcite-II).

tablası, Leica DM 2500 M mikroskoba monte edilmiştir. İncelemeler için 20x ve 50x büyütme objektifler kullanılmıştır. Linkam MDSG 600, tam otomatik ve programlanabilen bir sistemdir. Programlanabilmesi için bilgisayar ortamında Linksys32 isimli yazılım kullanılmaktadır. Linkam tablasının sıcaklık aralıkları -196 °C ile 600 °C arasında değişmektedir. Isıtma ve soğutma hızı 0,1 °C/dk'dan 150 °C/dk'ya kadar çıkmaktadır. Soğutma işlemlerinde ise sıvı azot (N₂) kullanılmaktadır. Cihaz, sentetik saf H₂O ve H₂O-NaCl sıvı kapanım standartları ile kalibre edilmiştir. Bu standartlarla yapılan deneylerde sıvı kapanım jeotermometresi için doğruluk ölçümleri; H₂O homojenleşme sıcaklığı (T_{H₂O}) ± 4,0 °C, H₂O son buz ergime (T_{m_{H₂O}}) ± 0,1 °C ve H₂O-NaCl ötektik sıcaklık (T_e) ± 0,8 °C olarak bulunmuştur.

UNLV Sıvı Kapanım Laboratuvarı'nda sıvı kapanım petrografisi oda sıcaklığında uygulanmakta olup kapanım kökeni ve türü tespit edilmektedir. Sıvı kapanım birliktelikleri (FIAs) Goldstein ve Reynolds (1994) ölçütleri kullanılarak tanımlanmaktadır. Homojenleşme ve buz ergime sıcaklıkları, LinkSys yazılımı (version 1.83), LNP soğutma pompası ve Cl93 programlayıcısı ile kontrol edilen Olympus BX60 marka mikroskoba monte edilmiş Linkam THMSG 600 marka ısıtma ve soğutma tablası ile ölçülmektedir.

Sistem, -56,6 °C, -21,2 °C, -10,7 °C, 0,0 °C ve 374,1 °C sıcaklıkları için Syn Flinc'den sentetik sıvı kapanım standartları kullanılarak kalibre edilmektedir. Tabla kalibrasyonu analizden önce kontrol edilmektedir.

Karbonatlardaki karbon ve oksijen izotop analizleri ise University of Arizona, Environmental Isotope Laboratory'de yapılmıştır. Örneklerin hazırlanma biçimleri, ilgili laboratuvarla görüşülerek belirlenmiştir. Örnekler öncelikle çeneli kırıcıda 0,5 cm. kalınlığında kırılmıştır. Daha sonra ise binoküler mikroskop altında ince uçlu cımbız ile ayırtlanmış olup yaklaşık 1'er gramlık paketler halinde laboratuvara gönderilmiştir. Karbonatların δ¹⁸O ve δ¹³C değerleri, bir gaz-oran spektrometresi (Finnigan MAT 252) ile birleştirilmiş, otomatikleştirilmiş karbonat hazırlama aleti (KIEL-III) kullanılarak ölçülmüştür. Toz haline getirilmiş örnekler, 70°C'de bir vakum altında dehidrate fosforik asit ile tepkimeye sokulmuştur. İzotop oran ölçümü, NBS-19 ve NBS-18 standartları ile tekrarlanan ölçümler baz alınarak kalibre edilmiş olup hassasiyeti δ¹⁸O için ± ‰ 0.1 ve δ¹³C için ± ‰ 0.06'dır (1sigma).

SIVI KAPANIM ÇALIŞMALARI

Yapılan sıvı kapanım analizlerinde klinopiroksen (Mn-hedenberjit ve johansenit), sfalerit, kuvars ve kalsit mineralleri incelenmiş olup tüm

minerallerde analizler birincil kapanımlarda gerçekleştirilmiş olup elde edilen veriler özet halinde Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Klinopiroksen minerallerinde (Mn-hedenberjit ve johansenit) yaygın olarak birincil kökenli tek fazlı (sıvı) kapanımlar görülmekte olup daha az miktarlarda da iki fazlı (sıvı+gaz) kapanım izlenmiştir. Mikrotermometrik ölçüm yapılan birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların boyutları 15-35 μm arasında değişmektedir. Kapanımlarda sıvı fazın gaz faza oranı fazla olup kapanımlar sıvı faza homojenleşmişlerdir (Şekil 7). Klinopiroksenlerde birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan ölçümler sonucunda tespit edilen homojenleşme sıcaklıkları 300 °C ile 340 °C arasında yer almaktadır. Ölçülen son buz ergime sıcaklıkları ise -5,1 ile -3,4 °C değerleri arasında olup bunlara karşılık gelen tuzluluk değerleri ise 5,6 ile 8 arasında değişen % NaCl eşdeğeridir (Bodnar, 1993).

İncelenen bal renkli sfalerit minerallerinin demir içeriği düşük olup kapanımlar genellikle düzensiz şekilde dağılım göstermekte iken nadiren de olsa sfaleritlerin büyüme zonlarına paralel gelişenleri de gözlenebilmektedir. Oda sıcaklığında tüm kapanımların sıvı (L) veya sıvı (L) + gaz (G) olmak üzere iki fazlı kapanımlar oldukları tespit edilmiştir. Demir içeriği düşük sfaleritler çoğunlukla ince kristalli olduklarından kapanımlar nispeten küçük boyutludur. Sfaleritlerde genellikle birincil ve ikincil kökenli kapanımlar görülmektedir. Bu sfaleritlerde de tek fazlı (gaz) kapanımlar yüksek bollukta izlenirken, iki fazlı kapanımlar (sıvı+gaz) ise daha azdır (Şekil 8a). Tek fazlı (sıvı) kapanımlar oldukça eser oranlarda olup bazı kapanımlarda boyunlanmalar (necking down) gözlenmiştir. Özellikle tek fazlı

(sıvı) kapanımlar boyunlanmalar sonucu iki fazlı bir hal almıştır (Şekil 8b). Ölçüm yapılan birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda sıvı fazın gaz faza oranı fazla olup kapanımlar sıvı faza homojenleşmiştir. Yer yer gaz fazın fazla olduğu kapanımlar da saptanmıştır. Genellikle kapanımların boyutları 4-30 μm arasında değişmektedir. Sfaleritlerdeki iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlarda yapılan mikrotermometrik ölçümler sonucunda elde edilen homojenleşme sıcaklıkları (Th°C) 272-338 °C arasında değişmekte olup kapanımların çok ufak boyutlu olmaları sebebiyle soğutma çalışmaları yapılamamıştır.

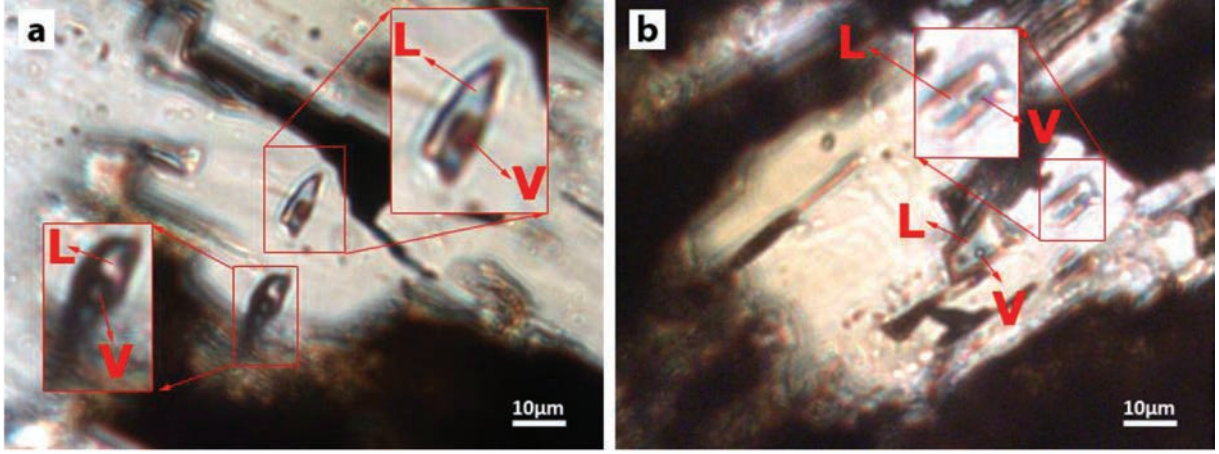
Kuvars minerallerinde yapılan sıvı kapanım çalışmalarında iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların nispeten az olduğu tespit edilmiş olup, tek fazlı (gaz) kapanımlar ise daha az orandadır. Ölçüm yapılan birincil kökenli iki fazlı kapanımların boyutları 8-40 μm arasındadır (Şekil 9). Kapanımlarda sıvı fazın gaz faza oranı oldukça fazladır ve kapanımlar sıvı faza homojenleşmiştir. Kuvarslarda iki fazlı kapanımlarda yapılan mikrotermometrik ölçümler sonucunda elde edilen homojenleşme sıcaklıkları 157 °C ile 319 °C arasında değişmektedir. Ölçülen son buz ergime sıcaklığı değerleri ise -0,8 °C ile -5,9 °C arasında değişmekte olup bunlara karşılık gelen tuzluluk değerleri ise 1,4 ile 9,1 arasında değişen % NaCl eşdeğeridir (Bodnar, 1993).

İncelenen kalsit mineralleri de tıpkı sfaleritlerde olduğu gibi oldukça ince kristallidir. Bu nedenle kapanımların boyutları oldukça küçüktür. Kalsitlerde yaygın olarak birincil ve ikincil kökenli tek fazlı (sıvı) kapanımlar görülmekte olup oldukça eser miktarda iki fazlı kapanım izlenmiştir (Şekil 10). Kapanımların boyutları genellikle 2-8 μm arasında değişmektedir. Ölçüm

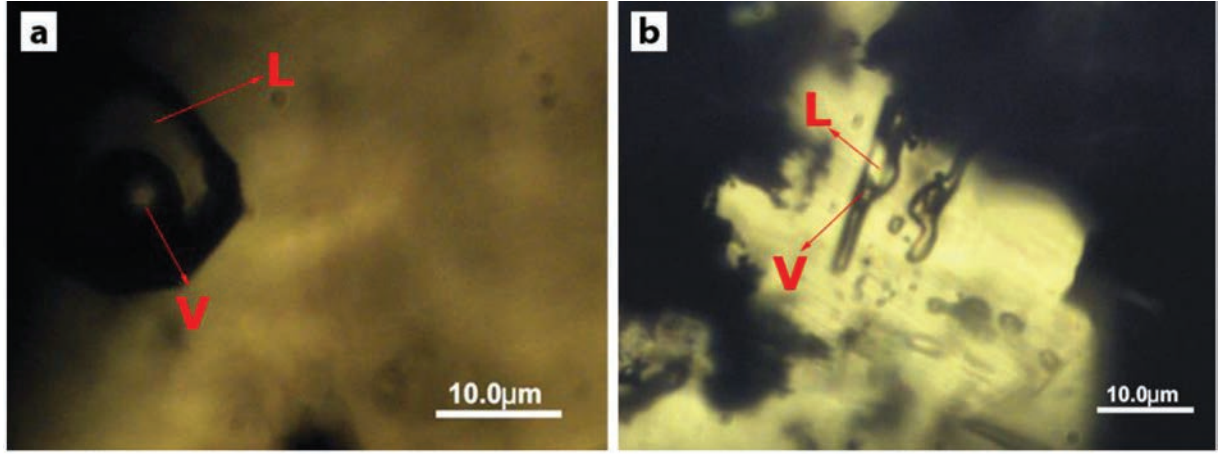
Çizelge 1. Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere yataklarına ait sıvı kapanım verileri.

Table 1. Fluid inclusion data for Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere deposits.

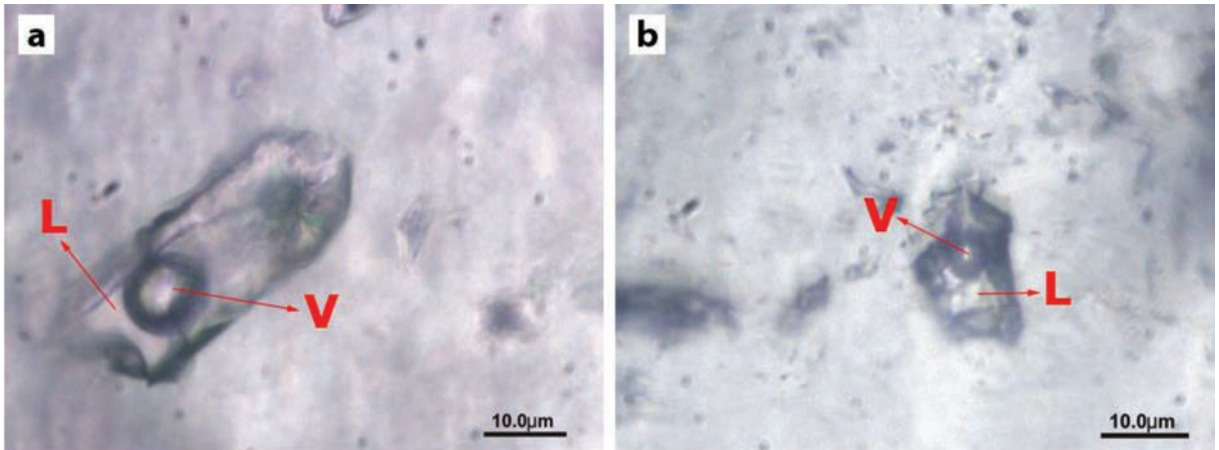
Mineral	Kapanım Sayısı	Tuzluluk (% NaCl eşdeğ.)	Th (°C)
Piroksen	20	5,6-8	300-340
Sfalerit	6	-	272-338
Kuvars-I	26	1,4-9,1	157-319
Kalsit-II	3	-	68-75



Şekil 7. a, b) Klinopiroksenlerde görülen iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar.
 Figure 7. a, b) Clinopyroxene consists of two-phase (l+v) fluid inclusions.



Şekil 8. a) Sfaleritler içerisindeki iki fazlı birincil sıvı kapanımı, b) Boyunlanma (necking down) nedeniyle iki fazlı bir durumda gözlenen sıvı kapanımları.
 Figure 8. a) Sphalerite consists of two-phase primary fluid inclusion, b) The occurring of two-phase fluid inclusions because of the necking down.



Şekil 9. a, b) Kuvarslarda görülen iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar.
 Figure 9. a, b) Quartz consists of two-phase (l+v) fluid inclusions.

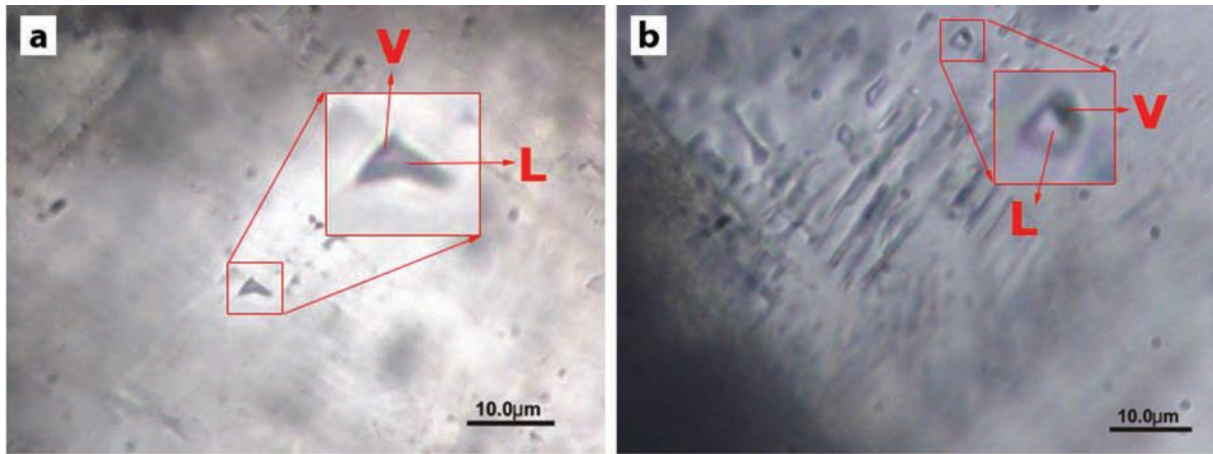
yapılan eser orandaki iki fazlı kapanımlarda sıvı fazın gaz faza oranı oldukça yüksektir ve kapanımlar sıvı faza homojenleşmiştir. Kalsit kristallerinde incelenen sıvı kapanımlarında yaygın olarak hem birincil hem de ikincil kökenli tek fazlı (sıvı) kapanımların izlenmesi ve iki fazlı kapanımların tek fazlı kapanımlara göre oldukça eser oranda bulunması, ortamın sıcaklığının 100°C'nin altında olduğunu düşündürmektedir (Roedder, 1984). Kalsitlerde yapılan mikrottermometrik ölçümler de bu savı desteklemekte olup elde edilen homojenleşme sıcaklık değerleri 68°C ile 75°C arasında yer almaktadır. Kapanımların oldukça küçük olması nedeniyle soğutma çalışmaları yapılamamıştır.

DURAYLI İZOTOP ÇALIŞMALARI

Çalışma alanında cevherleşme ile ilişkili karbonatlardan alınan 6 adet örnek üzerinde karbon ve oksijen izotop analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2 ve Şekil 11'de verilmiştir. $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değerleri üç farklı alanda dağılım göstermekte (‰ -3,9 ile ‰ -3,7 arası, ‰ -1,6 ile ‰ -1 arası ve ‰ +0,6) iken, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ değerleri ise iki farklı alanda izlenmektedir (‰ 1,82 ile ‰ 2,97 ve ‰ 5,09 ile ‰ 12,76 arasında).

TARTIŞMA

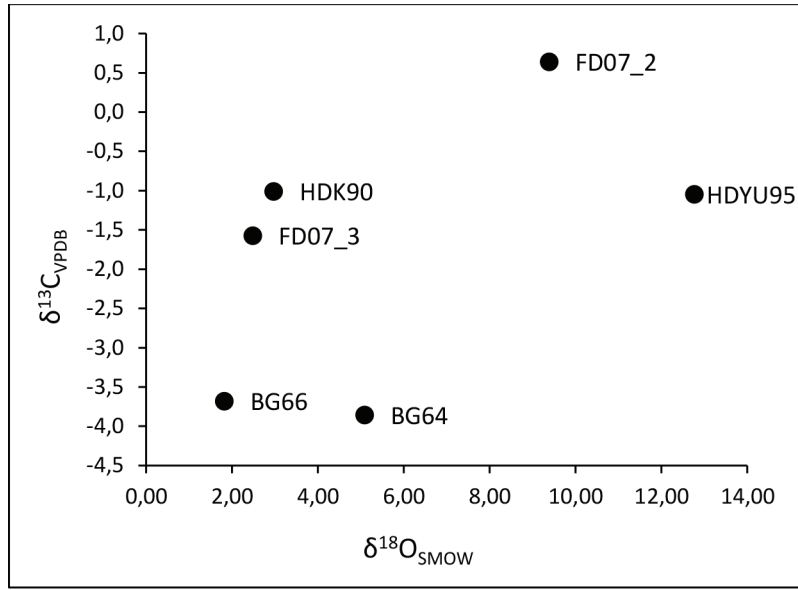
Yapılan arazi gözlemleri ve petrografi çalışmaları ile birlikte Akıska (2010) ve Akıska vd., (2013) tarafından yapılan diğer çalışmalar, bölgede yer



Şekil 10. a, b) Kalsit mineralinde gözlenen çok küçük boyutlardaki tek fazlı ve iki fazlı birincil kapanımlar.
Figure 10. a, b) Very tiny monophase and two-phase primary inclusions in calcite.

Çizelge 2. Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere yataklarındaki cevherle ilişkili kalsitlerin (kalsit-I) $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri.
Table 2. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of calcite minerals (calcite-I) associated with the mineralizations in Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere deposits.

	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
FD07_2	0,6	9,38
FD07_3	-1,6	2,48
BG66	-3,7	1,82
BG64	-3,9	5,09
HDK90	-1,0	2,97
HDYU95	-1,0	12,76

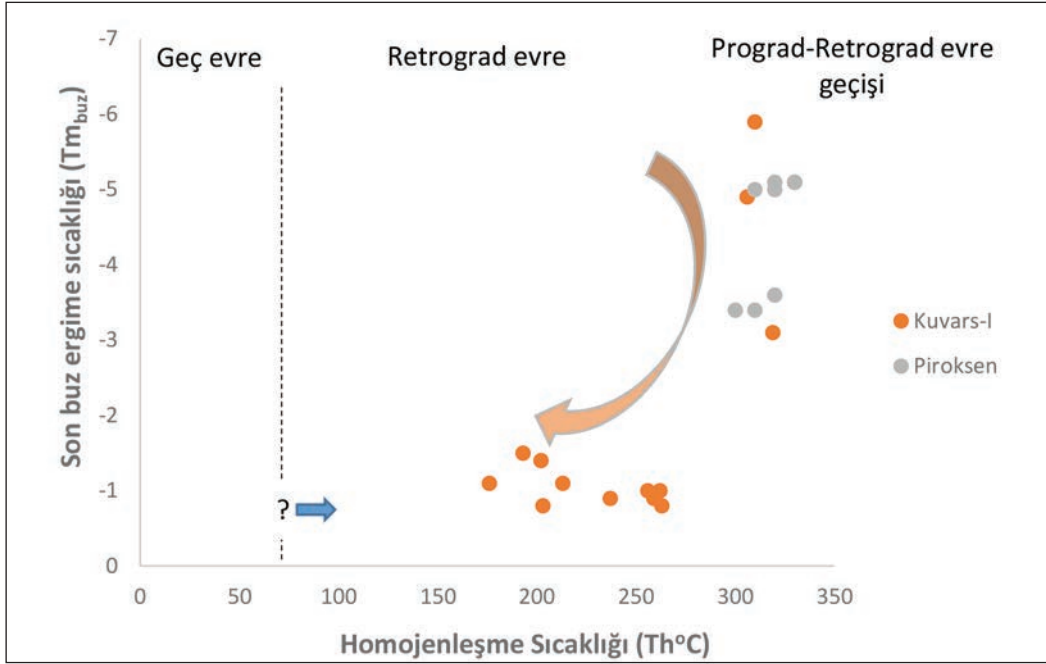


Şekil 11. Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere yataklarındaki cevherle ilişkili kalsitlerin (kalsit-I) $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ diyagramı.

Figure 11. $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ diagram of calcite minerals (calcite-I) associated with the mineralization in Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere deposits.

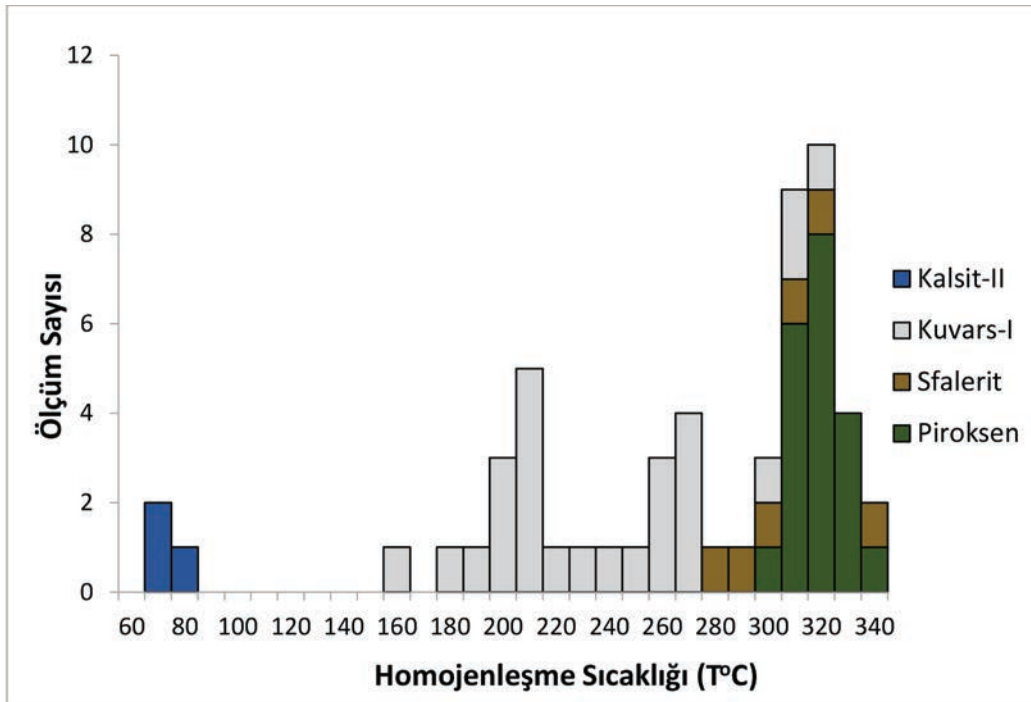
alan skarn oluşumları ve cevherleşmesinden sorumlu olan akışkanın magmatik kaynaklı olabileceğini göstermektedir. Sıvı kapanım sonuçlarından alınan bilgiler de yine benzer bir sonucu ortaya koymak ile birlikte (Şekil 12 ve 13) ilerleyen aşamalarda akışkana belli bir miktar da meteorik su eklendiğini ve akışkanı evrimleştirdiğini göstermektedir. Sonuçlar, bölgedeki bu oluşumları meydana getiren akışkanın yaklaşık 340 °C veya üzerindeki bir sıcaklığa ve yaklaşık % 9 NaCl eşdeğeri bir tuzluluğa sahip olduğunu ve sıcaklığın düşmesi ile ilk olarak piroksen ile birlikte kuvars minerallerinin çökeldiğini işaret etmektedir. Bu akışkanın kökeni olasılıkla magmatik kaynaklıdır. Daha önceki yapılan çalışmalarda bölgedeki galenit, sfalerit ve kalkopirit minerallerinin S izotop değerlerinin 0'a çok yakın ve dar bir aralıkta (% -1,2 ile % +1,7 arasında) yer aldığı, Pb izotop verilerinin de olası köken olarak bölgedeki magmatizmaya işaret ettiği (ayrıca çevre kayalardan da belli bir miktar katkı olabileceği) belirtilmiştir (Akıska, 2010; Akıska vd., 2013). Gerek Pb ve S izotop çalışmalarındaki verilerin gerekse cevherleşme ile ilişkili kalsitlerde yapılan C-O izotop oranları ilksel kaynak olarak magmatik kökene işaret etmektedir. Burada akışkanın %9 NaCl eşdeğeri bir tuzluluğa

varan değerler göstermesi (düşük-orta tuzluluk) magmatik köken için biraz tartışmalı olabilir. Ancak yapılan birçok çalışma (örn. Prokofiev vd., 1999; Heinrich, 2005; Audétat vd., 2008) skarn ve hatta porfiri sistemlerinde bile düşük tuzlulukta magmatik kökenli akışkanların varlığını ortaya koymuştur. Sıcaklığın yaklaşık 300 °C'nın altına düşmesi ile de daha seyrek olan meteorik sular sisteme katılarak akışkanın tuzluluk değerlerinin azalmasına sebep olmuşlardır. Bu bulgular cevher mikroskobisi verileri ile karşılaştırıldığında kuvars ve piroksen minerallerinin bir arada oluşabilecekleri ortamın yaklaşık olarak prograd evrenin sonu ile retrograd evrenin başı arasında yer aldığı görülmektedir. Cevher mikroskobisi verileri ve sfaleritlerde yapılan mikrotermometrik ölçümlerle elde edilen 272-338 °C arası homojenleşme sıcaklıkları, cevherleşmenin olasılıkla prograd-retrograd geçişi ile başlayıp, retrograd evreye doğru devam etmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, bahsi geçen kuvars minerallerinin cevherleşme ile ilişkili olan kuvars-I minerallerinden seçilmiş olmasıdır. Benzer şekilde mikrotermometrik ölçümleri yapılan kalsitler de cevherleşmeden sonraki geç evreyi temsil eden kalsit-II minerallerinden seçilmiştir. Bu



Şekil 12. Piroksen ve cevherleşme ile ilişkili kuvarslara ait birincil kapanımlardaki sıvıların homojenleşme sıcaklıklarına (T_h) karşı son buz ergime sıcaklıkları ($T_{m_{buz}}$).

Figure 12. Diagram of homogenization temperature (T_h) versus last melting temperature ($T_{m_{buz}}$) for primary inclusions in pyroxene and quartz associated with the mineralization.



Şekil 13. Skarn, cevher ve damar minerallerinin homojenleşme sıcaklıklarını gösteren histogram.

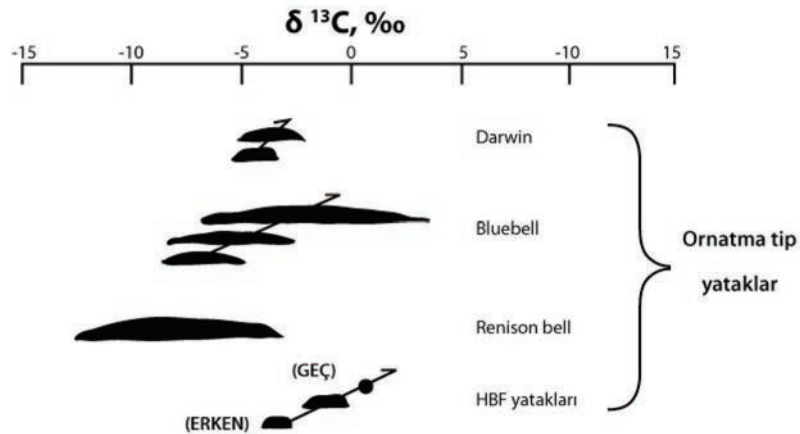
Figure 13. Histogram of the homogenization temperatures of skarn, ore, and vein minerals.

minerallerden yapılan ölçümlerden elde edilen en yüksek değer olan 75 °C ve bunun altındaki değerlerin de "Geç Hidrotermal Evre"'yi temsil ettikleri düşünülmektedir. Ancak geç evreye ait verilerin sınırlı olması sebebiyle bu evrenin üst sınırı tam olarak tespit edilememiş olup ısının daha da yüksek sıcaklıklara kadar çıkabileceği göz önüne alınmalıdır (Şekil 12).

$\delta^{13}\text{C}$ değerlerinden ‰ $-5 \pm 2,5$ 'e değerine yakın olanlar magmatik kökenli karbona karşılık gelirken (Deines ve Gold, 1973) 0 ‰ değerine yakın olan $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ise denizel karbonatlardan katkıya işaret etmektedir (Ohmoto ve Rye, 1979). Ornatma ile ilişkili yataklardaki geç evre karbonat minerallerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerindeki artışlar, $\delta^{13}\text{C}_{\text{akışkan}}$ değerinin cevherleşmenin son aşamasında yükseldiğini göstermektedir (Şekil 14). Bu yükselişin de muhtemel sebebi kireçtaşlarının erimesi veya dekarbonizasyondur. Çünkü çalışılan yataklar ya kireçtaşları içerisinde ya da kireçtaşlarına yakın alanlarda oluşmuştur. Bağırkaçdere örneklerinin (BG64 ve BG66) karbon izotop bileşimleri -5 ‰ değerine yakın oldukları için magmatik kökenli karbonu, Handeresi ve Fırıncıkdere örneklerinin karbon değerleri ise (HDK90, HDYU95, FD07_2 ve FD07_3) ‰ 0 civarında olduğundan denizel karbonatlardan karbon getirimini akla getirmektedir. Handeresi ve Fırıncıkdere örneklerindeki karbonun bir kısmı cevherleşmenin yan kayacı olan rekristalize

kireçtaşlarından kaynaklanmış olabilir. Şekil 11 ve 14'de görüldüğü gibi bölgedeki karbon izotoplarının dağılımı, BG64 ve BG66 örneklerindeki magmatik kökenli $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin erken safhayı temsil ettiğini, daha sonraki safhada HDK90, HDYU95 ve FD07_3 örneklerindeki magmatik karbona, rekristalize kireçtaşlarındaki karbonun katılması ile $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinde bir miktar artışın olduğunu ve en geç safhayı temsil eden FD07-2 örneğine ise rekristalize kireçtaşlarından eklenen karbonun baskın hale gelmesi ile $\delta^{13}\text{C}$ değerinin daha da yükseldiğine işaret etmektedir.

Taylor (1979)'a göre, ilksel magmatik sıvıların $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ değerleri ‰ $+5,5$ ile ‰ $+10$ arasındadır. Çalışma alanında iki farklı grup halinde izlenen oksijen izotop değerlerinden $\geq$ ‰ 5 olanlar magmatik kökenli oksijeni ifade etmektedir. $\delta^{18}\text{O}$ değeri $<$ ‰ 5 olan örnekler ise muhtemelen meteorik suların sisteme katıldığını göstermektedir. Özellikle Pb-Zn skarn yataklarının plütonun en distal zonunda yer alması ve diğer skarn zonlarına göre daha sığ kesimlerde gelişmesi meteorik su etkisini gündeme taşımaktadır (Shimazaki vd., 1986). Ayrıca burada yapılan sıvı kapanım çalışmalarında belirlendiği gibi, retrograd evreden itibaren sisteme meteorik su infiltrasyonunun gerçekleşmesi de bu savı destekler niteliktedir.



Şekil 14. Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere yatakları ve bazı ornatma tip yatakların karbon izotop verilerinin şematik gösterimi (ornatma tip yatakların verileri Ohmoto ve Rye (1979)'dan alınmıştır).

Figure 14. Schematic representation of carbon isotope data of Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere deposits and some replacement deposits (the data of the replacement deposits is given from Ohmoto and Rye, 1979).

SONUÇLAR

Bu çalışmada Biga Yarımadası'nda yer alan Handeresi, Bağırkaçdere ve Fırıncıkdere yataklarından toplanan örneklerden elde edilen sıvı kapanım bulguları ve C-O izotop verileri yardımı ile söz konusu yataklarda skarn ve cevher oluşumlarına sebep olan akışkanların kökeni tartışılmıştır. Sonuçlar bu oluşumları meydana getiren akışkanların olasılıkla magmatik kökenli olduğunu ancak prograd-retrograd evre geçişi (~300 °C) ile birlikte meteorik suların sisteme eklenerek tuzluluğu düşürdüğünü göstermiştir. Cevherleşmenin ise, cevher mikroskobisi verileri ile de uyumlu olarak, prograd-retrograd evre geçişinden itibaren oluştuğu tespit edilmiştir. Cevherleşme evresinden sonra geç evrede ayrı bir kalsit ve kuvars jenerasyonu oluşmuş (≥ 75 °C) ve bunlar da tüm kırık-çatlak sistemlerini kullanarak kayaçları kesmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan veriler sınırlı olduğu için, geç evrede meydana gelen bu mineralleri oluşturan akışkanın, skarn ve cevher oluşumlarına sebep olan akışkanın farklılaşması sonucu mu oluştuğu yoksa ayrı bir dönemde ortaya çıkan bir diğer akışkan mı olduğu saptanamamıştır. Karbon izotop verilerine göre cevherleşme ile ilişkili kalsitlerdeki karbon, cevherleşmenin ilk evrelerinde magmatik kökenlidir. İlerleyen evrelerde ise magmatik kökenli bu karbona yan kayaçlardaki denizel rekristalize kireçtaşlarından da karbon eklenmesi ile izotop değerlerinde farklılaşmalar meydana gelmiştir. Yine cevherleşme ile ilişkili kalsitlerdeki oksijen izotop verileri de oksijenin başta magmatik kökenli olduğunu ancak cevherleşmenin ileri aşamalarında meteorik suyun da sisteme eklenerek oksijen izotop oranlarında bir miktar azalmaya (homojenleşme) neden olduğunu göstermiştir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, değerli zamanını ayırarak bu makalenin ilk versiyonunu okuyan ve değerli görüşleri ile makaleye katkı koyan Halim Mutlu'ya, gerek arazi çalışmaları gerekse de verilerin ortaya çıkarılmasında katkıları büyük olan İ.Sönmez Sayılı'ya ve çalışmanın yapım aşamasında sıvı kapanım analizlerine yardımcı olan Jean S. Cliné, Haroldo Lledo ve Ebru Coşkun'a teşekkür

etmeyi bir borç bilirler. Yazarlar, makalenin son şeklini almasında önemli katkıları olan hakemlere (Ali Haydar Gültekin ve diğer anonim hakem) de ayrıca teşekkür etmektedirler.

KAYNAKLAR

- Ağdemir N., Kırıkoğlu S., Lehmann B. and Tietze, J., 1994. Petrology and alteration geochemistry of the epithermal Balya Pb-Zn-Ag deposits, NW Turkey. *Mineralium Deposita*, 29, 366-371.
- Akıska, S., 2010. Yenice (Çanakkale) Bölgesi'ndeki Cu-Pb-Zn oluşumları. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara. (yayımlanmamış).
- Akıska, S., Sayılı, İ.S. and Demirela, G., 2013. Geology, mineralogy and the Pb, S isotope study of the Kalkım Pb-Zn±Cu deposits, Biga Peninsula, NW Turkey. *Journal of Geosciences*, 58 (4), 379-396.
- Akyol, Z., 1977. Balya madeni civarının jeolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 3, 19-27.
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., and Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia. Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- Altınlı, İ.E., 1975. Orta Sakarya Jeolojisi, Cumhuriyet'in 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri, 159-191.
- Anıl, M., 1984. Yenice (Arapuçandere-Kurttaş-Sofular ve Kalkım-Handere) Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinin köken sorunu ve Tersiyer volkanizmasıyla ilişkileri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 20, 17-29.
- Ataman, G., 1975. Plutonisme calc-alkalin d'age Alpin en Anatolie du nordouest. C.R. Acad. Sc. Paris, D 280, 2065-2068.
- Audétat, A., Pettke, T., Heinrich, C.A. and Bodnar, R.J., 2008. Special Paper: The Composition of Magmatic-Hydrothermal Fluids in Barren and Mineralized Intrusions. *Economic Geology*, 103 (5), 877-908.
- Ayan, M., 1979. Geochronological and petrological studies of the Eybek granodiorite

- pluton (Edremit). *Communications*, 22, 19-31.
- Aysal, N., Ustaömer, T., Öngen, S., Keskin, M., Köksal, S., Peytcheva, I. And Fanning, M., 2012. Origin of the Early-Middle Devonian magmatism in the Sakarya Zone, NW Turkey: geochronology, geochemistry and isotope systematics. *Journal of Asian Earth Sciences*, 45, 201-222.
- Beccalotto, L., 2004. Geology, correlations, and geodynamic evolution of the Biga Peninsula (NW Turkey). *Faculté des Sciences de l'Université de Lausanne, Thèse de doctorat*, Lausanne. (unpublished).
- Beccalotto, L. and Jenny, C., 2004. Geology and correlation of the Ezine Zone: a Rhodope fragment in NW Turkey? *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 145-176.
- Bingöl, E., Delaloye, M. and Ataman, G., 1982. Granitic intrusions in western Anatolia: contribution to the geodynamic study of this area. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 75, 437-446.
- Bodnar, R. J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 683-684.
- Bozkaya, G., Gökçe, A. and Grassineau, N.V., 2008. Fluid inclusion and stable isotope characteristics of the Arapuçandere Pb-Zn-Cu deposits, northwest Turkey. *International Geology Review*, 50 (9), 848-862.
- Bozkaya, G. and Gökçe, A., 2009. Lead and sulfur isotope studies of the Koru (Çanakkale, Turkey) lead-zinc deposits. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18, 127-137.
- Bozkaya, G., 2011. Sulphur- and lead-isotope geochemistry of the Arapuçandere lead-zinc-copper deposit, Biga Peninsula, northwest Turkey. *International Geology Review*, 53(1), 116-129.
- Brinkmann, R. 1966. Geotektonische Gliederung von Westanatolien. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte*, 603-618.
- Brinkmann, R., 1971. The geology of western Anatolia. *Geology and History of Turkey*, ed. A.S. Campbell, Petroleum Expl. Soc. Libya, Tripoli., 171-190.
- Çağatay, A., 1980. Batı Anadolu kurşun-çinko yataklarının jeoloji-mineraloji etüdü ve kökenleri hakkında görüşler. *T.J.K. Bülteni*, 28 (2), 119-132.
- Deines, P. and Gold, D.P., 1973. The isotopic composition of carbonatite and kimberlite carbonates and their bearing on the isotopic composition of deep-seated carbon. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1709-1733.
- Delaloye, M. and Bingöl, E., 2000. Granitoids from western and Northwestern Anatolia: Geochemistry and modeling of geodynamic evolution. *International Geology Review* 42, 241-268.
- Demirela, G., 2011. Çataltepe (Lapseki/Çanakkale) Pb-Zn-Cu-Ag yatağının jeolojisi ve kökeni, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara. (yayımlanmamış).
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Dönmez, M., Ilgar, A. ve Akçay, A.E., 2007. 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları-Balıkesir-İ18 paftası. MTA Rapor No: 97, Ankara (yayımlanmamış).
- Ercan, T., 1979. Batı Anadolu, Trakya ve Ege adalarındaki Senozoyik volkanizması, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 10, 117-137.
- Fytikas, M., Giuliani, O., Innocenti, F., Marinelli, G. and Mazzuoli, R., 1976. Geochronological data on recent magmatism of the Aegean Sea. *Tectonophysics*, 31, 29-34.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A., and Villari, L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (eds.). Geological Society Special Publication, 17, 687-699.
- Genç, Ş.C., ve Altunkaynak, Ş., 2007. Eybek graniti (Biga yarımadası, KB Anadolu)

- üzerine: Yeni jeokimya verileri ışığında yeni bir değerlendirme. *Yerbilimleri*, 28(2), 75-98.
- Goldstein, R. H. and Reynolds, T.J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *Society for Sedimentary Geology Short Course*, 31, 199 pp.
- Heinrich, C.A., 2005. The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study. *Mineralium Deposita*, 39, 864-889.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. *MTA Bülteni*, 66, 23-34.
- Krushensky, R. D., 1975. Neogene calc-alkaline extrusive and intrusive rocks of the karalar-yesiller area. *Bulletin Volcanologique*, 39, 336-360.
- MTA, 1993. Türkiye'nin kurşun-çinko envanteri, MTA Yayını, No: 199, 94 s.
- Ohmoto, H. and Rye, R. O., 1979. Isotopes of sulfur and carbon. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Barnes HL (ed). J Wiley and Sons, 509-567.
- Okay, A.İ., 1984. Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. *Geological Society, London, Special Publications*, 17 (1), 455-466.
- Okay, A.İ., 1989. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. In: *Tectonic evolution of the Tethyan region*. Şengör A.M.C. (ed). NATO ASI Series (259), 109-116.
- Okay, A.İ., Siyako, M. ve Bürkan, K. A., 1990. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi. *TPJD Bülteni*, 2(1), 83-121.
- Okay, A.İ., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monié, P., Metzger, R. and Akyüz S. 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: geological and geochronological constraints. *Tectonics of Asia*. A. Yin, M. Harrison (Eds.). Cambridge University Press, 420-441.
- Okay, A.İ., and Satır, M., 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*, 137, 495-516.
- Okay, A.İ., Monod, O. and Monié, P. 2002. Triassic blueschists and eclogites from northwest Turkey: vestiges of the Paleo-Tethyan subduction. *Lithos*, 64, 155-178.
- Okay, A.İ., Satır, M. and Siebel, W., 2006. Pre-Alpide orogenic events in the Eastern Mediterranean region. *European Lithosphere Dynamics*. In: Gee, D.G., Stephenson, R.A. (Eds.). *Geological Society London, Memoirs*, 32, 389-405.
- Okay, A.İ., Bozkurt, E., Satır, M., Yiğitbaş, E., Crowley, Q.G. and Cosmas, K.S., 2008. Defining the southern margin of Avalonia in the Pontides: Geochronological data from the Late Proterozoic and Ordovician granitoids from NW Turkey. *Tectonophysics*, 461, 252-264.
- Orgün, Y., Gültekin, A.H. and Önal, A., 2005. Geology, mineralogy and fluid inclusion data from the Arapucan Pb-Zn-Cu-Ag deposit, Çanakkale, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25, 629-642.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. Volume 12 in *Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America. Washington.
- Pehlivan, A. N. ve Çetin, A., 1997. Edremit (Balıkesir) Ezine-Bayramiç-Yenice (Çanakkale) çevresinin altın ağırlıklı polimetallik ve ağır mineral çalışmaları raporu. MTA Derleme Raporu, No : 10061, Ankara (yayımlanmamış).
- Prokofiev, V., Kamenetsky, V.S., Kovalenker, V., Bodon, S.B. and Jelen, S., 1999. Evolution of magmatic fluids at the Banska Stiavnica precious and base metal deposit, Slovakia; evidence from melt and fluid inclusions. *Economic Geology*, 94(6), 949-955.
- Saner, S., 1978. The depositional associations of Upper Cretaceous-Paleocene-Eocene times in central Sakarya and petroleum exploration possibilities. *Türkiye 4. Petrol Kong. Tebliği*, 95-115.
- Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G., and Scott, B., 1997. The evolution from Miocene magmatism in western Turkey: Implications for enrichment processes

- in the lithospheric mantle. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 97, 127-147.
- Shimazaki, H., Shimizu, M. and Nakano, T., 1986. Carbon and oxygen isotopes of calcites from Japanese skarn deposits. *Geochemical Journal*, 20, 297-310.
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Taylor, H.P.Jr., 1979. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Barnes HL (ed). J Wiley and Sons, 236-272.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwartz, W.H., Dokuz, A. and Meyer, H.P., 2007. Variscan amphibolites-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, 96, 861-873.
- Tufan, A.E., 1993. Karaydın Köyü (Yenice-Çanakkale) çevresinin jeolojik ve petrografik özellikleri ile kurşun-çinko zuhurlarının jenetik incelemesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Konya. (yayımlanmamış).
- Yılmaz, Y., 1989. An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. *Tectonic Evolution of the Tethyan region*. A.M.C. Şengör (ed.). Kluwer, 159-189.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Karacık, Z. and Altunkaynak, Ş., 2001. Two contrasting magmatic associations of NW Anatolia and their tectonic significance. *Journal of Geodynamics*, 31 (3), 243-271.
- Zimmermann, J.L., Saupe, F., Öngen, S. and Anıl, M., 1989. Oligocene-Miocene K-Ar ages of the quartz-monzonite stocks from Nevruz-Çakıroba (Yenice, Çanakkale, Northwest Turkey). *Fifth Meeting of the European Union of Geosciences (EUG V)*, Terra Cognito, 354-355.

Alkali Bazalt ve Piroklastik Çökellerin Volkanolojik Özellikleri, Kula Volkanları, Batı Anadolu

Volcanological Characteristics of Alkaline Basalt and Pyroclastic Deposits, Kula Volcanoes, Western Anatolia

ERDAL ŞEN^{1*}, ERKAN AYDAR², HASAN BAYHAN¹, ALAIN GOURGAUD³

¹Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06800, Ankara

²ATERRA R&D, Yüksel Cad. 30/8, Kızılay, Ankara

³Blaise Pascal University, UMR – CNRS 6524, 5 rue Kessler, 63038, Clermont-Ferrand Cedex, France

Geliş (received) : 10 Ekim (October) 2014

Kabul (accepted) : 10 Aralık (December) 2014

ÖZ

Kula Volkanik Alanı (KVA) Türkiye'nin Batı Anadolu bölgesindeki Gediz Grabeni ile Simav Grabeni arasında bulunan Selendi baseninde yer almaktadır. Kula volkanizmasının gelişim süreci üç evreye ayrılmıştır: İlk evre (B-I, $1,94 \pm 0,16 - 0,99 \pm 0,11$ milyon yıl) zayıf patlamaların ürettiği, kalınlığı 40-50 cm olan cüruf kül geri-düşme ürünleri ile başlamış ve sonrasında iyi gelişmiş sütun yapıları içeren plato bazaltlar ile devam etmiştir. Monojenetik volkanların oluşumu Kula volkanizmasının en yüksek hacimli lavlarına eşlik eden ikinci evre ile başlamıştır (B-II, $300 \pm 3 - 50 \pm 9$ bin yıl). KVA'nın son evre ürünleri ise, (B-III, $25 \pm 7 - 4 \pm 2$ bin yıl) yüzeyi oldukça pürüzlü, gözenekli, keskin kenar bloklu ve kırık, ancak iç kısmı yoğun ve sütun soğuma yapıları içeren 'a' tip bazaltik lav akıntıları ile karakterize edilmektedir. KVA 80 cüruf konisi, 5 maar, 8 sıçratma konisi ve 6 tümülüs içermektedir. KVA'nın volkanik ürünleri bazanit ve fonotefrit olarak sınıflandırılmaktadır. Tüm ürünler alkali karakterdedir. Bazaltik lavlar baskın olarak klinopiroksen, olivin, hornblend (B-II ve B-III evreleri için), plajiyoklaz ve feldispatoid fenokristallerinden oluşmaktadır. Sahada detaylı morfolojik araştırmaların yanı sıra topografik haritalar da kullanılarak piroklastik çökellerin hacimleri hesaplanmıştır. Cüruf konileri, 556 m. medyan taban çapına (W_{co}), 45 m medyan yüksekliğine (H_{co}) ve $5,4 \times 10^6$ m³ medyan hacmine (V_c) sahiptir. Püsküren toplam malzemenin hacmi (V_T) 3,25 km³ Yoğun Kayaç Eşitliğidir (YKE). Koniler 3-39 arası koni taban çapı / koni yükseklik oranına (W_{co}/H_{co}) ve 2,3° ve 45° arasında değişen yamaç eğimine (θ) sahiptir. Maarlar ise 8-40 arası ortalama çap / derinlik oranına (Do/d) sahiptir. Püsküren toplam malzeme hacmi (V_p) 0,36 km³ YKE ve toplam juvenil bileşen hacmi (V_j) 0,34 km³ YKE olarak hesaplanmıştır. Volkanik merkezlerden çıkan alkali bazaltik lavların hacmi ise en az 2,3 km³ olup, tüm ürünlerin toplam hacmi ~5,9 km³ civarındadır. B-II ve B-III cüruf konileri arasındaki morfolojik değişim aşınma oranına bağlıdır.

Anahtar Kelimeler: Alkali bazalt, cüruf konisi, maar, lavlar, piroklastik ürünler, hacimsel hesaplamalar, Kula Volkanik Alanı

ABSTRACT

Kula Volcanic Field (KVF) is situated in Selendi Basin between Gediz and Simav Grabens in Western Anatolia. The evolutionary stages of Kula volcanism have been identified as: First stage (B-I, $1,94 \pm 0,16 - 0,99 \pm 0,11$ ma) commences with weak pyroclastic explosions producing scoria ash fall deposits with an average thickness of 40-50 cm, and followed by lava flows forming plateau basalts with well-developed columnar joints. Monogenetic volcanism begins with the second stage (B-II, $300 \pm 3 - 50 \pm 9$ ka) and accompanied with the most voluminous lavas of Kula volcanism. The last stage products of the KVF (B-III, $25 \pm 7 - 4 \pm 2$ ka) are 'a' type basaltic lava flows and characterized by rough and sharp edged blocks, vesiculated and broken surfaces, but with dense interior of columnar

* E. Şen

e-posta: erdals@hacettepe.edu.tr

joint structures. The KVF consists of 80 cinder cones, 5 maars, 8 spatter cones and 6 tumuli. The volcanic products of KVF are alkaline in character and classified as basanite and phonotephrite according to chemical compositions. The dominant mineralogical assemblage in basaltic lavas is comprised of clinopyroxene, olivine, hornblende (for B-II and B-III stage), plagioclase and feldspathoids. The volume of the pyroclastic deposits is estimated by detailed morphological investigations in the field as well as by using the topographic maps. Cinder cones have a median basal diameter (W_{co}) of 556 m, a median height (H_{co}) of 45 m, and a median volume (V_{co}) of $5.4 \times 10^6 \text{ m}^3$. The total erupted volume (V_e) is estimated as 3.25 km^3 DRE (Dense Rock Equivalent). Basal diameter / cone height values (W_{co}/H_{co}) and slope angles (θ) of the cones range between 3-39 and 2.3° and 45° , respectively. Mean diameter / depth (Do/d) of maars changes between 8 and 40. The total ejecta volume (V_e) and total juvenile component volume (V_j) are estimated to be 0.36 km^3 (DRE) and 0.34 km^3 (DRE), respectively. The effusive activity from vents produced at least 2.3 km^3 of basaltic lava flows. The total volume of all volcanic products is $\sim 5.9 \text{ km}^3$. The morphological variance of cinder cones between B-II and B-III is due to the degradation rate.

Keywords: Alkali basalt, cinder cone, maar, lava flow, pyroclastic products, volumetric calculations, Kula Volcanic Field

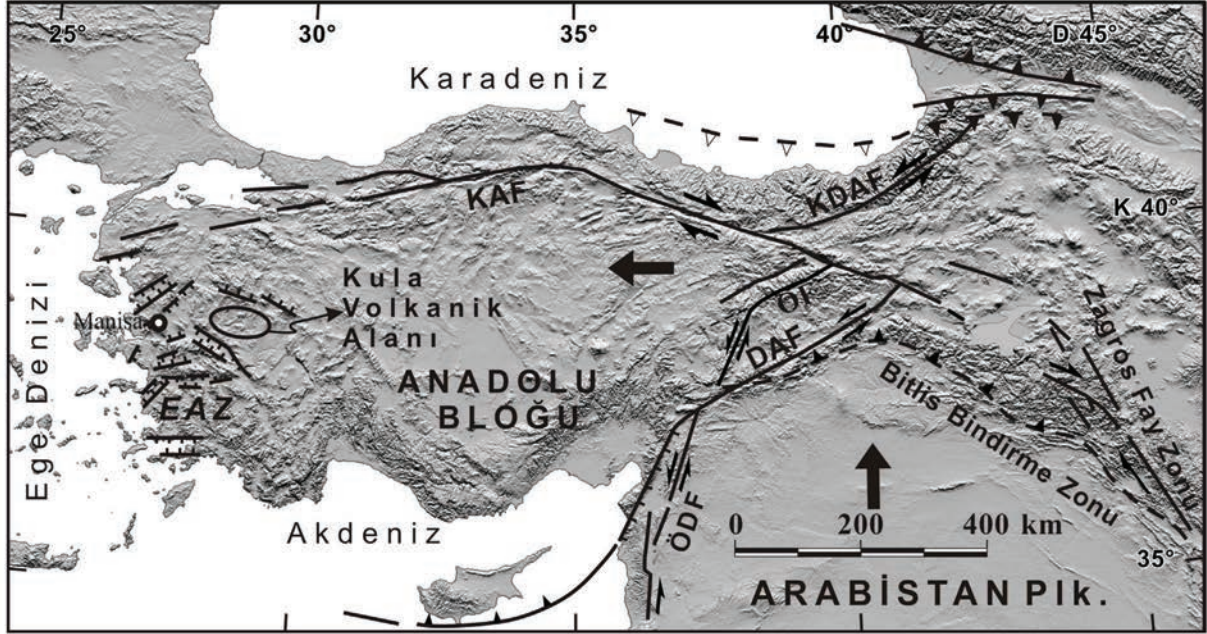
GİRİŞ

Türkiye, Alp-Himalaya Orojenik Kuşağında yer almaktadır (Şekil 1). Geç Kretase-Eosen boyunca Neo-Tetis Okyanusu kapanarak (Şengör ve Yılmaz, 1981), Erken-Orta Miyosen zaman aralığında Anadolu Plakası ile Arap Plakası çarpışarak Bitlis-Zagros Bindirme Zonunu oluşturmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Ring ve Layer, 2003 ve Okay vd., 2010). Bu çarpışma sonrasında, Oligo-Miyosen'den itibaren Batı Anadolu'da yoğun bir kabuksal genleşme başlamaktadır (Seyitoğlu ve Scott, 1991, 1992; Seyitoğlu vd., 2002; Sözbilir, 2002; Westaway vd., 2005; Koçyiğit, 2005; Bozkurt ve Mittwede, 2005; Ersoy ve Helvacı, 2007). Kabuksal genleşmeyi takiben Menderes Masifini oluşturan metamorfik temel kayalar ortaya çıkmaktadır (Bozkurt ve Park, 1994; Lips vd., 2001; Gessner vd., 2001; Ring vd., 2003; Işık vd., 2004; Sözbilir, 2005; Bozkurt ve Rojay, 2005; Ersoy vd., 2011, 2012). Menderes Masifinin ortaya çıkması ile birlikte bölgede yaklaşık D-B yönelimli Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Simav, Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes grabenleri (Seyitoğlu, 1997a; Cohen vd., 1995; Emre, 1996; Hakyemez vd., 1999; Bozkurt ve Sözbilir, 2004; Rojay vd., 2005; Emre ve Sözbilir, 2007; Çiftçi ve Bozkurt, 2009) ve KD-GB yönelimli Miyosen yaşlı Bigadiç, Gördes, Demirci, Selendi ve Uşak-Güre basenleri (Seyitoğlu ve Scott, 1991; Seyitoğlu ve Scott, 1994a ve b; Helvacı, 1995; Helvacı ve Yağmurlu, 1995; Seyitoğlu, 1997b; Yılmaz vd., 2000; Bozkurt, 2003; Purvis ve

Robertson, 2004; Westaway vd., 2004; Erkül vd., 2005; Ersoy ve Helvacı, 2007; Seyitoğlu vd., 2009; Ersoy vd., 2010; Karaoğlu vd., 2010; Ersoy vd., 2011, 2012) meydana gelmektedir.

Kula Volkanik Alanı (KVA) Selendi Baseni içerisinde yer almaktadır. KD-GB yönelimli basenleri kapsayan bölgede, volkanizma bazı araştırmacılar tarafından kabuksal incelleme ile ilişkilendirilmiştir (Yılmaz, 1989, 1990; Seyitoğlu, 1997b; Bunbury, 2001; Westaway vd., 2006; Ersoy vd., 2008; Karaoğlu vd., 2010). Bölgedeki volkanizma batıdan doğuya doğru, Bigadiç ve Uşak-Güre basenleri arasında kalan bölgedeki volkanizma Erken Miyosen yaşlı yüksek-K içerikli kalkalkali dasitik ve riolitik lav ve piroklastik ürünler ve şoşonitik, ultrapotasik lamproitler (Erkül vd., 2005; Ersoy ve Helvacı, 2007; Ersoy vd., 2011, 2012); Orta Miyosen yaşlı yüksek-K içerikli kalkalkali dasitik, andezitik, yüksek-Mg içerikli şoşonitik, ultrapotasik lav ve piroklastik ürünler (Innocenti vd., 2005; Ersoy vd., 2008; Karaoğlu vd., 2010; Ersoy vd., 2011, 2012); Geç Miyosen yaşlı K-trakibazaltları (Innocenti vd., 2005; Ersoy vd., 2011, 2012) ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı yüksek-Na içerikli bazaltik lav ve piroklastik ürünler (Tokçaeer vd., 2005, Alıcı vd., 2002; Grützner vd., 2013) şeklinde yer almaktadır.

KVA'nın volkanizma öncesi stratigrafik istifi, alttan üste doğru şu şekilde sıralanmaktadır (Ercan vd., 1983; Bunbury, 1996; Seyitoğlu, 1997b; Purvis ve Robertson, 2005; Ersoy vd., 2007, 2011 ve 2012): (1) Temelde Menderes Masifinin Paleozoyik yaşlı mikaşist, kalsilikatik şist



Şekil 1. Kula Volkanik Alanı ve Anadolu Plakası'nın neotektonik haritası (Şengör vd., 1985; Barka, 1992; Bozkurt, 2001'den basitleştirilerek alınmıştır). KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı, KDAF: Kuzey Doğu Anadolu Fayı, OF: Ovacık Fayı, ÖDF: Ölü Deniz Fayı, EAZ: Ege Açılma Zonu.

Figure 1. Kula Volcanic Field and the neotectonic map of Anatolian block (Simplified from Şengör et al., 1985; Barka, 1992; Bozkurt, 2001). KAF: North Anatolian Fault, KDAF: Northeast Anatolian Fault, DAF: East Anatolian Fault, OF: Ovacık Fault, ÖDF: Dead Sea Fault, EAZ: Aegean Extension Zone.

ve gözlü gnayslarından oluşan metamorfik kayalar, (2) Bindirme faylarla metamorfik temeli üzerleyen ve İzmir-Ankara Zonu kayalarına ait olan Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlı ofiyolitik melanj. Melanj içerisinde günümüzde halen aktif olan sıcak su kaynakları ve kaplıcalara yakın kesimlerde bulunan serpantin ve lisvenit birimleri yer almaktadır (Şen, 2002). Hidrotermal bozunmanın yoğun olarak geliştiği bu kesimlerde zaman zaman yeşil-kahverengi çört katmanlarına, lisvenit içerisinde kalsedon damarlarına ve köken kayacı lerzolit olan serpantin içerisinde de yumrular halinde manyezit oluşumlarına rastlamak mümkün olmaktadır (Şen, 2002), (3) Akarsu-gölsel çökeltiler: Kurtköyü Formasyonu (konglomera) ve üstte Yeniköy Formasyonu'nu (kumtaşı - çamurtaşı ardalanmalı) içeren Alt Miyosen yaşlı Hacıbekir Grubu, (4) Hacıbekir Grubunu açısal uyumsuzlukla üzerleyen Orta Miyosen yaşlı İnay Grubu. Altta konglomera ara katkılı, çoğunlukla kumtaşı - kilaşı ardalanması şeklinde ilerleyen Ahmetler Formasyonu, ve üstte özellikle gölsel kireçtaşı ve marn birimlerini

içeren Ulubey Formasyonu bulunmaktadır. Bölgedeki peribacaları Ahmetler Formasyonu'nda meydana gelmektedir. Peribacalarının şapka-larını kumtaşı-kilaşı birimlerine göre, erozyona karşı daha dayanıklı olan konglomera katmanları oluşturmaktadır (Şen, 2002).

Batı Anadolu'daki Kula bazaltik volkanizması yaklaşık 350 km²'lik bir alana yayılmaktadır. Kula'daki volkanizma Burgaz, Elekçi Tepe ve Divlit Tepe olmak üzere 3 evreye ayrılmıştır (Ercan vd., 1983). Bunbury (2001) ise bazı yerel ikincil çökeltiler içerisinde Burgaz Evresi'nden daha yaşlı bazaltik kayaç parçalarına rastlamış ve bu ürünleri volkanostratigrafide birinci sıraya koymuştur. Monojenetik volkanların oluşturduğu Kula bazaltik lavlarının hacmi yaklaşık 2,3 km³ olarak tespit edilmiştir (Bunbury, 1996).

Kula volkanizması ile ilgili daha önce yapılan araştırmalar genellikle yapısal, petrolojik ve petrojenetik çalışmalardır (Güleç, 1991; Bunbury, 1996; Seyitoğlu, 1997b; Aldanmaz vd., 2000; Alıcı vd., 2002; Purvis ve Robertson, 2005;

Westaway vd., 2004; Tokçaer vd., 2005; Innocenti vd., 2005; Holness ve Bunbury, 2006; Westaway vd., 2006; Çoban, 2007; Ersoy vd., 2007, 2008; Karaoğlu vd., 2010; Ersoy vd., 2011, 2012; Grützner vd., 2013). Bu çalışmanın amacını ise, lav akıntılarının ve piroklastik ürünlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi vepüskürme merkezlerinin morfolojik tiplerinin incelenmesi oluşturmaktadır. Bu verilere dayanılarak piroklastik ürünlerin hacimsel hesaplamaları da gerçekleştirilmiştir.

VOLKANOLOJİK GELİŞİM

KVA Türkiye'nin Batı Anadolu Bölgesi'ndeki Gediz Grabeni ile Simav Grabeni arasında bulunan Selendi baseninde yer almaktadır. KVA'da, yaklaşık 35 km boyunca uzanan 64 cüruf konisi, fisüral çıkışlarla ilişkili 16 küçük koni, 8 sıçratma konisi, 6 tümülüs ve 5 maar olmak üzere, toplam 99 monojenetik çıkış merkezi bulunmaktadır. Detaylı arazi çalışmaları ve volkanolojik haritalara göre, Kula volkanizmasının üç evrede gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 2). Kula volkanik ürünlerinin karasal ortamda yerleştiği gözönüne alındığında inceleme alanında gözlenen maarlar ve lokal olarak gerçekleşmiş yastık lav oluşumları, volkanizmanın nehir, küçük su birikintileri ve yeraltı sularından da yer yer etkilendiğini göstermektedir.

İlk evre bazalt akıntılarına ait çıkış merkezleri (bacalar) çok net olmamakla beraber, diğer bazalt akıntılarının topoğrafik olarak 170 m daha yüksekte bulunmaktadır. Bölgede en yaygın volkanizma II. Evre bazalt akıntılarıdır. Bu evrede yer yer freatomagmatik patlamalar meydana gelmiştir. Son Evre bazalt akıntıları çok taze morfoloji sunmaktadır ve II. Evre bazalt akıntılarının volkanik çıkış merkezlerine paralellik göstermektedir. Muhtemelen, çıkış merkezleri değişse de aynı kırık ve fay sistemini takip etmişlerdir.

I. Evre Bazalt Akıntıları (Burgaz, B-I):

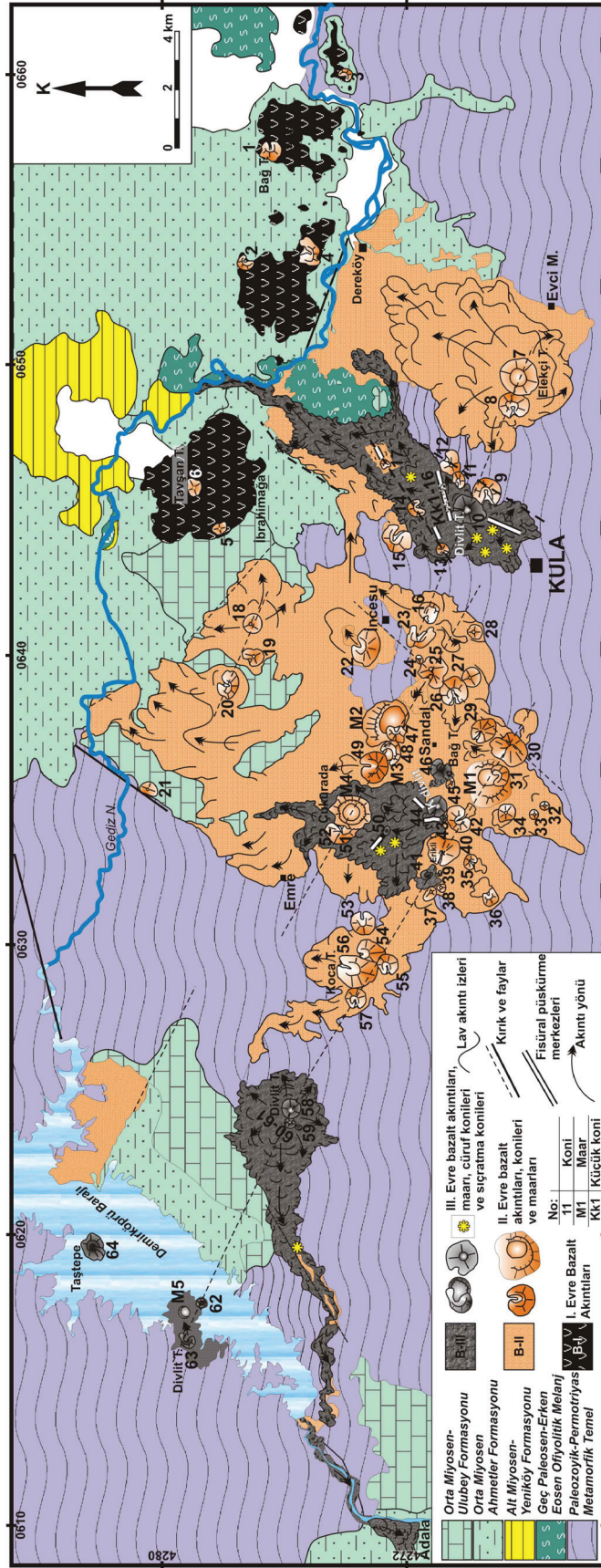
Çalışma alanının sadece doğu kesimlerinde izlenen evrenin K/Ar (hamur) ve Ar/Ar (amfibol) radyometrik yaşı $1,94 \pm 0,16$ My ile $0,99 \pm 0,11$ My arasında değişmektedir (Borsi vd., 1972;

Bunbury, 2001; Westaway vd., 2004 ve 2006). Çalışma alanının, en yaşlı bazaltik ürünü olan I. Evre bazalt akıntıları, Ahmetler Formasyonu'na ait konglomera ara katkılı, kumtaşı-kiltaşı ardalanmasının üzerine yerleşmiştir. Dokanağın gerçekleştiği yerlerde zaman zaman pişme zonu gözlenmektedir. Lav akıntıları koyu gri-siyah renkte olup, yaklaşık 35 km²'lik bir yüzey alanına sahiptir (Şekil 2). Arazide genellikle dik yamaçlı bir morfoloji sunan bu akıntılar, soğumaya bağlı çok iyi gelişmiş sütun yapıları sunmaktadır (Şekil 3a). Akıntıların kalınlığı 10-30 m arasında değişmekte olup, ortalama kalınlık 15 m olarak tespit edilmiştir. Oldukça masif bir görünüme sahip olan B-I bazaltların gözeneklilik oranı % 3'ten küçüktür (Şen, 2002). Fisüral çıkışlar plato bazaltlarının en karakteristik özelliklerinden olup, çok sayıda merkezden yayılım gerçekleşebilir (Tyrrell, 1932; Galindo ve Gudmundsson, 2012). Şekil 3b' de bu çıkışlardan biri gösterilmektedir.

II. Evre Bazalt Akıntıları (Elekçi Tepe, B-II):

II. Evre bazaltlarının K/Ar (hamur ve amfibol) radyometrik yaşları $299 \text{ bin} \pm 20$ yıl ve $50 \text{ bin} \pm 9$ yıl arasında değişmektedir (Bunbury, 2001; Westaway vd., 2004 ve 2006). Ürünler, genellikle top-
rak örtüsü tarafından örtülmüş olup, koyu mavi-gri renklindedir. B-II bazaltları en iyi yüzleğini, İbrahimağa Köyü, Dereköy-Gediz Nehri kenarı, Evcî Mahallesi civarında vermektedir. Kalınlığı 3-15 m arasında değişen bazaltik akıntının ortalama kalınlığı 8 m'dir. Çıkış merkezlerini 49 koni, 4 maar ve 1 adet fisür oluşturmaktadır. Yayılan akıntının yüzey alanı 235 km²'yi bulmaktadır. Akıntılar, kuzeyden güneye doğru, ortalama 5° eğimle akmışlardır. Akıntı temelindeki parçalanmalar veya akma breşi altındaki formasyonlarla keskin bir dokanak oluşturmaktadır. Kaynaktan olan uzaklık arttıkça, akıntının kalınlığı 1-2 m'ye düşmekte ve temelindeki akma breşi yerini bazı yerlerde masif bir görünüme terketmektedir.

Gözeneklilik, akıntının temelinde, özellikle breşleşmiş kısımlarında ve akıntının üst kısmındaki bloklaşmış kesimlerde artmaktadır. Orta kısımlar ise, daha masif veya tıkız bir yapıya sahiptir. Gözenekler alt ve orta kısımlarda yuvarlağımsı şekilli, orta kısımlarda ise soğuma yüzeyine



Şekil 2. Kula Volkanik Alanının jeolojî haritası (Ercan vd., 1983; Bunbury, 1996; Westaway vd., 2004'ten değiştirilerek alınmıştır).
Figure 2. Geological map of Kula Volcanic Field (Modified after Ercan et al., 1983; Bunbury, 1996; Westaway et al., 2004).



Şekil 3. Kula lavalarına ait arazi resimleri: a) B-I bazaltlarına ait sütun soğuma yapıları, b) B-I bazaltlarına ait bir çıkış merkezi. Lav çıkışı öncesinde zayıf patlamalara bağlı olarak cüruf geri-düşme ürünleri oluşmuştur. Sokulum çevre kayalarda pişirme zonu oluşturmuş ve dokanakta breşleşmeye uğramıştır. Ayrıca küçük bir çatlak içerisine de yerleşerek dayk meydana getirmiştir, c) B-II lav önüne ait soğan kabuğu bozunma yapıları, d) B-II bazaltlarının su ile teması sonucu gelişmiş yastık yapılı lavları, e) Karadivlit Tepe'nin yakınındaki fisürden çıkan a'a tipli B-III lavları, f) Gediz Nehri'ne paralel (K-G) olarak gerçekleşen yaklaşık 1 km uzunluğundaki kırık.

Figure 3. Photographs from the fieldwork: a) Columnar joint structures of B-I basalts, b) An eruptive center of the B-I basalts. Scoria ash fall deposits occurred because of weak explosion before eruption of lava. Intrusion resulted in a cooked zone and brecciated along the contact. In addition, it settled into a small crack as a dike, c) Onion-like alteration on the lava front, d) Pillow lavas of B-II basalts resulted from contacting the water, e) 'a'a lava type of the B-III basalt erupted from a fissure near Karadivlit Tepe, g) A fracture about 1 km in length parallel to the Gediz River (NS)

paralel, basık, ince, uzun şekillidirler. Akıntılar, metamorfik kayalardan kopartılmış ksenolitler içermektedir. Bazı akıntı birimleri, tabakalı akma yapıları göstermektedir. Rengi, koyu gri olan bu kesimler, kristalce daha zengindir. Akıntının üst seviyelerine gidildikçe kısmen sütunsal yapılar ve çoğunlukla masif bir görünüm sunmaktadır. Üst kısımlar bloklu yapıda olup, renk açılmakta ve kristal oranı düşmektedir.

Volkanik faaliyetlerin en yaygın olduğu bu evre, doğal olarak Kula volkanizması'nın en büyük hacimli ve yayımlı ürünlerini temsil etmektedir. İlk faaliyetler zayıf enerjili patlamalarla başlamış ve özellikle Evci Mahallesi yakınlarında kalınlığı 30-40 cm'yi bulan cüruf geri-düşme ürünlerini oluşturmuştur. Buradaki litik bileşenlerin camı olması patlamanın bir miktar su ile etkileşime geçtiğini göstermektedir. II. Evre bazalt akıntılarının, B-I bazaltlarından genç olmasına rağmen, fiziksel olarak daha fazla bozunma geçirdiği dikkat çekmektedir. Özellikle akıntı önlerinde soğan tipi bozunmalar yaygın olarak izlenmektedir (Şekil 3c). Gediz Nehri kenarlarında yer yer su ile karşılaştığını gösterir küçük ölçekli yastık lavlar (Şekil 3d) ve köşeli, sivri uçlu ayrılmaların gerçekleştiği ani soğuma yapıları görülmektedir. Lavın suyla karşılaştığı bu ortamlarda, soğuma hızından dolayı, akıntının dış kısımları camı bir görünüm sunmaktadır.

Bu evre bazalt akıntıları içinde, ultramafik ve mafik anklavlar (kümülatlar) gözlemlenmektedir. Özellikle piroklastik ürünlerin içerisinde yer alan bu anklavlar, lerzolit, verlit, piroksenit, hornblendit (bol miktarda), piroksenli hornblendit, hornblendli piroksenit, gabro olarak adlandırılmıştır (Çakır vd., 1999; Şen, 2002; Holness ve Bunbury, 2006; Grützner vd., 2013). Anklavların en önemli özelliği gözenekli olmaları ve volkan camı içermeleridir. Büyük bir kısmı iri mineralli olduğu için hornblend ve piroksen mineralleri kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Anklavların yanı sıra, mikaşist, mikagnays ve kilaşı gibi ksenolitlere de rastlanılmıştır.

III. Evre Bazalt Akıntıları (Divlit Tepe, B-III):

Üzerinde toprak olmayan ve az bitki örtüsü olan son evre bazalt akıntıları oldukça taze bir görünüm sunmaktadır. Kula volkanizmasının son

ürünleri olan III. Evre 26 ± 5 bin yıl ile 4 ± 2 yıl (K/Ar-hamurdan ve termoluminesans yöntemi ile) arasında faaliyet göstermiştir (Göksu, 1978; Westaway vd., 2004, 2006). Bu evredeki lav akıntılarının çıkış merkezlerini 30 cüruf konisi, 8 sıçratma konisi, 6 tümülüs ve 5 önemli sayılabilecek fisür oluşturmaktadır. Bölgenin batı kısmındaki lav akıntıları, vadiyi 17 km kadar takip ederek Adala kasabasına kadar gelmiş ve batı-güneybatı yönünde akmışlardır. Çalışma alanının ortasındaki akıntı, kuzey yönünde 7 km, en doğudaki akıntı ise güneybatı yönünde 3 km ve kuzeydoğu yönünde ikiye ayrılarak 10 km ve 7 km akabilmiştir (Şekil 2). Yaklaşık olarak 85 km^2 'lik bir alana yayılan III. Evre bazalt akıntılarının kalınlığı 3 ile 10 m arasında olup, ortalama kalınlığı 8 m olarak tespit edilmiştir.

Lav çıkış noktalarını oluşturan fisürlerin uzunluğu 20 ile 400 m arasında değişmektedir. Bu fisürlerin büyük çoğunluğu graben sisteminin doğrultularına paralellik göstermektedir. Şekil 3e'de Karadivlit Tepe'nin hemen batısında bulunan bir fisür erüpsiyonu görülmektedir. Uzunluğu 50 m kadar olan çatlağın her iki yamacında lav akıntıları mevcuttur. Aynı bölgede buna benzer bir kaç yarık daha bulunmaktadır.

B-III bazaltları 'a'a tipi lav akıntısı morfolojisindedir. Yüzeyi son derece sivri, karmaşık ve köşeli bloklardan oluşmaktadır. Ancak kaplıca bölgesinin yakınlarında B-III bazaltlarını kesen ve yaklaşık K-G doğrultulu genişliği 6 m ve derinliği en az 8 m'yi bulan, yaklaşık 1 km uzunluğunda bir çatlak bulunmaktadır (Şekil 3f). Bu kusursuz çatlak B-III bazaltlarının iç kısmını görmemize imkan sağlamıştır. Buna göre, son evrenin bazalt akıntısı tipik olarak üç kısımdan oluşmaktadır: Alt seviye; breşleşmiş ve çeşitli parçalanmalara maruz kalmıştır. Kalınlığı 30 ile 90 cm arasında değişmektedir. Akıntı, Gediz Nehri'nin açmış olduğu vadi kenarlarında suyla karşılaşmış ve akıntının temeli aniden soğuyarak camı bir görünüm kazanmıştır. Orta seviye ile arasında keskin bir geçiş bulunmaktadır. Gözenek hacmi 1 ile 3 mm arasında değişmektedir. Gözenek hacmi tabandan üste doğru gitikçe artmakta, orta seviyeye yaklaşırken azalmaya başlamaktadır. Gözeneklilik miktarı ise azalmaktadır. Orta seviyede iyi gelişmiş sütun soğuma yapıları bulunmaktadır. Poligon çapları

bazı yerlerde 50 cm'yi bulmaktadır. Sütun bölgesinin kalınlığı 2 ile 6 m arasında değişmektedir ve gözenekliliğin en az olduğu masif kısmı temsil etmektedir. Buradaki gözeneklerin çapı maksimum 10 mm'yi bulmaktadır. Çoğunlukla silindirik şekillidirler. En üst seviye ise, kalınlığı 1 ile 3 m arasında değişen bloklanmış kısımlardan oluşmaktadır. Bazı seviyeler oldukça gözenekli olup köpüğümsü bir görünüm sunmaktadır. Bu seviyedeki gözenekler, 1 mm ile 30 mm arasında değişmektedir. Gözenekler çoğunlukla dairesel-oval şekle sahip olup, yüzeye yakın kesimlerde yaklaşık eşit boyuttadırlar. Bazı kesimlerde üst seviyeden bir alt seviyeye geçiş tedrici olurken, bazen de çok keskin olmaktadır.

MONOJENETİK PÜSKÜRME MERKEZLERİ

Bölgede 64 cüruf konisi, haritalanamayacak ölçekte 16 küçük cüruf konisi, 8 sıçratma konisi, 6 tümülüs ve fisüral püskürme merkezleri bulunmaktadır. Monojenetik yapıların dizilişi Selendi basenindeki KD-GB ve Gediz Grabeninin KB-GD gerilme yönlerine uyumluluk göstermektedir. Taban çapları 100 m ile 1,3 km arasında değişmektedir. Konilerden bazıları çift kratere sahip olup, uzunlamasına (elipsoyidal) şekle sahiptir. Bir kaç çıkış merkezi sonraki ürünlerce örtülmüştür (Bunbury, 1996).

Cüruf Konileri

Kula volkanizmasının tanık olduğu en önemli püskürme merkezleri, batıda Taştepe, Divlit Tepe'ler, Küçükdivlit Tepe ve Koca Tepe; orta bölgede Bağtepesi konileri, Bağtepe, Karadivlit Tepe, Erikli Tepe, Kaymakçı Tepe, Erikli Tepe'ler, Divlit Tepe ve Kestaneli Tepe; batıda ise Hacıbasan Tepe, Elekçi Tepe, Bağtepedir.

KVA'da stromboliyen tip püskürmeler sonucu oluşan koniler, normal ve karnıyarık olarak iki morfoloji sunmaktadırlar (Şekil 4a ve b).

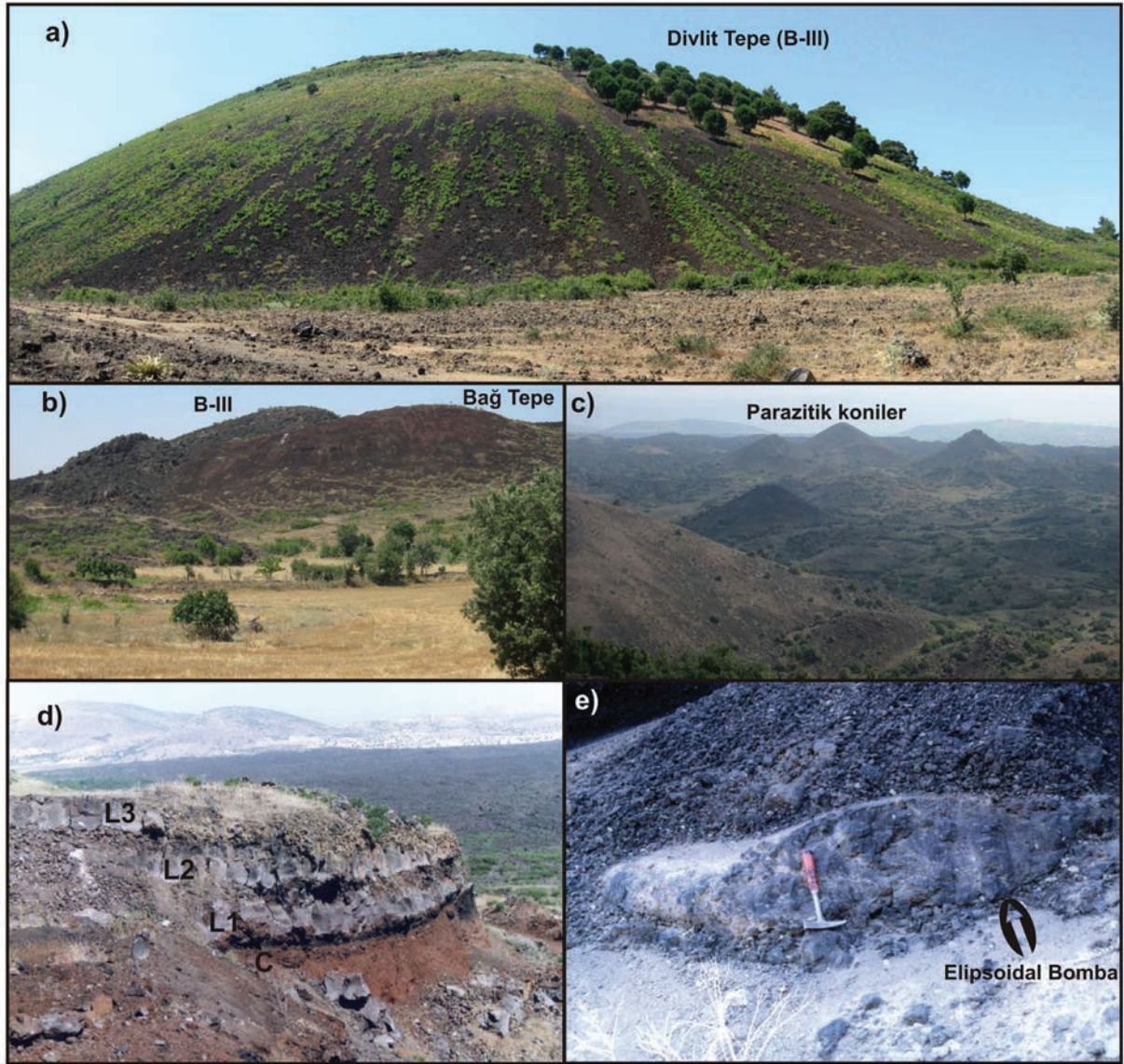
Doğu'da Divlit Tepe'nin kuzeyinde III. Evreye ait olan ve fisüral püskürme sonucu oluşan, taban çapları 100 ile 150 m ve yükseklikleri 10 ile 30 m arasında değişen toplam 16 adet cüruf konisi bulunmaktadır. Özellikle elipsoyidal şekilli konilerin yaygın olduğu bu bölge, küçük bir koni topluluğu görüntüsü vermektedir (Şekil 4c).

Kula bölgesindeki cüruf konilerin ürünleri tefra ve lav akıntıları olmak üzere iki şekildedir (Şekil 4d). Cüruf konilerini oluşturan piroklastikler; cüruflar, litikler ve elipsoyidal bombalar şeklinde meydana gelmişlerdir. Ürünlerin tane boyu, kül ile 3 m çaplı bombalar arasında değişmektedir (Şekil 4e). Koni içerisinde yer alan ürünler kırmızı ve siyah renkli tabakalanmalar şeklinde bulunmaktadır. Bazı koniler, cüruf ürünlerinin yanı sıra onlarla ardalanmalı olarak gelişen lav katmanlarını içermektedir.

Maarlar

KVA'da 5 adet maar bulunmaktadır. Maarlardan sadece Çukurada (Şekil 2: M4) kendi ismiyle adlandırılmıştır. Diğerleri, sahip oldukları ve maar kenarından çıkan cüruf konilerinin isimleriyle adlandırılmıştır (Şen, 2002). Krater çapları 875 m ile 1125 m arasında değişmektedir. Çukurada Maarı hariç geri kalan tüm maarlar oluştuktan sonra meydana gelen freatomagmatik faaliyetler, krater kenarından çıkan cüruf konileriyle magmatik faaliyete dönüşmüş, volkanolojik evrim bu şekilde tamamlanmıştır. Maarlardan Divlit Tepe Maarı (M5) III. Evre'ye aitken, diğerleri II. Evre'de meydana gelmişlerdir.

Kula bölgesinde oluşum mekanizmasına göre (Cas ve Wright, 1987) 'maar' ve 'tuf halkası' olarak tanımlanabilecek iki maar türü bulunmaktadır. Birinci türü Çukurada Maarı temsil etmektedir (Şekil 5a); patlama sonucu 110 m derinliğinde bir krater oluşmuştur. Krater tabanı genel topoğrafik yüksekliğin altındadır. Krater çeperlerinde patlama sırasında var olan lav akıntıları yüzlek vermektedir. Patlama ile oluşmuş taban yayılımı ürünleri içerisinde ise bu kayalara ait litikler bulunmaktadır. Çalışma alanının orta kısmında bulunan maarın batı kenarında Ada Tepe cüruf konisi bulunmaktadır. Morfolojik olarak maar kenarından çıkan bir cüruf konisini andırmaktadır. Ancak, koninin cüruf geri-düşme ürünleri Çukurada Maarı'na ait ürünler tarafından örtülmektedir. Kula bölgesinde 'tuf halkası' tipindeki ikinci tür maar oluşumlarına örnek olabilecek 4 maar bulunmaktadır (Şekil 2): Yağbasan Tepe (M1), Cemal Tepe (M2; Şekil 5b ve c), Kızıl Tepe (M3) ve Divlit Tepe (M5). Divlit Tepe (M5) hariç, her tuf halkasının kenarında bir cüruf



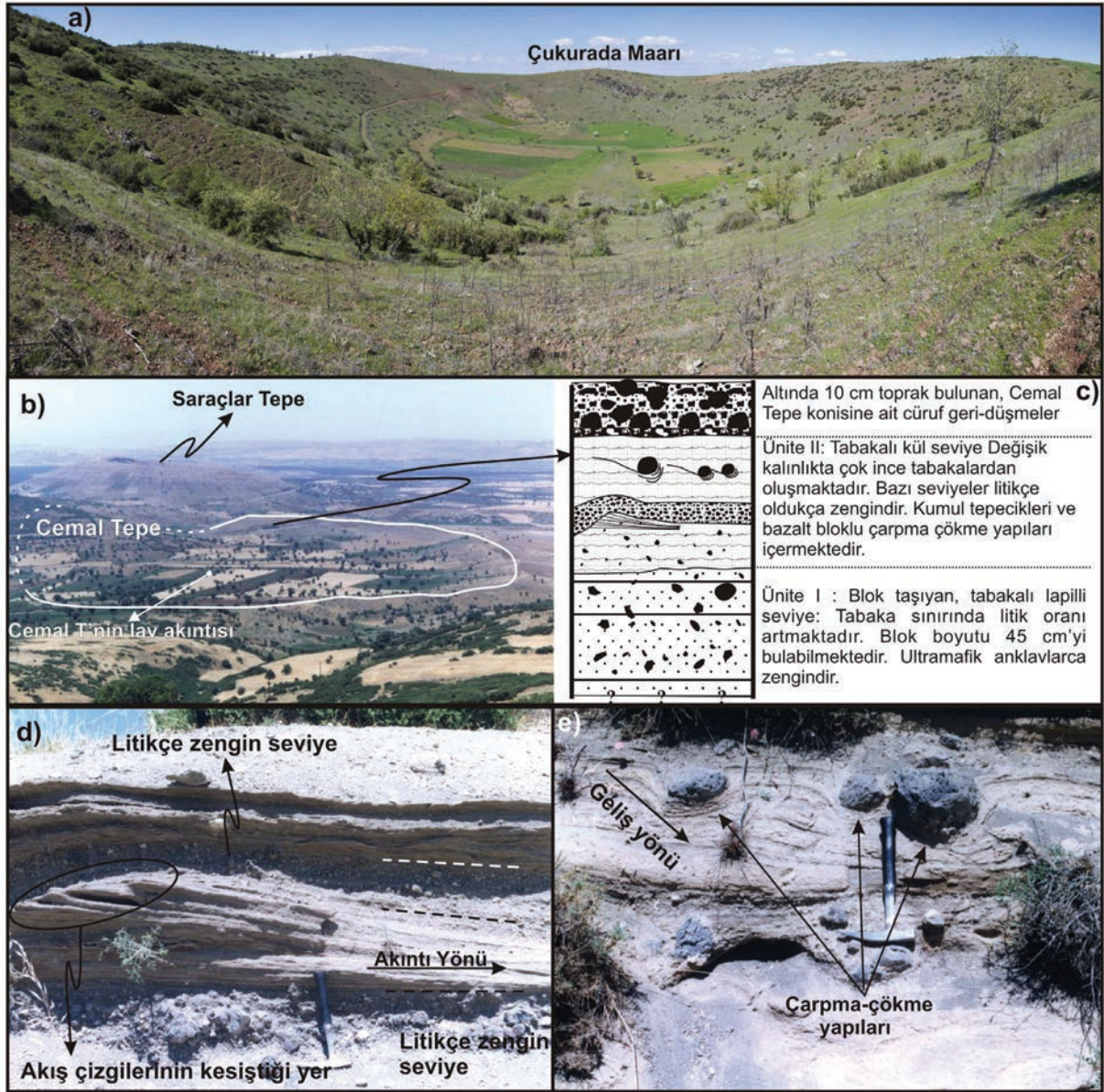
Şekil 4. Cüruf konileri ve ürünleri. a-b) Sandal'ın batısında yer alan Divlit Tepe cüruf konisi ve kraterinden a'a tipi lav çıkmış Bağ Tepe karnıyarık cüruf konisi, c) Kula'nın yakınında yer alan Divlit Tepe'nin kuzeyindeki parazitik koniler, d) Karadivlit Tepe'ye ait, altta cüruf geri-düşme ürünleri (C) ve üstte onu üzerleyen 3 katman halindeki (L1-L3) lav akıntıları. Her lav katmanının tabanında akma breşleri yer almaktadır, e) Cüruf konisi içerisinde görülen ellipsoyidal bomba.

Figure 4. Cinder cones and their products: a-b) Karadivlit Tepe cinder cone and breached Bağ Tepe cinder cone with 'a'a type lava flows erupted from its crater in the west of Sandal, c) Parasitic cones in the north of Divlit Tepe near Kula, d) Scoria air-fall deposits (C) overlain by three layers of lava flows (L1-L3). Each layer has flow breccia at the base, e) Fusiform bomb in a cinder cone.

konisi meydana gelmiştir. Tüf halkalarının krater taban seviyeleri yer seviyesinin üzerinde bulunmaktadır. Derinlikleri 33 m ile 65 m arasında değişmektedir.

Freatomagmatik faaliyetlere ait taban yayılımı ürünleri, cm ve dm ölçeğinde kül katmanları

şeklinde depolanmışlardır. Bu katmanlar, çok iyi gelişmiş kumul tepelikleri (dune, anti-dune) ve çarpma-çökme yapıları (bomb-sag) içermektedir (Sheridan ve Wohletz, 1983; Wohletz ve McQueen, 1984; Fisher ve Schmincke, 1984; Cas ve Wright, 1987; Manga vd., 2012) (Şekil



Şekil 5. Maarlar ve ürünleri. a) Çukurada maarı, b) Cemal Tepe tuf halkası. Krater sınırı beyaz çizgi ile gösterilmiştir, c) Cemal Tepe tuf halkasına ait taban yayılımı kesiti, d) Çapraz tabaka yapısı sunan ve akma yönünü gösteren, taban yayılımı ürünlerine ait kumul tepesi yapısı, e) Kaynak yönü gösteren, taban yayılımı içerisinde gözlenen çarpma-çökme yapıları

Figure 5. Maars and their deposits: a) Çukurada maar, b) Cemal Tepe tuff ring. White line indicates crater rim, c) Cross section of the base surge deposits for Cemal Tepe tuff ring, d) Dune-anti dune structure cross-bedded showing flow direction, e) Bomb-sags indicating source direction (arrowed) for the base surge deposits.

5d ve e). Yağbasan ve Cemal Tepe tuf halkasındaki freatomagmatik ürünler, cüruf projeksiyonları ile ardalı olarak bulunmaktadır. Özellikle Çukurada Maarı'na ait taban yayılımı ürünleri, krater kenarında, eğimleri merkeze

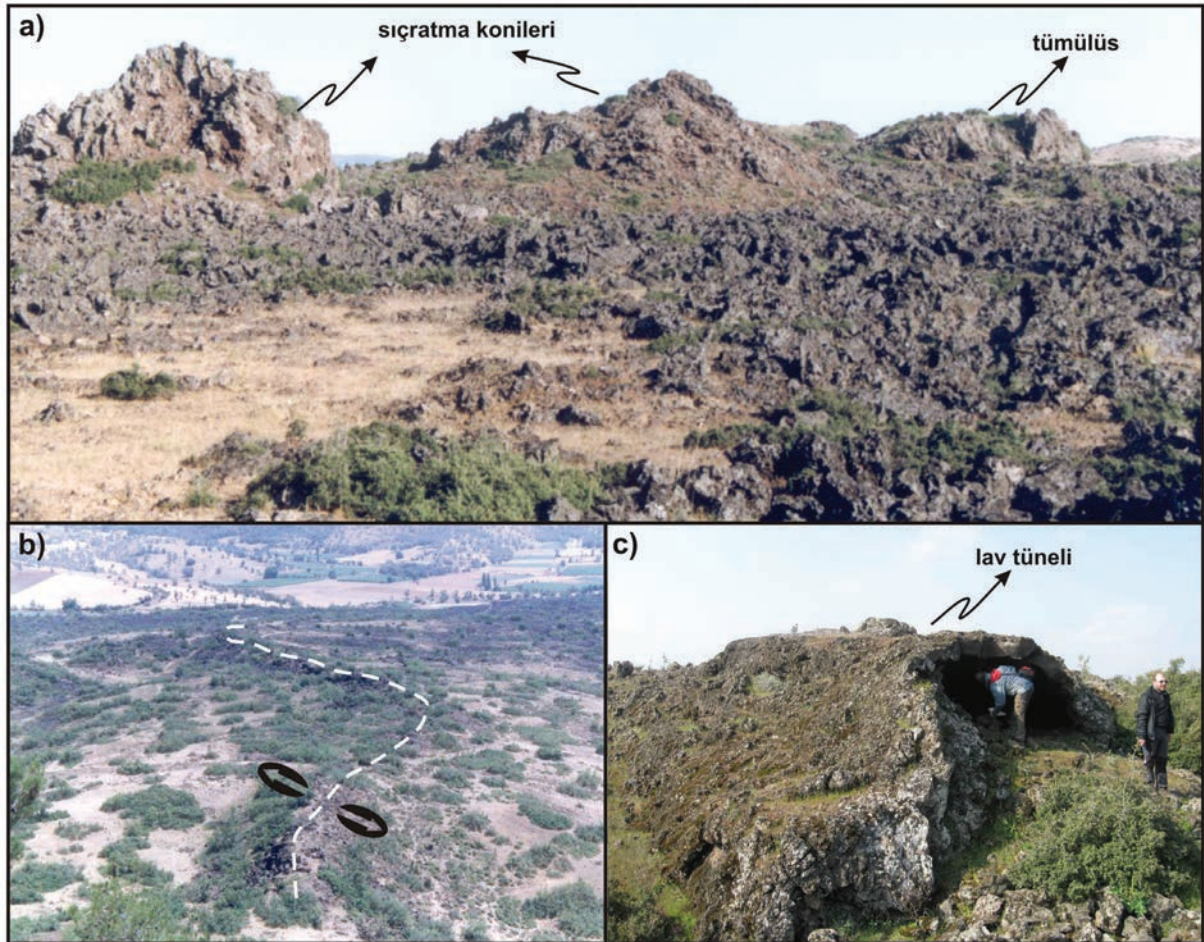
doğru olan normal atımlı faylarla kesilmişlerdir. Taban yayılımı ürünlerini karakterize eden bileşenlerden biri de yığılma lapillileridir (Buettner ve Zimanowski, 1998). Bir çekirdek (çok ince taneli kristal, cüruf veya litik) etrafına ıslak külün

yapışıp, genellikle küresel geometride yığılarak büyümesi sonucunda oluşan bu lapilliler (Schumacher ve Schmincke, 1991) sadece Divlit Tepe tuf halkasında (M5) bulunmaktadır.

Demirköprü baraj gölü batısında bulunan M5 tuf halkasına ait taban yayılımı ürünlerinin üzerinde fosil insan ayak izleri bulunmuştur. Bu izler Divlit Tepe konisinden gelen cüruf geri-düşme ürünleri tarafından örtülerek günümüze kadar, aşınmadan korunabilmişlerdir. Ayak izlerinin bulunduğu birimin termoluminesans yaşı 26 ± 5 bin yıl olarak bulunmuştur (Göksu, 1978). Ancak, Erinç (1970) ve Tekkaya (1976) ayak izlerinin yaşlarını yaklaşık 12 bin ve 10 bin yıl olarak tahmin etmektedirler.

Sıçratma Konileri ve Tümülüsler

Kula bölgesinde çoğunlukla lav ve zaman zaman da cüruf püskürmelerinin gerçekleştiği bu çıkış merkezleri sadece III. Evre'de meydana gelmişlerdir. Sıçratma konileri dairesel bir yapıya sahip olup, oldukça eriyik haldeki lavın bir çatlak boyunca, çıktığı yerde katılarak veya lav akıntısının soğuyarak katılan kabuğunun çöküp, alttaki sıcak ve akışkan lavın bu merkezden çıkmasıyla oluşmaktadır (Macdonald, 1972; Rossi ve Gudmundsson, 1996) (Şekil 6a). Bu tür yığılımlar hem birincil çıkış merkezlerinde hem de ikincil (köksüz) çıkışlarda meydana gelebilirler. Kula yakınındaki Divlit Tepe'nin hemen güneyinde yer alan sıçratma konileri fisür siste-



Şekil 6. a) Sıçratma konileri ve tümülüs, b) Kesikli beyaz çizgi ile gösterilen bir fisür. Bu fisür boyunca püskürmelere bağlı olarak gelişmiş, 1-2 m yüksekliğinde sırt oluşmuştur, c) Lav tüneli

Figure 6.a) Spatter cones and tumulus, b) A fissure indicated with white dashed line. A ridge of 1-2 m in height along the fissure occurred due to the eruption, c) Lava tunnel

minin içerisinde yer aldığı için, hepsinin birincil çıkış merkezlerinde meydana geldikleri düşünülmektedir. Ancak, Çukurada Maarı'nın güneybatısındaki sıçratma konisi için, lavların yoğun çıkış merkezlerine uzak olması nedeniyle aynı şeyleri söylemek mümkün olmayabilir. Sıcak ve düşük viskozite özelliklerine sahip olan lav sıçratmalarının oluşturduğu konilerin yükseklikleri 7-15 m arasında değişmektedir. Eğer lav sıçratmaları bir fisür boyunca gerçekleşirse yüksekliği 3-4 m'yi bulan sırtlar da oluşabilmektedir (Şekil 6b). Püsküren lav oldukça sıvı olup, çatlağın her iki yanına doğru bir set oluşturarak yığılma yapmaktadır. Oldukça sıcak oldukları için çıkan lav kütleleri birbirine yapışık halde bulunmakta ve yana doğru yayılmaktadırlar. Bu tür akıntılarda lav kütlelerinin yüzeyi atmosferle temas ettiği için iç kısma göre daha hızlı soğumaktadır. Altta magma daha sıcak olduğu için üst kısma göre akışkanlığı fazla olmakta ve akmaya devam etmektedir. Üstte hızlı soğuma nedeniyle katılaştıran kabuk eğer yeteri kadar kalın ve sağlam ise çatısını koruyarak altında lav tüneli oluşturmaktadır (Dragoni vd., 1995; Keszthelyi ve Self, 1998; Dragoni ve Santini, 2007) (Şekil 6c). Ancak, III. Evre'de lav tüneli oluşumlarından ziyade lav kanallarına rastlamak daha olasıdır.

Tümülüsler, önceden akmış ve tamamen veya kısmen katılaşmış olan lavın alttan daha sonra

gelen eriyik haldeki lav ile yukarı itilmesi sonucu kazanmış olduğu tümseğimsi (hummocky) bir topografya şeklinde tanımlanmaktadır (Şekil 6a; Macdonald, 1972; Rossi ve Gudmundsson, 1996). Üst kabuğun yerinden oynatılması sonucu tümülüsün orta kısmında bir çatlak oluşur. Genellikle sıçratma konileri ile birlikte bulunan tümülüsler diğer monojenetik çıkış merkezlerinin yer aldığı ana kırık sistemine de uyumluluk göstermektedir.

PETROGRAFI VE JEOKİMYA

İlk petrografik çalışmalar Washington (1900) tarafından yapılmış ve hornblend minerali ile karakterize edilen Kula bazaltlarına "Kulait" adı verilmiştir. Kula bazaltlarının mineralojik bileşimleri Çizelge 1'de özetlenmiştir. Hornblendelerin varlığı II. Evre ile başlamaktadır.. Tüm lav ürünleri porfirik dokuya sahip olup, olivin ve klinopiroksen mineralleri yaygın olarak görülmektedir. Bazaltlar içindeki minerallerin oranları oldukça değişkendir. Plajiyoklaz, genellikle mikrolit olarak izlenmektedir. Lösit, nefelin gibi alkali mineraller, hem fenokristal olarak, hem de hamur içerisinde mikrolit olarak gözlenmektedir. Oksit mineralleri (opak mineraller), tüm evrelerde, hamurda içerisinde, bol miktarda yer almaktadır. Hamurda açık renkli minerallerin mikrolitleri yanı sıra, olivin, klinopiroksen ve hornblend

Çizelge 1. Kula volkanik ürünlerine ait mineral birliktelikleri (Ol: olivin, Klp: klinopiroksen, Hb: hornblend, Pl: plajiyoklaz, Ne: nefelin, Lö: lösit)

Table 1. Mineral assemblage of the Kula volcanic products (Ol: olivine, Klp: clinopyroxene, Hb: hornblende, Pl: plagioclase, Ne: nepheline, Lö: leucite)

EVRE	Fenokristaller	Hamur
I. Evre (B-I)	Ol + Klp	Ol+Klp+Pl+Lö
II. Evre (B-II)	Klp+Hb+Lö	Klp+Hb+Pl
	Ol+Klp+Hb+Ne±Pl	Ol+Klp+Hb+Pl
	Ol+Klp+Hb+Lö	Ol+Klp+Hb+Lö+Pl
	Ol+Klp+Hb+Ne+Lö	Klp+Pl+Hb+Lö
III. Evre (B-III)	Ol+Klp+Hb	Ol+Klp+Hb+Pl±Ne±Lö
	Ol+Klp+Hb+Ne±Pl	Ol+Klp+Hb+Ne+Pl
	Ol+Klp+Hb+Lö	Ol+Klp+Hb+Lö+Pl
	Ol+Klp+Hb+Ne+Lö	Ol+Klp+Hb+Pl+Lö±Ne

gibi koyu renkli minerallerin mikrokristalleri de bulunmaktadır. Matriks kriptokristalin amfibol ve plajiyoklaz mikrolitleri, az miktarda opak mineral ve kahverengi volkanik cam ile temsil edilmektedir.

Klinopiroksenler, kayaçlarda yüzde hacim olarak en çok rastlanan fenokristaldır. Genellikle özşekilli olup, taze ve zonlu dokuya sahiptirler (Şekil 7a). Bazen renksiz, bazen de soluk yeşil renklerde olan klinopiroksen fenokristalleri, temiz ve düzgün kenarlı, kırılmış ve yuvarlaklaşmış, zonlu dokulu, kemirilmiş, cam kapanımlı, relikt (kalıntı) dokulu, süngerimsi dokulu ve kümülat dokulu olarak bulunmaktadır.

Olivinler, özşekilli olup, çoğunlukla hamurla reaksiyon halde izlenmektedir. Bu nedenle hem yenmiş, hem de yuvarlaklaşmış halde bulunmaktadır (Şekil 7b). Bazı olivinlerde çatlaklar gelişmiştir. Kimi zaman bu çatlaklar boyunca iddingsitleşmeler ve serpantinleşmeler gelişmiştir.

Hornblendler, genellikle kemirilmiş ve opak oksitler tarafından çevrelenmiş (opasitleşmiş) olarak izlenmektedir (Şekil 7c). Bazı kayaç gruplarında tamamen, kimisinde de kısmen opasitleşmeye uğrayan hornblendler sarımsı kahve kuvvetli bir pleokroyizmaya sahiptirler. Özellikle II. Evre'de bu minerallere kümülat halinde rastlanmıştır.

Plajiyoklaz, genellikle hamurda mikrolit olarak yer almaktadır. Fenokristal boyutunda olanlar, polisentetik ikizlenme göstermekte ve genellikle tozlu zon kuşakları içermektedirler (Şekil 7d).

Nefelin, genellikle prizmatik yapıya sahip olup, kayaçlarda nadir olarak gözlenmektedir. Bazı nefelinlerin de olivinlerde olduğu gibi, kemirildiği ve yuvarlaklaştığı da izlenebilmiştir.

Lösit, kayaçlarda fenokristal ve hamur içerisinde mikrolit olarak bulunmaktadır. Lösitler, genellikle agrega halinde olup, oksit ve klinopiroksen kapanımları içermektedir.

Opak mineraller hamurda bulunmaktadır. Genellikle özşekilli olup, bazen yuvarlağımsı şekillere sahiptirler. Hamurda serbest halde bulunabildiği gibi bazen diğer mineraller içerisinde kapanım olarak da izlenmektedir.

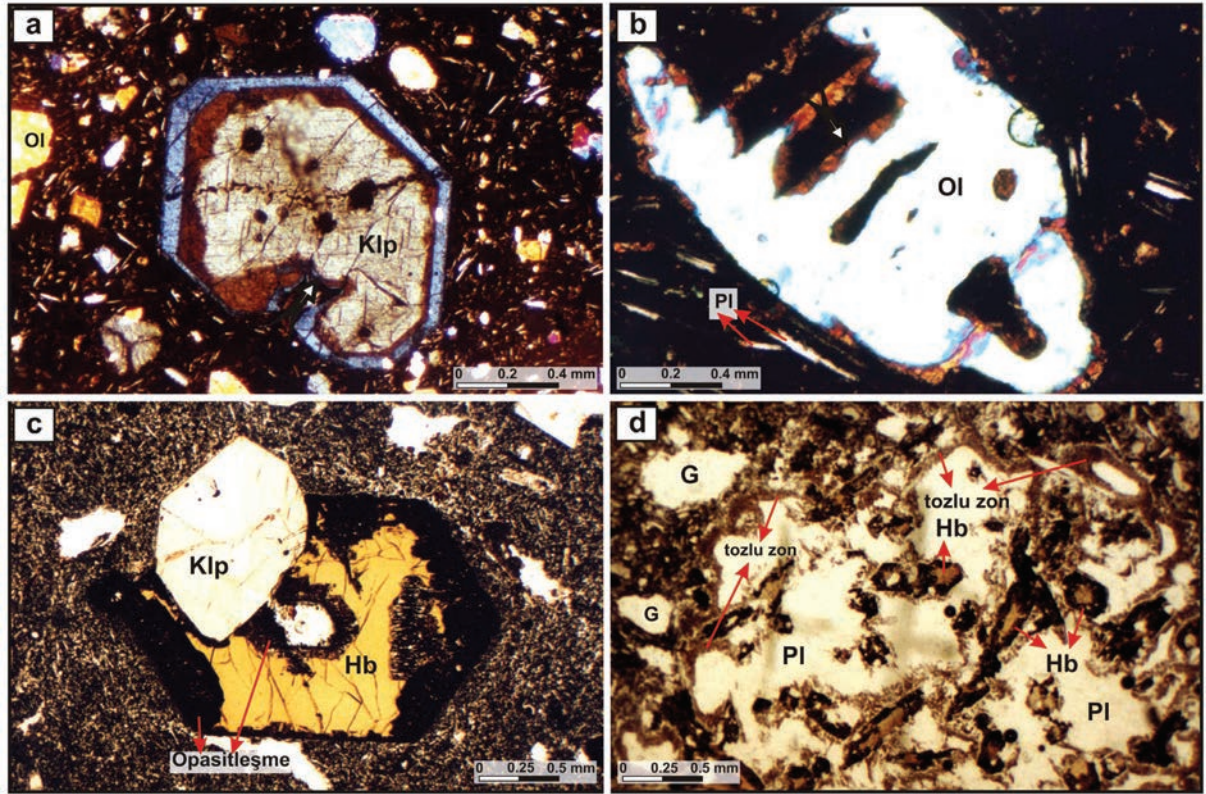
Hamur, çoğunlukla intersertal doku gösteren mikrolitlerden oluşmaktadır. Bazı kayaçlarda cam oranı, mikrolit oranından fazladır. Rengi, soluk kahve renklerden koyu kahve ve siyah renklere kadar değişmektedir. B-II ve B-III'e ait bazaltlar gaz boşluklarınca zengindir.

Kula volkanizması silise doygun olmayan lav ve piroklastiklerden oluşmaktadır. Kula volkanizmasına ait örnekler TAS (toplam alkali: % $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ve silis: % SiO_2) diyagramına yerleştirildiğinde (Şekil 8), I ve II. Evre bazaltlarının özellikle bazanit alanında, III. Evre bazaltlarının ise fonotefrit alanında toplandıkları görülmektedir (Alıcı vd., 2002; Şen, 2002). Lavların SiO_2 içerikleri %43 - %49 arasında ve toplam alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) içerikleri % 6 - %9.5 arasında değişmektedir. Tüm örnekler, Miyashiro (1978) Alkali-Kalkalkali kayaç ayırım sınıflamasına göre alkali karakter göstermektedir. I. Evreden III. Evreye doğru gidildikçe kayaçların alkali içeriğinde artış gözlenmektedir.

Kula volkanik ürünlerinin, okyanus ortası sırtı bazaltlarına benzer özellikler taşıdığı, manto yükselimine bağlı olarak litosferin incilmesi ile birlikte gelişen basınç ferahlaması sonucu astenosferin kısmi ergimesinden türediği ileri sürülmektedir (Yılmaz, 1989, 1990; Güleç, 1991; Seyitoğlu, 1997b; Aldanmaz vd., 2000; Tokçaeer vd., 2005; Dilek ve Altunkaynak, 2009 ve 2010; Karaoğlu vd., 2010; Ersoy vd., 2010, 2012). Kula volkanizması iz element ve izotop bileşimlerine göre ise, alt kıtasal litosfer ve astenosferik manto olmak üzere iki farklı kaynaktan fraksiyone olmuş eriyik karışımlarından türedikleri ve önemli bir kabuksal kirlenmeye uğramadıkları ortaya konulmuştur (Güleç, 1991; Alıcı vd., 2002; Grützner vd., 2013).

PİROKLASTİK ÜRÜNLERİN HACİMSEL HESAPLAMALARI

Kula bölgesindeki kesik koni morfolojisine sahip tam olarak 64 cüraf konisinin, hemen hemen kesik koni görüntüsü vermeyen 16 küçük koninin, 1 maar, 4 tuf halkasının ve bu monojetik volkanlardan etrafa yayılan piroklastik çökellerin hacimsel hesaplamaları yapılmıştır.



Şekil 7. Kula lavalarına ait mikro-fotoğraf görüntüleri (Klp: klinopiroksen, Ol: olivin, Hb: hornblend, G: gözenek, Pl: plajiyoklaz a) Zonlu doku gösteren klinopiroksen minerali, beyaz ok ile gösterilen kısımdan itibaren kemirilmiştir, II. Nikol, B-I, b) Kemirilmiş (iskeleti görülebilen) olivin minerali, II. Nikol, B-II, c) Kenar ve iç kısımdan opasitleşmiş özşekli hornblend minerali, I. Nikol, B-II ve d) Plajiyoklaz mineralleri. Kenarlarından itibaren cam kapanımları (tozlu zon) içermektedir. Kısım opasitleşmiş hornblend mineralleri kapanım olarak izlenmektedir, I. Nikol, B-II.

Figure 7. Microphotographs of the Kula lavas (Klp: clinopyroxene, Ol: olivine, Hb: hornblende, G: vesicle, Pl: plagioclase). a) Zoned clinopyroxene, it has embayed texture which is shown by white arrow, plane polarized, B-I, b) Embayed skeletal olivine, cross polarized, B-II, c) Euhedral hornblende mineral opacitized from rim and core, plane polarized, B-II and d) Plagioclase minerals with glass inclusions as dusty zone in the rim, plane polarized, B-II.

Metodoloji

Patlamalı olarak gerçekleşen monojenetik püskürmelere ait piroklastik ürünler kendi volkanik yapısını (koni veya maar) oluşturdukları gibi, malzelerinin önemli bir miktarını da çevreye yaydıkları çok iyi bilinmektedir. O nedenle, yapılan hacimsel hesaplamalar hem volkanik yapıyı hem de etrafa yayılan tüm piroklastik ürünleri kapsamaktadır.

a) Cüruf konileri

Cüruf konilerinin boyutları ve hacimsel ilişkileri Porter (1972), Wood (1980) ve Carn (2000)

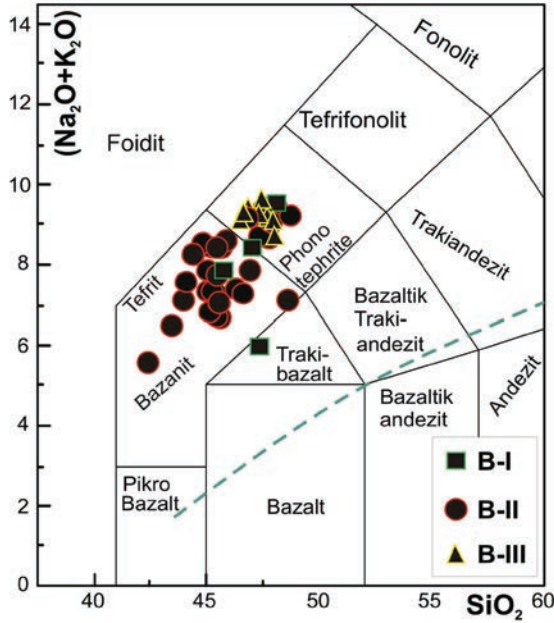
tarafından detaylı olarak çalışılmış ve bazı parametreler geliştirilmiştir (Şekil 9). Carn, (2000) yapılan hesaplamalarda genç cüruf konilerine ait istatistiki verileri kullanmıştır.

Porter, (1972) cüruf konilerinin boyutları arasındaki ilişkiyi aşağıdaki eşitliklerle ortaya koymuştur:

$$Hco = 0,18 \times Wco \quad (1)$$

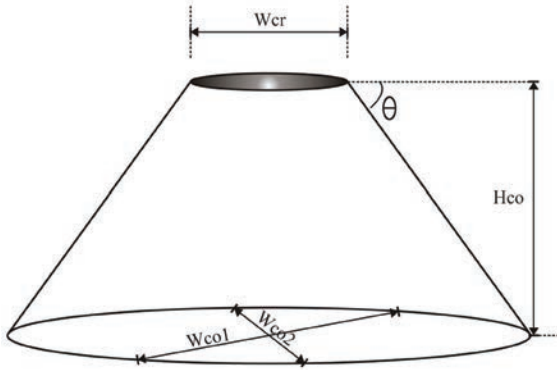
$$Wcr = 0,40 \times Wco \quad (2)$$

Bu eşitliklerde, Wcr, krater çapını; Wco, koni taban çapını; Hco, koni yüksekliğini tanımlamaktadır.



Şekil 8. Kula lavalarının Toplam alkali-silis diyagramı (Le Bas vd., 1986) üzerinde gösterimi (Şen, 2002; Alıcı vd., 2002).

Figure 8. Total alkali-silica diagram (Le Bas et al., 1986) of Kula lavas (Şen, 2002; Alıcı et al., 2002).



Şekil 9. Tipik bir cüruf konisinin şematik olarak gösterimi. Wcr: krater çapı, Wco1 ve Wco2: koni uzun ve kısa taban çapı, Hco: koni yüksekliği, θ : Yamaç eğimi (Wood, 1980; Carn, 2000).

Figure 9. Schematic diagram of a typical cinder cone. Wcr: crater diameter, Wco1 and Wco2: long and short basal diameter of cone, Hco: cone height, θ : cone slop angle (Wood, 1980; Carn, 2000).

Yapılan hesaplamalar için sırasıyla;

1). Koni hacmi (V_c) için, simetrik, kesik koni hacim formülü kullanılmıştır;

$$V_c = (\pi H_{co}) / 12 ((W_{cr}^2 + W_{cr} \times W_{co} + W_{co}^2)) \quad (3) \text{ (Hasenaka ve Carmicheal, 1985)}$$

Krater olmadığı durumlarda koninin üzerindeki topografik düzlem çap olarak kullanılmıştır. Karnıyarık konilerde ise karnıyarığı çevreleyen sırtların arasındaki mesafe krater çapı olarak kabul edilmiştir.

2). Krater çapından faydalanarak püskürüp giden piroklastiklerin hacmi (V_E) hesaplanmıştır;

$$V_E^{0.42} = 0,11 / W_{cr} \text{ (Sato ve Taniguchi, 1997)} \quad (4)$$

3). Buradan yola çıkılarak toplam hacim (V_T) bulunmuştur;

$$V_T = V_c + V_E \text{ (YKE)} \quad (5)$$

b) Maarlar

Parametrelerin saptanmasında arazi gözlemlerinin yanı sıra topografik haritalar ve hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. Maarların çeşitli morfolojik parametreleri Şekil 10'da verilmiştir. Maar oluşumu sırasında ortaya çıkan malzemelerin hacimsel hesaplamaları aşağıdaki eşitliklerden faydalanarak yapılmıştır:

- V_M : Krater tabanı ile yer arasında kalan kısmın hacmi (Silindirin hacim formülü kullanılmıştır; Carn, 2000)

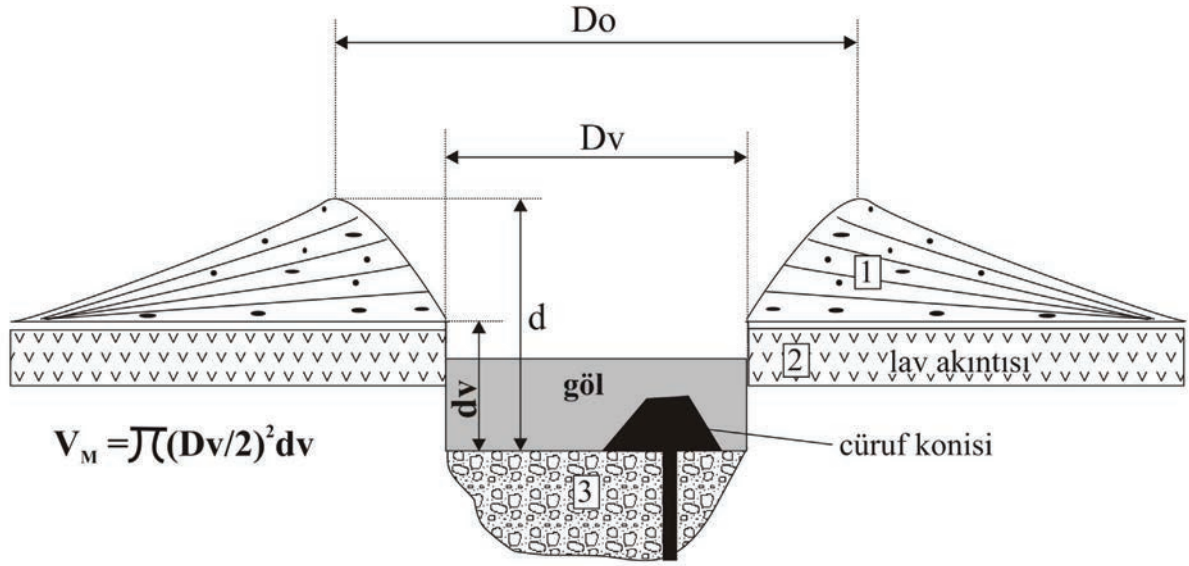
$$V_M = \pi (D_v / 2)^2 dv \quad (6)$$

Burada, D_v , krater taban çapı (m); D_v , krater tabanı ile yer seviyesi arasındaki yükseklik farkı (m)

Çukurada Maarında taban yüksekliği ile dış topografik yükseklik arasındaki farklılık nedeniyle bu hesaplama mümkünken tuf halkalarının topoğrafik özelliği nedeniyle mümkün değildir. Carn (2000)'ın yaptığı gibi, tuf halkaları için V_m hesabı yapılırken dv (krater tabanı ile yeryüzü arasındaki yükseklik farkı) miktarı 15 m alınmıştır.

- V_E : Toplam püsküren malzeme hacmi (Sato ve Taniguchi, 1997)

$$V_E = (D_o / 0,97)^{100/36} \quad (7)$$



Şekil 10. Tipik bir maarın şematik gösterimi. Do: ortalama krater çapı; d: toplam krater derinliği; Dv: yeraltı krater çapı; dv: yeraltı krater derinliği ve VM: maar oluşumu süresince açığa çıkan litiklerin tahmin edilen hacmini temsil etmektedir. Kare içerisinde gösterilen numaralardan (1): Maar çökellerini (taban yayılımı ürünleri); (2): maar öncesi ürünleri ve (3): maar diyatrem / patlama breşlerini ifade etmektedir (Carn, 2000).

Figure 10. Schematic diagram of a typical maar. Do: average crater diameter, d: total crater depth, Dv: sub-surface crater diameter, dv: sub-surface crater depth, VM: the estimated volume of lithic material excavated during the maar forming eruption, (1): base surge deposits, (2): pre-explosion rocks and (3): maar diatreme / explosion breccia (Carn, 2000).

Do, Krater ortalama çapı

- V_j : Püsküren juvenil magma miktarı (Carn, 2000)

$$V_j = V_E(YKE) - V_M \quad (8)$$

$V_E(YKE)$; Püsküren tüm malzemenin Yoğun Kayç Eşitliği

Bulgular

Cüruf konileri

Krater derinlikleri 1 m ile 50 m arasında değişmektedir. Kula bölgesindeki mevcut kraterlerin büyük çoğunluğu eşyükseklik eğrileri aralığından az olduğu için krater derinliği tanımlayıcı bir ölçüt olarak kullanılmamıştır. Konilerin morfolojik özellikleri kullanılarak kraterin yaşlı veya genç olduğu hakkında yaklaşımlarda bulunulmuştur. Aşınma durumu göz önüne alındığında, koni taban çapı / koni yüksekliği oranının (W_{co}/H_{co}) düşük çıktığı, buna karşın yüksek yamaç eğimlerinin (θ), ve çok iyi tanımlanmış

koni kraterlerin varlığının nispeten genç konilerde yaygın olduğu görülmektedir (Carn, 2000). Konilere ait çeşitli parametreler ve hacimsel hesaplamalar Çizelge 2’de verilmiştir.

Hesaplama yapılırken dikkat edilmesi gereken nokta, koniden püsküren piroklastiklerin YKE değerlerinin toplama dahil edilmesidir. Bunun için cüruf tanelerinin ortalama yoğunluğu hesaplanmış ve $1,8 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. YKE değeri, cüruf yoğunluğunun ($1,8 \text{ gr/cm}^3$) bazalt yoğunluğuna ($2,7 \text{ gr/cm}^3$) oranının verdiği katsayı ile V_E çarpılarak bulunmuştur. YKE doğruluk derecesi en fazla genç koniler için geçerli olmaktadır. Yaşlı konilerdeki aşınmalar, faaliyetle beraber gerçekleşen lav akıntıları ve krater yapıları nedeniyle hesaplanan değerler minimum değerde olacaktır (Carn, 2000). Bu kayıp Wood (1980) tarafından %20 olarak belirlenmiştir.

Ortalama koni taban çapı 553 m, medyan değeri ise 556 m olarak bulunmuştur. Wood, (1980) yaptığı çalışmada ise cüruf konilerinin

Çizelge 2. Cüruf konilerine ait istatistiksel veriler ve hesaplamalar. Tho: koni tabanının deniz seviyesinden yüksekliği, Kho: kraterin deniz seviyesinden yüksekliği, Hco: koni yüksekliği, θ : koni yamaç eğimi, Wcr: krater çapı, Wco: koni taban çapı, V_c : koni hacmi, V_e : püskürp giden ürünlerin hacmi (DRE: Yoğun kayaç eşitliği), ve toplam hacim: $V_t: V_c + V_e$ (DRE)'dir.

Table 2. Statistical data of the cinder cone and calculations. Tho: altitude of the cone basal from sea level, Kho: altitude of the crater from sea level, Hco: cone height, θ : cone slope angle, Wcr: crater diameter, Wco: cone basal diameter, V_c : cone volume, V_e : ejecta volume (DRE: dense rock equivalent), and total volume is: $V_t: V_c + V_e$ (DRE).

Koni Adı:	Koni No:	THo (m)	KHo (m)	$\theta(^{\circ})$	Wco1 (m)	Wco2 (m)	Wcr (m)	Wco/Hco	Krater	Lav akın.	Yarık	Evre	Wco (m)	Hco (m)	V_c ($10^6 m^3$)	V_e ($10^6 m^3$)	V_e (DRE) ($10^6 m^3$)	V_t ($10^6 m^3$)
Bağtepe	1	650	709	7.47	875	325	125	10.17	-	+	+	II	600	59	6.96	18.84	9.42	16.38
Toytepe	2	610	635	2.29	875	550	150	28.50	-	+	+	II	712.5	25	4.17	29.08	14.54	18.71
Delihasan T.	3	610	655	6.84	625	500	175	12.50	-	-	+	II	562.5	45	5.25	41.97	20.99	26.23
Bağtepe	4	610	635	2.86	1175	775	500	39.00	-	-	+	II	975	25	11.04	511.11	255.56	266.60
Bağtepesi	5	650	695	10.20	500	375	75	9.72	-	+	-	II	437.5	45	2.71	5.58	2.79	5.50
Tavşan T.	6	600	635	7.25	625	550	125	16.79	-	+	-	II	587.5	35	3.98	18.84	9.42	13.40
Elekçi T.	7	600	700	14.04	1325	1250	625	12.88	+	+	-	II	1288	100	74.65	869.47	434.74	509.39
Hacıhasan T.	8	600	730	18.00	1050	825	275	7.21	+	+	+	II	937.5	130	41.24	123.12	61.56	102.80
Kestaneli T.	9	680	820	21.80	1000	1000	175	7.14	+	+	+	II	1000	140	44.17	41.97	20.99	65.15
Divit T.	10	690	860	31.72	1225	1000	350	6.54	+	+	+	III	1113	170	77.82	218.63	109.31	187.14
Yarık T.	11	680	740	13.50	550	425	100	8.13	-	+	+	II	487.5	60	4.65	11.07	5.54	10.19
Sivri T.	12	690	730	5.71	875	700	200	19.69	+	-	+	II	787.5	40	8.56	57.68	28.84	37.40
Köfekelli T.	13	670	710	10.08	475	425	175	11.25	-	+	+	III	450	40	3.26	41.97	20.99	24.25
Bağhada T.	14	660	710	15.95	625	500	250	11.25	-	+	+	II	562.5	50	6.80	98.12	49.06	55.86
Boztepe	15	650	790	19.29	1000	825	200	6.52	-	+	+	II	912.5	140	38.65	57.68	28.84	67.49
Aytepe	16	800	890	16.70	700	675	175	7.64	-	+	-	II	687.5	90	14.69	41.97	20.99	35.67
Ada T.	17	590	615	8.13	500	375	200	17.50	-	+	+	II	437.5	25	2.09	57.68	28.84	30.93
Dirgendede T.	18	710	825	18.19	825	725	100	6.74	-	+	+	II	775	115	20.71	11.07	5.54	26.24
Küçükabaş T.	19	700	735	4.45	800	675	75	21.07	-	+	+	II	737.5	35	5.54	5.58	2.79	8.33
Bağtepesi	20	580	660	8.28	1025	1000	150	12.66	-	+	+	II	1013	80	25.11	29.08	14.54	39.65

Çizelge 2. Devam ediyor.

Koni Adı:	Koni No:	THo (m)	KHo (m)	$\theta(^{\circ})$	Wco1 (m)	Wco2 (m)	Wcr (m)	Wco/Hco	Krater	Lav akın.	Yarık	Evre	Wco (m)	Hco (m)	$V_c (10^6 m^3)$	$V_E (10^6 m^3)$	$V_E (DRE) (10^6 m^3)$	$V_T (10^6 m^3)$
Yarendede T.	21	550	580	4.90	625	475	150	18.33	-	+	-	II	550	30	3.20	29.08	14.54	17.74
Hızırlyas T.	22	800	915	15.14	1250	950	425	9.57	+	+	+	II	1100	115	55.91	347.11	173.56	229.47
Karadağ T.	23	850	930	10.08	1000	750	375	10.94	-	+	+	II	875	80	25.84	257.66	128.83	154.67
İsimsiz	24	870	890	9.09	325	225	75	13.75	+	-	-	II	275	20	0.53	5.58	2.79	3.32
Cevizli T.	25	860	950	9.29	1000	875	125	10.42	-	+	+	II	937.5	90	23.83	18.84	9.42	33.25
Erikli T.	26	850	950	14.04	1000	1000	350	10.00	+	+	+	II	1000	100	38.53	218.63	109.31	147.84
Kızıl T.	27	860	930	11.31	650	650	100	9.29	-	+	-	II	650	70	9.11	11.07	5.54	14.65
Bağtepesi	28	810	840	7.59	500	450	100	15.83	-	+	-	II	475	30	2.22	11.07	5.54	7.76
Boztepe	29	830	920	9.29	1000	750	225	9.72	-	+	+	II	875	90	23.86	76.35	38.18	62.04
İsimsiz	30	880	950	5.92	1250	1125	250	16.96	-	+	+	II	1188	70	32.41	98.12	49.06	81.47
Yağbasan*	31	830	875	8.53	650	575	250	13.61	-	+	+	II	612.5	45	6.96	98.12	49.06	56.02
İsimsiz	32	805	815	3.81	325	300	75	31.25	-	-	-	II	312.5	10	0.33	5.58	2.79	3.12
İsimsiz	33	800	814	4.57	350	325	50	24.11	-	-	-	II	337.5	14	0.49	2.13	1.06	1.55
Kırtıllı T.	34	800	840	7.59	750	600	125	16.88	-	+	-	II	675	40	5.82	18.84	9.42	15.23
İsimsiz	35	760	790	9.73	550	375	175	15.42	-	+	+	II	462.5	30	2.55	41.97	20.99	23.54
Uşaklıca T.	36	760	820	12.31	550	475	200	8.54	-	+	+	II	512.5	60	6.36	57.68	28.84	35.20
İsimsiz	37	710	750	7.59	550	350	100	11.25	-	-	-	II	450	40	2.70	11.07	5.54	8.23
Taşbağ Mevkii	38	735	745	4.57	325	300	100	31.25	+	-	-	II	312.5	10	0.36	11.07	5.54	5.90
İsimsiz	39	735	745	11.31	200	150	75	17.50	-	-	+	III	175	10	0.13	5.58	2.79	2.92
Erikli T.	40	770	880	12.41	1150	1000	275	9.77	+	-	+	II	1075	110	43.95	123.12	61.56	105.51
İsimsiz	41	735	790	20.14	425	350	125	7.05	+	+	+	III	387.5	55	3.08	18.84	9.42	12.50
Kaymakçı T.	42	780	870	14.42	1000	700	250	9.44	+	+	+	II	850	90	23.49	98.12	49.06	72.55

Çizelge 2. Devam ediyor.

Koni Adı:	Koni No:	THo (m)	KHo (m)	$\theta(^{\circ})$	Wco1 (m)	Wco2 (m)	Wcr (m)	Wco/Hco	Krater	Lav akın.	Yarık	Evre	Wco (m)	Hco (m)	V _c (10 ⁶ m ³)	V _E (10 ⁶ m ³)	V _E (DRE) (10 ⁶ m ³)	V _r (10 ⁶ m ³)
İsimsiz	43	780	800	14.93	275	225	75	12.50	+	+	+	III	250	20	0.45	5.58	2.79	3.25
Karadivrit T.	44	750	900	26.57	450	450	225	3.00	+	+	+	III	450	150	13.91	76.35	38.18	52.09
İsimsiz	45	710	735	7.13	375	350	75	14.50	-	-	-	II	362.5	25	1.07	5.58	2.79	3.87
Bağtepe	46	750	820	13.13	725	650	250	9.82	+	+	+	III	687.5	70	12.95	98.12	49.06	62.01
Cemal T.*	47	700	780	12.04	625	500	250	7.03	-	-	+	II	562.5	80	10.88	98.12	49.06	59.94
Kızıl T.*	48	700	740	12.88	750	625	125	17.19	-	-	+	II	687.5	40	6.01	18.84	9.42	15.43
İsimsiz	49	700	800	17.10	1050	1050	200	10.50	-	+	+	II	1050	100	35.39	57.68	28.84	64.23
İsimsiz	50	714	728	6.39	275	250	50	18.75	-	+	+	III	262.5	14	0.31	2.13	1.06	1.37
Ada T.*	51	690	750	9.09	750	625	375	11.46	-	-	+	II	687.5	60	13.68	257.66	128.83	142.51
İsimsiz	52	680	715	6.65	750	550	300	18.57	-	-	+	II	650	35	6.48	151.46	75.73	82.21
Kablaka T.	53	700	850	24.78	850	850	250	5.67	+	-	+	II	850	150	39.15	98.12	49.06	88.21
Sivri T.	54	750	900	19.44	825	700	275	5.08	-	+	+	II	762.5	150	34.02	123.12	61.56	95.58
Karakaya T.	55	750	850	14.93	700	700	200	7.00	-	+	+	II	700	100	17.53	57.68	28.84	46.37
Koca T.	56	810	950	12.63	1375	1100	350	8.84	+	+	+	II	1238	140	76.45	218.63	109.31	185.77
İğdeli T.	57	850	920	12.15	875	750	350	11.61	-	+	-	II	812.5	70	19.54	218.63	109.31	128.86
Divlit T.	58	640	770	27.47	700	675	250	5.29	+	+	-	III	687.5	130	24.05	98.12	49.06	73.11
İsimsiz	59	640	650	5.71	200	150	50	17.50	+	+	-	III	175	10	0.11	2.13	1.06	1.17
İsimsiz	60	610	660	45.00	225	225	75	4.50	+	+	-	III	225	50	0.96	5.58	2.79	3.75
İsimsiz	61	610	670	18.92	350	300	100	5.42	+	+	-	III	325	60	2.33	11.07	5.54	7.86
Küçükdivlit T.	62	250	300	26.57	400	325	125	7.25	+	+	+	III	362.5	50	2.52	18.84	9.42	11.94
Divlit T.	63	290	384	28.24	575	375	300	5.05	+	+	+	III	475	94	11.27	151.46	75.73	87.00
Taştepe	64	240	310	17.28	750	750	375	10.71	+	+	+	III	750	70	18.03	257.66	128.83	146.86

Çizelge 2. Devam ediyor.

Koni Adı:	Koni No:	THo (m)	KHo (m)	$\theta(^{\circ})$	Wco1 (m)	Wco2 (m)	Wcr (m)	Wco/Hco	Krater	Lav akin.	Yarık	Evre	Wco (m)	Hco (m)	$V_c (10^6 m^3)$	$V_E (10^6 m^3)$	$V_E (DRE) (10^6 m^3)$	$V_T (10^6 m^3)$
Fisüral	Kk1	680	705	26.57	100	100	5	4.00	-	+	-	III	100	25	0.07	0.01	0.00	0.07
Fisüral	Kk2	680	710	30.96	100	75	10	2.92	-	+	-	III	87.5	30	0.07	0.05	0.02	0.09
Fisüral	Kk3	680	705	26.57	100	100	12.5	4.00	-	+	-	III	100	25	0.07	0.08	0.04	0.11
Fisüral	Kk4	680	710	21.80	150	100	5	4.17	-	+	-	III	125	30	0.13	0.01	0.00	0.13
Fisüral	Kk5	680	710	25.64	125	100	12.5	3.75	-	+	-	III	112.5	30	0.11	0.08	0.04	0.15
Fisüral	Kk6	680	700	21.80	100	100	5	5.00	-	+	-	III	100	20	0.06	0.01	0.00	0.06
Fisüral	Kk7	680	690	11.31	100	100	10	10.00	-	+	-	III	100	10	0.03	0.05	0.02	0.05
Fisüral	Kk8	680	690	11.31	100	100	7.5	10.00	-	+	-	III	100	10	0.03	0.02	0.01	0.04
Fisüral	Kk9	250	280	11.31	300	200	50	8.33	+	+	-	III	250	30	0.61	2.13	1.06	1.67
Fisüral	Kk10	250	280	13.50	250	125	50	6.25	+	+	-	III	187.5	30	0.37	2.13	1.06	1.43
Fisüral	Kk11	250	280	16.70	200	100	25	5.00	+	+	-	III	150	30	0.21	0.41	0.20	0.42
Fisüral	Kk12	250	275	14.04	200	100	25	6.00	+	+	-	III	150	25	0.18	0.41	0.20	0.38
Fisüral	Kk13	250	270	14.93	150	125	25	6.88	+	+	-	III	137.5	20	0.12	0.41	0.20	0.32
Fisüral	Kk14	250	270	14.93	150	125	12.5	6.88	+	+	-	III	137.5	20	0.11	0.08	0.04	0.15
Fisüral	Kk15	250	265	16.70	100	100	12.5	6.67	+	+	-	III	100	15	0.04	0.08	0.04	0.08
Fisüral	Kk16	250	265	16.70	100	100	12.5	6.67	+	+	-	III	100	15	0.04	0.08	0.04	0.08
Ortalama:				14.13				11.34					552.5	58.6	13.3	73.7	36.8	50.1
Medyan:				12.75				9.80					556.3	45.0	5.4	18.8	9.4	18.2

küresel ortalama taban çapı değerini 900 m ve medyan değerini 800 m bulmuştur. Kula bölgesindeki cüruf konilerine ait taban çaplarındaki değerler evrensel değerlerin altında çıkmıştır. Ayrıca, ortalama ve medyan değerleri arasında 3 m gibi ihmal edilecek ölçüde bir fark bulunmaktadır. İhmal edilebilecek bu küçük fark KVA'daki cüruf konilerinin yaklaşık aynı fiziksel özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Çünkü, bu çalışmada ortalama yerine medyan kullanılmasının amacı konilerin fiziksel yapısındaki heterojenliğin sonuca yansıtacağı etkiyi azaltmak ve doğruya çok daha fazla yaklaştırmaktır. Nitekim, konilerin aşınma oranlarını sadece zaman belirlememektedir. Konilerin fiziko-morfolojik içyapısı en az zaman kadar önemli olmaktadır. Başka bir deyişle, yaşlı olduğu halde son derece dayanıklı yapıya sahip olan bir koni uzun süre varlığını devam ettirecek, diğerleri aşınırken kendisi erozyondan en az etkilenen konumda olacaktır. Bu durumda, konilerin aşınmasında kullanılan ortalama değerlerde de önemli sayılabilecek sapmalar meydana gelecek ve doğrudan uzaklaşmış olacaktır.

Kula volkanizmasına ait sadece konilerin hacim toplamı (V_c) 1,063 km³ ve konilere ek olarak püsküren piroklastik ürünlerin hacim toplamı (V_e) 5,895 km³ (2,947 km³ YKE) olarak hesaplanmıştır. Tüm değerlerin toplamı ise ($V_T = V_c + V_{e(YKE)}$) 4,01 km³ olarak tespit edilmiştir. Ancak, Carn (2000) cüruf konilerinin hacmini hesaplarken kesik konileri tüm katı olarak değerlendirmiştir. Bu durumda koniyi oluşturan ürünler arasındaki boşluğu ve aynı zamanda cüruf tanelerinin gözenekliliğini de ihmal etmiştir. O nedenle bu çalışmada hesaplamalar yapılırken konilerin yığın yoğunluğu da ele alınmıştır.

Cüruf konilerinin yığın yoğunluğunu 0,8 gr/cm³ olarak kabul ettiğimiz ve yoğun kayaç eşitliğine (2,8 gr/cm³) oranladığımızda tüm konilerin toplam V_c değeri:

$V_{CT} (YKE) = V_{CT} \times (0,8 / 2,8) = 1,063 \times (0,8/2,8) = 0,304 \text{ km}^3$ olarak yeniden hesaplanması gerekmektedir. Bu düzeltilmeden sonra Kula'daki cüruf konilerinin ve onların cüruf geri-düşme ürünlerinin YKE miktarı ($V_T = V_{CT} (YKE) + V_e (YKE)$), 3,25 km³ olarak bulunmuştur.

Maarlar

Maarlarla ilgili yapılan hacimsel hesaplamalar Çizelge 3'te verilmiştir. Burada, dikkat edilmesi gereken en önemli parametre, püsküren malzemenin depolandıktan sonra sahip olduğu yığın yoğunluğudur. Taban yayılımı ürünlerindeki kül ve litik oranı cüruf konilerdeki piroklastik ürünlere göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, Aramaki vd.'nin (1986) maar ürünleri için buldukları ortalama 1,3 gr/cm³'lük yığın yoğunluk değerinin cüruf konilerinkinden daha fazla çıkması normaldir. Jüvenil kırıntının yoğunluğu cüruf konilerinde olduğu gibi yine 1,8 gr/cm³ olarak alınmıştır. Bu değerler katı bazalt kayacın yoğunluğuna oranlanınca 0,46 (V_e için) ve 0,64 (V_j için) sonuçları çıkmıştır. Bu şekilde püsküren malzemenin yoğun kayaç eşitliği $V_{e(YKE)} : V_e$ değerinin 0,46 ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. V_j değeri, zaten yoğun kayaç eşitliği şeklindedir. Püsküren jüvenil magmanın da doğada ne kadar hacim kaplayacağını öğrenmek için V_j , 100/64 değeri ile çarpılmıştır (Çizelge 3).

Sonuçlara bakıldığında maar oluşturan püskürmeler sırasında ortaya çıkan malzeme miktarı 0,36 km³ (YKE) olarak bulunmuştur. Ortaya çıkan jüvenil magma miktarı ise 0,34 km³ (YKE) olarak hesaplanmıştır. Bu değere cüruf konilerinden çıkan toplam tefra değerini de eklediğimizde, Kula'da üretilen toplam piroklastik çökellerin YKE miktarı ~3,6 km³ olarak hesaplanmaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tektonik Kontrol ve Hızlı Yükselim

Tektonik gerilme hatları monojenetik volkanların yeryüzündeki dağılımını belirleyebilmektedir (Chadwick ve Dieterich, 1995; Ramos ve Folguera, 2011; Cebriá vd., 2011, Gudmundsson, 2012). Tansiyonel kırıklar, normal faylar ve graben gibi genleşme yapılarıyla beraber bulunan volkanik merkezlerin büyük çoğunluğu ana tektonik hatlara paralellik göstermektedir (Rubin ve Pollard, 1988; Gudmundsson, 2002; Klügel vd., 2005). Bu olay Kula monojenetik volkanlarının diziliminde açıkça görülmektedir. Kula monojenetik volkanlarının bulunduğu alan elipsoidal

Çizelge 3. Kula maarlarına ait morfoloji ve istatistiksel bilgiler. Hcr1: Krater sırtının deniz seviyesinden yüksekliği, Hcr2: Krater tabanının deniz seviyesinden yüksekliği, Dmax, Dmin ve Do: kraterin büyük, küçük ve ortalama çapı, Dv: Kraterin taban çapı, d: Toplam krater derinliği, Do/d: Maarın zaman ve erozyon ile olan ilişkisini incelemek için hesaplanmıştır, Dmax/Dmin: Kraterin şekli ölçmek için hesaplanmıştır (1=yuvarlak, >1=elipsoyidal), V_M : krater tabanı ile yer seviyesi arasında kalan kısmın hacmi, V_E : Kraterden çıkan tüm partiküllerin hacmi ($D=0.97V_0.36$: sato ve Taniguchi, 1997. Burada D: Krater çapı, V: Çıkan piroklastiklerin hacmidir), ve V_J : Jüvenil magmanın hacmi. a: $dv=15$ m; ve $b=40$ m'dir.

Table 3. Morphology of Kula maars and statistical data. Hcr1: altitude of crater summit from sea level, Hcr2: altitude of crater floor from sea level, Dmax, Dmin and Do: maximum, minimum and average crater diameter, respectively, Dv: crater floor diameter, d: total crater depth, Do/d ratio is calculated to sea relationship between time and erosion. Dmax/Dmin ratio is calculated to measure crater shape (1 = circular, >1 = ellipsoidal), V_M : maar volume between the crater floor and the pre-eruption topography, V_E : total ejecta volume Kraterden çıkan tüm partiküllerin hacmi ($D=0.97V_0.36$: Sato and Taniguchi, 1997. D: crater diameter, V: volume of pyroclastics), and V_J : volume of juvenile magma. a: $dv=15$ m and $b=40$ m.

Maar Adı:	Maar No:	Hcr1 (m)	Hcr2 (m)	Dmax (m)	Dmin (m)	Do (m)	Dv (m)	d (m)
Yağbasan Tepe	M1	875	810	875	825	850	350	65
Cemal Tepe	M2	713	680	1125	850	987.5	625	33
Kızıl Tepe	M3	715	695	875	725	800	600	20
Çukurada	M4	720	610	1000	800	900	375	110
Divlit Tepe	M5	300	260	875	600	737.5	325	40
Maar Adı:	Maar No:	Do/d	Dmax/Dmin	$V_M (10^6 m^3)$	$V_E (10^6 m^3)$	$V_E (DRE) (10^6 m^3)$	$V_J (10^6 m^3)$	$V_J (DRE) (10^6 m^3)$
Yağbasan Tepe	M1	13.1	1.061	1.44a	149.29	68.6717	104.58	67.229
Cemal Tepe	M2	29.9	1.324	4.6a	226.41	104.151	154.86	99.551
Kızıl Tepe	M3	40	1.207	4.24a	126.15	58.0286	83.673	53.79
Çukurada	M4	8.18	1.25	4.42b	174.97	80.4882	118.34	76.073
Divlit Tepe	M5	18.4	1.458	1.24a	100.64	46.2923	70.076	45.049
Toplam				15.94	777.459	357.6313	531.519	341.691

olup, iki farklı yönde uzanım göstermektedir (Şekil 2). Bu yönler KD-GB (Selendi baseninin uzanımı) ve KB-GD (Gediz Grabeninin uzanımı) şeklinde gelişmektedir. Monojenetik yapıların bazılarının ana doğrultulardan saparak farklı doğrultulardaki kırık zonlarını takip ettiği düşünülmektedir (Şekil 2). Yer içindeki magmanın diapirik yükselimi yüzeyde değişik uzanımlı çatlak ya da kırıkların oluşmasına neden olmaktadır (Chadwick ve Dieterich, 1995). Monojenetik volkan bölgelerinde her yapının sadece bir defa püskürdüğü kabul edilmektedir (Walker, 1999). Bu nedenle monojenetik yapıları besleyen magmaların aynı yolu izlediği düşünülemez. Yaklaşık iki milyon yıldan tarihsel zamana kadar,

sadece belirli zaman aralıklarında püskürmelerin meydana geldiği Kula bölgesinde, Grützner vd. (2013) magmanın Moho Sınırından yüzeye ulaşma zamanını 4-11 gün olarak hesaplamışlardır. Ancak, II. Evreden itibaren lav ve piroklastik ürünlerin içerisinde rastlanılan değişik türdeki ultramafik anklavlar (kümülatlar), Kula volkanizmasında iki önemli kanıtın varlığına işaret etmektedir:

- Etkili bir fraksiyonel kristalleşme süreci (Çakır vd., 1999; Şen, 2002; Holness ve Bunbury, 2006; Grützner vd., 2013),
- Magmanın yüzeye hızlı bir şekilde yükselmesi (Tokçaeer vd., 2005; Holness ve Bunbury, 2006; Grützner vd., 2013).

Anklavlar (genellikle $3.0-3.3 \text{ g/cm}^3$) bazaltik magmaya (2.75 gr/cm^3) göre daha yüksek yoğunluğa sahiptir ve çapları 0.1 mm 'den büyük olduğunda onları taşıyan 10^3 Pas viskoziteye sahip Newtonian magma içinden geçme hızı 1 cm/s 'den büyüktür (Sparks vd., 1977). Lav akıntıları ve piroklastik ürünlerin içerisindeki anklavların yoğunluğu ve büyüklüğü bu hızın aslında çok daha yüksek olduğunu göstermektedir. Nitekim, Kula'daki anklavların ortalama çapı 5 cm olup, maksimum 30 cm 'yi bulmaktadır (Şen, 2002). Ayrıca, anklavların varlığının yanı sıra 5.9 km^3 'lük püsküren magma hacmi de volkanizmanın hızlı bir şekilde gerçekleştiğinin kanıtı sayılabilir (Panter vd., 1994). O nedenle, yukarıda bahsedilen bu iki kanıt birbiri ile çelişmektedir. İkinci kanıtın tersine, birinci kanıtla göre anklavların fraksiyonel kristalleşme ile oluşumu için zamana ihtiyaç vardır. Ayrıca, yarı kristalin bir magma kütlelerinin yüzeye hızlı bir şekilde çıkması da beklenemez. Bölgedeki astenosferik mantonun etkili bir şekilde yükselmesi 2 milyon yıl önce başlamaktadır (Seyitoğlu, 1997b; Aldanmaz vd., 2000; Dilek ve Altunkaynak, 2009 ve 2010; Karaoğlu vd., 2010; Ersoy vd., 2010, 2012). Bu dönemde I. Evre bazalt akıntıları oluşmaktadır. Anklav taşıyan II. Evre volkanik ürünlerin ilk oluşum yaşı ise yaklaşık 300 bin yıldır. Holness ve Bunbury (2006), II. Evre volkanik ürünlerini oluşturan magmanın ilk olarak alt kabuk içerisinde toplandığını, burada fraksiyonel kristalleşmeye uğrayarak yarı eriyik bir hal aldığını ve tam katılaşma gerçekleşmeden aşağıdan gelen aynı kökenli diğer bir magma tarafından hızlı bir şekilde yüzeye taşındığını ifade etmektedir.

Lav Akıntıları

KVA'da, I. ve II. Evre'de plato lavları ve III. Evrede 'a'a lavları olmak üzere iki tip lav akıntısı meydana gelmiştir. Bir lav akıntısını tanımlarken kullanılan en önemli parametreler lav akıntısının çıkış merkezi, yayılımı, kalınlığı, çevre kayalarla olan dokanak ilişkisi ve fiziksel özellikleri şeklinde sıralanabilir.

I. Evre Plato bazaltlarına ait çıkış merkezleri tam olarak belirlenememiştir. Bunun nedeni erozyondan sonra lav akıntılarının günümüzdeki dağılımının çok sınırlı olmasıdır. Bir diğer nedeni

ise morfolojisinin düzgün bir plato şeklinde olmasıdır. Plato bazaltları genellikle tekrarlanmalı olarak meydana gelirler ve basamak tipi yapılar oluştururlar (White ve McKenzie, 1989). Ancak, Kula'da meydana gelen bu akıntılar tek bir seviyeden oluşmaktadır. I. Evrenin plato bazaltları masif bir görünüme sahiptir. Gözeneklilik oranının düşük olması lavların yeryüzüne yayılma- dan önce magmadaki gazların ortamı kolay bir şekilde terkettiğini göstermektedir (Greenough vd., 1999).

II. Evre bazalt akıntıları Kula volkanizmasının en yüksek hacimli faaliyetlerini içermektedir. Çıkış merkezlerini ise cüruf konileri oluşturmaktadır. I. Evre bazaltlarından farklı olarak, belirgin bir fiziksel bozunmaya (soğan kabuğu alterasyonu) uğramışlardır. Bozunmanın etkili olmadığı yerlerde I. Evre plato bazaltlarına benzerlik göstermektedir. Ancak, soğumaya bağlı olarak gelişen sütun yapıları oldukça düzensizdir.

Püskürme merkezleri belirgin olan III. Evre 'a'a bazalt akıntıları ise morfolojik görüntüsü ve rengi bakımından diğerlerinden oldukça farklıdır. Bloklı dış yüzeyi, daha masif ve sütun yapılı içyapısı ve akma breşlerinin meydana geldiği tabanı ile karakterize edilmektedir. Lav akarken gazların ortamı terk etmesi nedeniyle soğuma hızlı bir şekilde gerçekleşerek, lavın katılaşan dış kabuğu akma hareketi sonucu parça parça kırılarak, üst üste yığılmaktadır (Cashman vd., 1999). O nedenle akıntının yüzeyi irili ufaklı keskin bloklardan oluşmaktadır.

Kula'daki lav akıntıları, tabanından tavanına doğru dikey kesitleri boyunca değişik gözeneklilik oranlarına ve seviyelerine sahiptirler (Aubele vd., 1988). Ayrıca, gözenek çapları ve şekilleri de farklılıklar göstermektedir. Lavın tabanından tavanına doğru gerçekleşen kristalleşmeler (mikrolit oluşumu) ve bu sırada yükselen gaz kabarcıkları akıntının içerisinde gözenekli seviyelerin oluşmasına neden olmaktadır (Sahagian, 1985). Kabarcıklar tabandan yukarı yükseldikçe küçük çaplı olanlar kristal önlerinde tutularak ilerlemesi durdurulurken, büyük çaplılar kaçarak akıntının üst seviyelerine doğru ilerler (Sahagian vd., 2002). Orta seviyeye yaklaşıldığında gözenek hacmindeki küçülme, bazalt akıntısının alt-orta ve üst kısmının farklı soğuma hızına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır (McBirney

ve Murase, 1971; Sparks 1978). Akıntının iç kısmında soğuma daha yavaş olduğu için buradaki kabarcıklar birbirleri ile birleşmek için yeteri kadar zaman bularak, soğumanın daha hızlı olduğu üst seviyelere doğru hareket etmektedirler (Sahagian vd., 2002). Lavların iç kısımlarının gözenek bakımından fakir olmasının nedeni de bu şekilde açıklanabilir. Mikrolit içeriği zengin olan bazaltik magmalarda kabarcık büyümesi sınırlıdır (Gonnermann and Houghton 2012). Gözeneklilik miktarı en düşük olan I. Evre plato bazaltları diğer evrelerdeki bazaltlardan daha fazla mikrolit içeriğine sahiptir.

Gözenek hacmindeki değişiklikler, uçucuların miktarına ve gözenek çekirdeklenme hızındaki değişikliklere bağlıdır (McBirney ve Murase, 1971). Eğer lav akıntısının üst seviyeleri normalden daha hızlı soğursa, gözenek hacmi küçülmekte fakat gözeneklilik miktarı artmaktadır. Bunun nedeni gözenek hücrelerinin lavın hızlı soğumasına bağlı olarak gelişimini tam olarak tamamlayamadıklarından kaynaklanmaktadır (Sparks 1978).

Cüruf Konileri

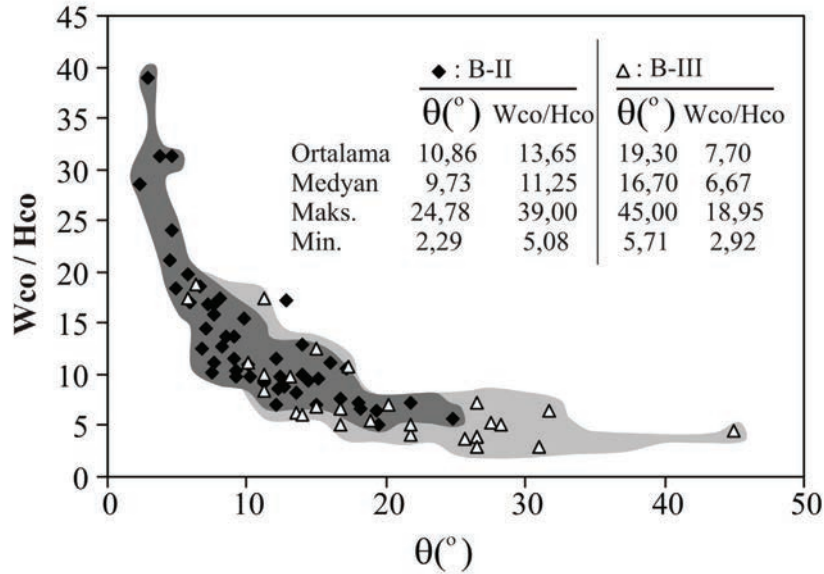
KVA'daki cüruf konilerinin birçoğu cüruf geri-düşme ürünlerinden oluşmaktadır. Bazılarında ise lav ve cüruf katmanlarının ardalanmalı şekilde tekrarlandığı gözlenmektedir. Bu durum faaliyetin patlamalı volkanizmadan, efüzif volkanizmaya geçişi ile meydana gelmektedir. Ancak, lav katmanlarının yer almadığı cüruf konilerinin olması, o koni için efüzif faaliyetin gerçekleşmediği anlamına gelmemektedir. Özellikle karniyarık tipi cüruf konileri, efüzif faaliyetin en önemli kanıtı olarak gösterilebilir. Koniye oluşturan cüruf geri-düşme ürünleri siyah veya kırmızı renktedirler. Bu tür renk farklılıkları magmanın çıkış noktasının değiştiğini göstermektedir. Kırmızı renkli cüruflar çıkış noktasına yakın kesimlerde bulunmakta ve sıcak bir oksitlenmeyi karakterize etmektedir (Carmichael, I.S.E., 1991; Hanson vd., 2008).

Cüruf ve küllerin pekişme oranı düşük olduğu için erozyona karşı nispeten duyarsızlardır. Bu nedenle koninin yüksekliğinde, krater derinliğinde ve yamaç eğiminde azalmalar gözlenecektir. Cüruf konilerindeki aşınma durumunu

ve dolayısıyla yaş ilişkilerini incelemek amacıyla Wco/Hco oranı ile θ değeri kullanılmıştır. Bu şekilde aynı evreye ait koniler arasında da bir takım karşılaştırmalarda bulunmak mümkün olmaktadır. Mevcut veriler, aşınma miktarı arttıkça II. Evre cüruf konilerinde Wco/Hco oranının arttığını, θ değerinin azaldığını göstermektedir (Şekil 11). Cüruf konilerinin aşınma miktarını daha iyi belirlemek amacıyla Kula volkanik bölgesinin ASTER GDEM v2 Sayısal Yükseklik Modelinden türetilmiş eğim haritası kullanılmıştır (Şekil 12). Açıkça görülmektedir ki; 10, 41, 44, 58, 59, 60, 62 ve 63 numaralı III. Evreye ait koniler daha koyu renk tonlarına sahip olup, en yüksek yamaç eğimi değerlerine sahiptirler. Diğer taraftan, II. Evreye ait 7, 9, 16, 40, 49, 53, 54, 56, ve 64 numaralı (Şekil 12'de italik ve noktalı olarak belirtilmiştir) koniler de belirtilen III. Evre konilerine yakın renk tonlarına sahip olmaktadır. Bu nedenle II. Evreye ait olan bu konilerin yaş bakımından III. Evre konilerine yakın olabileceği düşünülmektedir. Ancak, koniler sadece cüruf yığınlarından oluşmamaktadır (Şekil 4d). Koniye oluşturan lav katmanları ve sıçratma lav parçaları varlığının aşınma miktarını önemli ölçüde yavaşlatacağı da unutulmamalıdır (Wood, 1980). Riedel vd. (2003) püskürmenin lav sıçratmaları şeklinde gerçekleşmesi durumunda, koni yüzeyinde düşen yarı eriyik parçaların birbirleri ile kolayca kaynaklandığını ve buna bağlı olarak dreneje izin vermeyen katmanların oluştuğunu ifade etmişlerdir. Böylece konilerin taban çapı sabit kalırken, yükseklik değeri artış gösterecek ve Wco/Hco değeri düşecektir. Başka bir ifadeyle, tüm konilerin morfometrik sınıflaması yapıldığında, koni yaşlı olsa bile genç konilerin arasında yer alabilmektedir.

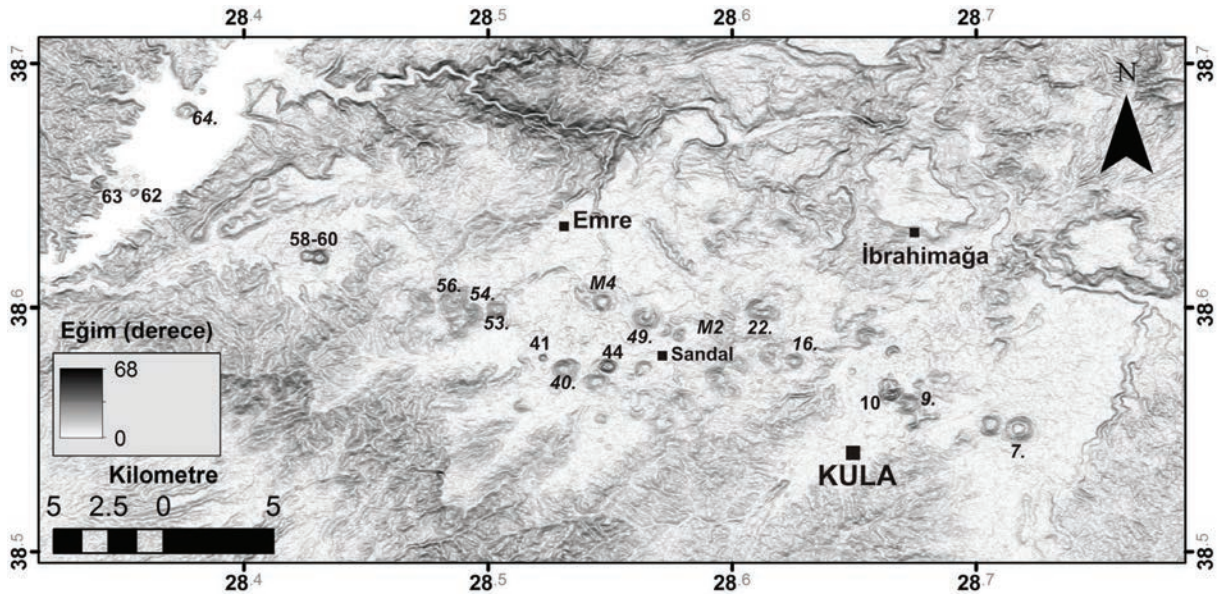
Maarlar

Eğim haritasından da anlaşıldığı gibi morfolojik olarak en belirgin maar Çukurada Maar'ıdır (M4, Şekil 12). Bunun nedeni diğerlerine göre daha derin bir patlama hikayesine sahip olmasındandır. Diğer maar türleri düşük eğim yamaçlı tüf halkalarından oluştukları için eğim haritasında ayırt edilememektedir. Maar oluşumunu takiben, lav çıkışı ile birlikte maar kenarında veya içerisinde koni / konilerin oluşması mümkün olmaktadır. Bu olay volkanizmanın hidromagma-



Şekil 11. Cüruf konilerinin aşınma derecesini gösterir yamaç eğimi (θ) – koni taban çapının yüksekliğe oranı (W_{co}/H_{co}) grafiği.

Figure 11. The diagram of slope angle (θ) versus cone basal diameter to height ratio (W_{co}/H_{co}).



Şekil 12. Kula volkanik bölgesinin ASTER GDEM v2 Sayısal Yükseklik Modelinden türetilmiş eğim haritası. Koordinat sistemi CKS, datum WGS84. Koni isimleri için Çizelge 2'ye bakınız.

Figure 12. Slope map of Kula volcanic region derived from Digital Elevation Model of ASTER GDEM v2. Coordinate system GCS, datum WGS84. Look at Table 2 for the cone name.

tik (freatomagmatik) faaliyetten magmatik faaliyete dönüşmesi şeklinde açıklanabilir. KVA'daki uç tuf halkasının (M1, M3 ve M4) krater içleri ve sırtları kısmen veya tamamen örtülmüştür. KVA

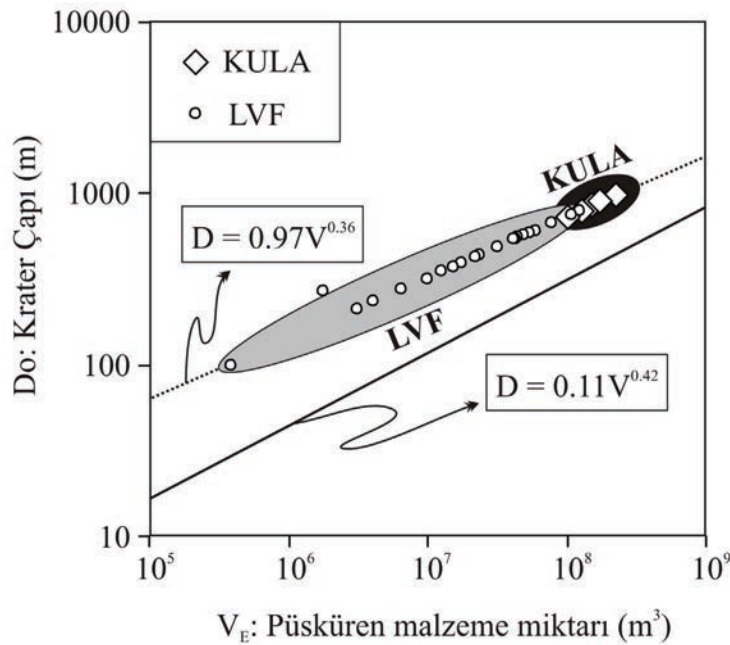
gibi cüruf konilerinin yoğun olduğu alanlarda, tuf halkalarının morfolojik olarak ayırt edilmesi bazen zor olmaktadır. Bu nedenle arazide maar oluşumunu karakterize eden taban yayı-

lımı ürünlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Taban yayılımı ürünleri kendisine özgü bir takım sedimanter yapılar içermektedir. Bu sedimanter yapıların arazideki en önemli özelliği, taban yayılımı ürünlerinin nereden gelebileceğini (muhtemel patlama merkezi yönü) ve ne yöne doğru ilerlediğini göstermesidir (Fisher ve Schmincke, 1984; Cas ve Wright, 1987; Brand ve White, 2007; Ort ve Núñez, 2009). Sedimanter yapılardan biri çapraz tabakalı kumul tepeciklerdir. Akış çizgilerinin birbirini kestiği yer patlama merkezi yönünü göstermektedir (Şekil 5e). Bir diğeri ise, çarpma-çökme yapısıdır. Balistik bir yörüngede hareket eden bloklar taban yayılımı ürünlerinin üzerine düştüklerinde, çarptığı yerde asimetrik bir çökme meydana getirirler. Asimetrik çökmede kül katmanlarının en fazla sıkışıp, deformasyona uğradığı yer, bloğun ilerleme yönünü vermektedir (Şekil 5e).

Maarlarda çap ve derinlik oranı (Do/d) maarlarda aşınma miktarını ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Bu oran en genç maarlarda 4 - 6 arasında olup, yaşlandıkça aşınmanın ilerleyip krateri doldurmasıyla yaklaşık 10'u bulmaktadır (Wood, 1974; Kienle vd., 1980; Cas ve Wright, 1987).

Kula'daki maarlarda Do/d değerleri, 8 ile 40 arasında değişmektedir. Ancak, bu tür yorumlar yapılırken krater içinin sonraki püskürmelerle veya aşınma ile dolabileceği göz önüne alınmalıdır (Abrams ve Siebe, 1994). Nitekim, Kula'daki maarlarda krater kenarlarında çıkan cüruf konisine ait projeksiyon ve lav ürünleri krater içini kısmen doldurulmuştur. Bu nedenle "d" değeri küçülmüş ve Do/d oranı artmıştır (Şekil 10).

Çizelge 3'teki V_j değerleri karşılaştırıldığında en fazla juvenil magma içeriğinin Cemal Tepe Maarı'na (M2) ait olduğu görülmektedir. Krater çapı büyüdükçe çıkan malzeme miktarı artmaktadır. Bu iki parametre arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 13). Şekil 13'te, noktalı çizgi ile gösterilen doğrunun denklemi $D=0.97V^{0.36}$ olarak belirlenmiştir. Burada, D krater çapını ve V_E püsküren malzemenin hacmini temsil etmektedir. Gri alanla taranan kısım Endenozya'daki Lamongan volkanik bölgesine (LVF) aittir (Carn, 2000). Kula bölgesine ait 5 maarın düştüğü bölge siyahla taranmış olup krater çapı ve püsküren malzeme miktarı bakımından LVF'den daha yüksek değerlere sahiptir. Kesiksiz çizginin eğim denklemi ise $D = 0,11 \times V^{0.42}$ 'dir ve cüruf konilerini temsil etmektedir.



Şekil 13. Krater çapına karşılık (Do) püskürme miktarı (VE) grafiği (Sato ve Tanuguchi, 1997).

Figure 13. The diagram of crater diameter (Do) versus ejecta volume (VE) (Sato and Tanuguchi, 1997).

Görüldüğü gibi freatomagmatik püskürmelerin krater çapları cüruf konilerinkinden 2 ile 5 arasında daha geniş olmaktadır. Buna karşılık benzer hacimde piroklastik malzeme üretmektedirler.

Bölgede yaşlandırma ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmış ve halen de devam etmektedir. Ancak monojenetik volkanların sayısı oldukça yüksek olduğu için bundan sonraki yapılacak yaş tayinleri için konilerin aşınma oranları gruplandırılıp, bu gruplara göre örnek seçimi daha doğru olacaktır. Ayrıca, Bunbury (1996)'nin, Kula bazalt akıntılarının hacmini 2,3 km³ bulduğu düşünülürse, Kula'daki piroklastik ürünlere ait hacimlerin hiç de küçümsenmeyecek ölçekte olduğu rahatlıkla görülmektedir. Bunbury (1996) tarafından hesaplanan lavların hacmine piroklastik ürünlere ait değerler de eklendiğinde KVA'daki volkanik ürünlerin toplam hacmi ~5,9 km³ hesaplanmaktadır. Bu nedenle Batı Anadolu'da "gerilme katsayısı" hesaplanırken, Kula volkanizmasını oluşturmak için üretilen magma miktarı daha da önem kazanmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma 1997-2002 yılları arasında, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde, yürütücülüğünü Prof. Dr. Hasan BAYHAN'ın yaptığı, TÜBİTAK YDABÇAG-398 nolu bilimsel araştırma projesi ve Hacettepe Üniversitesi 01 T07 604 002 nolu Araştırma Fonunun (Bilimsel Araştırma Birimi) katkılarıyla hazırlanmıştır. Yazarlar değerli, gerekli ve yapıcı katkılarından dolayı hakemlere teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Abrams, M. J. and Siebe, C., 1994. Cerro Xalapaxco: unusual tuff cone with multiple explosion craters, in central Mexico (Puebla). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63, 183-199.
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., and Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- Alıcı, P. Temel, A., and Gourgaud, A., 2002. Pb-Nd-Sr isotope and trace element geochemistry of Quaternary extension-related alkaline volcanism: a case study of Kula region (western Anatolia, Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115, 487-510.
- Aramaki, S. Hayakawa, Y., Fujii, T., Nakamura, K., and Fukuoka, T., 1986. The October 1983 eruption Miyakejima volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 29, 203-229.
- Aubele, J.C., Crumpler, L.S., and Elston, W.E., 1988. Vesicle zonation and vertical structure of basalt flows. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 35, 349-374.
- Barka, A. A., 1992. The North Anatolian Fault Zone. *Annales Tectonicae*, 6: 164-195
- Borsi, M., Ferrara, G., Innocenti, F., and Mazzuoli, R., 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics of Eastern Aegean Sea, *Bulletin of Volcanology*, 36 (1), 473-496.
- Bozkurt, E., and Park, R.G. 1994. Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in western Anatolia. *Journal of the Geological Society, London*, 151, 213-216.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30
- Bozkurt, E., 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16, 61-81.
- Bozkurt, E., and Sözbilir, H., 2004. Tectonic evolution of the Gediz graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in Western Turkey. *Geological Magazine*, 141, 63-79.
- Bozkurt, E., and Mittweide, S.K., 2005. Evolution of Neogene extensional tectonics of western Turkey. *Geodinamica Acta*, 18, 153-165.
- Bozkurt, E., and Rojay, B., 2005. Episodic, two-stage Neogene extension and short-term intervening compression in western Anatolia: field evidence from the

- Kiraz Basin and Bozdağ Horst. *Geodinamica Acta*, 18, 299-316.
- Brand, D., and White, C.M., 2007. Origin and stratigraphy of phreatomagmatic deposits at the Pleistocene Sinker Butte Volcano, Western Snake River Plain, Idaho. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 160, 319-339.
- Büttner, R., and Zimanowski, B., 1998. Physics of thermohydraulic explosions. *Physical Review E*, 57, 5726-5729.
- Bunbury, J. M. R., 1996. The Kula Volcanic Field, western Turkey: the development of a Holocene alkali basalt province and the adjacent normal-faulting graben. *Geological Magazine*, 133 (3), 275-283.
- Bunbury, J.M., Hall, L., Anderson, G.J., and Stannard, A., 2001. The determination of fault movement history from the interaction of local drainage with volcanic episodes. *Geological Magazine*, 138, 185-192.
- Carmichael I.S.E., 1991. The redox states of basic and silicic magmas: A reflection of their source regions? *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 106, 129-141.
- Carn, S. A., 2000. The Lamongan volcanic field, East Java, Indonesia: physical volcanology, historic activity and hazards. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 95, 81-108.
- Cas, R.A.F., and Wright, J.V., 1987. *Volcanic Successions. Modern and Ancient*. Allen and Unwin, London, 528p.
- Cashman, K. V., Thornber, C., and Kauahikaua, J. P., 1999. Cooling and crystallization of lava in open channels, and the transition of pahoehoe lava to 'a'a. *Bulletin of Volcanology*, 61, 306-323.
- Cebriá, J.M., Martín-Escorza, C., López-Ruiz, J., Morán-Zenteno, D.J., and Martiny, B.M., 2011. Numerical recognition of alignments in monogenetic volcanic areas: Examples from the Michoacán-Guanajuato Volcanic Field in Mexico and Calatrava in Spain. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201, 73-82.
- Chadwick, W. W., and Dieterich, J. H., 1995. Mechanical modelling of circumferential and radial dike intrusion on Galapagos volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 66, 37-52.
- Cohen, H.A., Dart, C.J., Akyüz, H.S., and Barka, A., 1995. Syn-Rift Sedimentation and Structural Development of the Gediz and Büyük-Menderes Graben, Western Turkey. *Journal of Geological Society of London*, 152, 629-638.
- Çakır, Ü., Aydar, E., Sen, E., and Bayhan H., 1999. Petrographical Characteristics of the Ultramafic-Mafic Nodules in Alkali Basalts from Kula Province, Western Anatolia -Turkey. *EUG 10, Journal of Conference, Abstracts, Vol. 4, Number 1 (Peri-Alpine Cenozoic Volcanism, Tectonics and Sedimentation)*
- Çiftçi, B., and Bozkurt, E., 2009. Evolution of the Miocene sedimentary fill of the Gediz Graben, SW Turkey. *Sedimentary Geology*, 216, 49-79.
- Çoban, H., 2007. Basalt magma genesis and fractionation in collision and extension related provinces: a comparison between eastern, central and western Anatolia. *Earth Science Reviews*, 80, 219-238.
- Dilek, Y., and Altunkaynak, Ş., 2009. Geochemical and temporal evolution of Cenozoic magmatism in western Turkey: mantle response to collision, slab breakoff, and lithospheric tearing in an orogenic belt. In: van Hinsbergen DJJ, Edwards MA, Govers R (eds) *Collision and collapse at the Africa-Arabia-Eurasia Subduction Zone*, 311. Geological Society London Special Publications, London, 213-233.
- Dilek, Y., and Altunkaynak, Ş., 2010. Geochemistry of Neogene-Quaternary alkaline volcanism in western Anatolia, Turkey, and implications for the Aegean mantle. *International Geology Review*, 52, 4-6, 631-655.
- Dragonì, M., Piombo, A., and Tallarico, A., 1995. A model for the formation of lava tubes by roofing over a channel. *Journal of Geophysical Research*, 100, 8435-8447.

- Dragoni, M., and Santini S., 2007. Lava flow in tubes with elliptical cross sections. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 160, 239-248
- Emre, T., 1996. Gediz grabeninin jeolojisi ve tektoniği (Geology and tectonics of the Gediz graben). *Turkish Journal of Earth Science*, 5, 171-185.
- Emre, T., and Sözbilir, H., 2007. Tectonic evolution of the Kiraz Basin, Küçük Menderes Graben: evidence for compression/uplift-related basin formation overprinted by extensional tectonics in West Anatolia. *Turkish Journal of Earth Science*, 16, 441-470.
- Ercan, T., Türkecan, A., Dinçel, A., ve Erdoğan, G., 1983. Kula-Selendi (Manisa) Doaylarının Jeolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 17, 3-28.
- Erinç, S., 1970. Kula-Adala arasında genç volkan röliyesi. *İ.Ü. Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 17, 148-167.
- Erkül, F., Helvacı, C., and Sözbilir, H., 2005. Evidence for two episodes of volcanism in the Bigadic borate basin and tectonic implications for Western Turkey. *Geological Journal*, 40, 545-570.
- Ersoy, E., and Helvacı, C., 2007. Stratigraphy and geochemical features of the Early Miocene bimodal (ultrapotassic and calc-alkaline) volcanic activity within the NE-trending Selendi Basin, Western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 16, 117-139.
- Ersoy, Y., Helvacı, C., Sözbilir, H., Erkül, F., and Bozkurt, E., 2008. A geochemical approach to Neogene-Quaternary volcanic activity of western Anatolia: an example of episodic bimodal volcanism within the Selendi Basin, Turkey. *Chemical Geology*, 30, 265-282.
- Ersoy, E. Y., Helvacı, C., and Sözbilir, H., 2010. Tectono-stratigraphic evolution of the NE-SW-trending superimposed Selendi basin: Implications for late Cenozoic crustal extension in Western Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 488, 210-232.
- Ersoy, E. Y., Helvacı, C., and Palmer, M. R., 2011. Stratigraphic, structural and geochemical features of the NE-SW-trending Neogene volcano-sedimentary basins in western Anatolia: implications for associations of supradetachment and trans-tensional strike-slip basin formation in extensional tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41, 159-183
- Ersoy, E. Y., Helvacı, C., and Palmer, M. R., 2012. Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE-SW-trending basins in western Anatolia, Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163, 379-401.
- Fisher, R.V., and Schmincke, H.U., 1984. *Pyroclastic rocks*. Berlin: Springer-Verlag, 472p.
- Galindo I., and Gudmundsson A., 2012. Basaltic feeder dykes in rift zones: geometry, emplacement, and effusion rates. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 12: 3683- 3700
- Gessner, K., Ring, U., Christopher, J., Hetzel, R., Passchier, C.W., and Güngör, T., 2001. An active bivergent rolling-hinge detachment system: central Menderes metamorphic core complex in western Turkey. *Geology*, 29, 611-14.
- Gonnermann, H.M., and Houghton, B.F., 2012. Magma degassing during the Plinian eruption of Novarupta, Alaska, 1912. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13, Q10009
- Göksu, Y., 1978. The TL age determination of fossil human footprints. *Archaeo-Physica*, 10, 445-462.
- Greenough, J.D., Lee, C.Y., and Fryer, B.J., 1999. Evidence for volatile-influenced differentiation in a layered alkali basalt flow, Penghu Islands, Taiwan. *Bulletin of Volcanology*, 60, 412-424.
- Grützner, T., Prelevic, D., and Akal C., 2013. Geochemistry and origin of ultramafic enclaves and their basanitic host rock from Kula Volcano, Turkey. *Lithos* 180-181, 58-73.
- Gudmundsson, A., 2002. Emplacement and arrest of sheets and dykes in central volcanoes, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 116, 279-298.

- Gudmundsson, A., 2012. Magma chambers: formation, local stresses excess pressures, and compartments. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 237-238, 19-41.
- Güleç, N., 1991. Crust-mantle interaction in Western Turkey: implications from Sr and Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics. *Geological Magazine*, 128/5, 417-435.
- Hakyemez, H. Y., Erkal, T., and Göktaş, F., 1999. Late Quaternary evolution of the Gediz and Büyük Menderes grabens, Western Anatolia, Turkey. *Quaternary Science Review*, 18, 549-554.
- Hanson, S.L., Falster, A.U., and Simmons, W.B., 2008. Mineralogy of Fumarole Deposits: At Sunset Crater Volcano National Monument Northern Arizona. *Rocks & Minerals*, 83 (6), 534-546.
- Hasenaka, T., and Carmichael, I. S. E., 1985. The cinder cones of Michoacan-Guanajuato, Central Mexico: their age, volume and distribution, and magma discharge rate. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 25, 105-124.
- Helvacı, C., 1995. Stratigraphy, mineralogy, and genesis of the Bigadiç borate deposits, Western Turkey. *Economic Geology*, 90, 1237-1260.
- Helvacı, C., and Yağmurlu, F., 1995. Geological setting and economic potential of the lignite and evaporite-bearing Neogene basins of Western Anatolia, Turkey. *Israel Journal of Earth Science*, 44, 91-105.
- Holness, M. B., and Bunbury, J. M., 2006. Insights into continental rift-related magma chambers: Cognate nodules from the Kula Volcanic Province, Western Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 153, 241-261.
- Innocenti, F., Agostini, S.G., Doglioni, C., Manetti, P., and Tonarini, S., 2010. Geodynamic evolution of the Aegean: constraints from the Plio-Pleistocene volcanism of the Volos-Evia area. *Journal of the Geological Society, London*, 167, 475-489.
- Işık, V., Tekeli, O., and Seyitoğlu G., 2004. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of extensional ductile deformation and granitoid intrusions in the northern Menderes core complex: implications for the initiation of extensional tectonics in western Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23, 555-566.
- Karaoğlu, Ö., Helvacı, C., and Ersoy, E.Y., 2010. Petrogenesis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of the Volcanic Rocks of the Uşak-Güre basin, western Türkiye. *Lithos*, 119, 193-210.
- Keszthelyi, L., and Self, S., 1998. Some physical requirements for the emplacement of long basaltic lava flows. *Journal Of Geophysical Research*, 103, B11, 27447-27464.
- Kienle, J., Kyle, P. R., Self, S., Motyka, R. J., and Lorenz, V., 1980. Ukinrek Maars, Alaska: I. April 1977 eruption sequence, petrology and tectonic setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 7, 11-37.
- Klügel, A., Hansteen, T.H., and Galipp, K., 2005. Magma storage and underplating beneath Cumbre Vieja volcano, La Palma (Canary Islands). *Earth and Planetary Science Letters*, 236, 211-226.
- Koçyiğit, A., 2005. The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18, 167-208.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., and Zanetti, B., 1986. A chemical classification of volcanic rock based on the total alkali - silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Lips, A.L.W., Cassard, D., Sözbilir, H., Yılmaz, H., and Wijbrans, J., 2001. Multistage exhumation of the Menderes Massif, western Anatolia (Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, 89, 781-792.
- Macdonald, G. A., 1972. *Volcanoes*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 510p.
- Manga, M., Patel, A., Dufek, J., and Kite, E.S., 2012. Wet surface and dense atmosphere

- here on early Mars suggested by the bomb sag at Home Plate, Mars. *Geophysical Research Letters*, 39, L01202, 1-5.
- McBirney, A.R. and Murase, T., 1971. Factors governing the formation of pyroclastic rocks. *Bulletin of Volcanology*, 34: 372-384
- Miyashiro, A., 1978, Nature of alkalic volcanic rock series. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 66, 91-104.
- Okay, A., Zattin, M., and Cavazza, W., 2010. Apatite fission-track data for the Miocene Arabia-Eurasia collision. *Geophysical Research Abstracts*, Vol.12. EGU2010-3942.
- Ort, M.H., and Carrasco-Núñez G., 2009. Lateral vent migration during phreatomagmatic and magmatic eruptions at Tecuitlapa Maar, east-central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 181, 67-77.
- Panter, K. S., McIntosh, W. C., and Smellie, J. L., 1994. The volcanic history of Mount Sidley, a major alkaline volcano in Marie Byrd Land, Antarctica. *Bulletin of Volcanology*, 56 361-376.
- Porter, S. C., 1972. Distribution, morphology, and size frequency of cinder cones on Mauna Kea volcano, Hawaii. *Geological Society of America Bulletin*, 83, 3607-3612.
- Purvis, M., and Robertson, A., 2004. A pulsed extension model for the neogene-recent E-W-trending Alaşehir Graben and the NE-SW-trending Selendi and Gördes Basins, Western Turkey. *Tectonophysics*, 391, 171-201.
- Purvis, M., and Robertson, A., 2005. Miocene sedimentary evolution of the NE-SW-trending Selendi and Gördes basins, western Turkey: implications for extensional processes. *Sedimentary Geology*, 174, 31-62.
- Ramos V.A., and Folguera A., 2011. Payenia volcanic province in the Southern Andes: An appraisal of an exceptional Quaternary tectonic setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201, 53-64.
- Riedel, C., Ernst, G.G.J., and Riley, M., 2003. Controls on the growth and geometry of pyroclastic constructs: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 127, 121-152.
- Ring, U., Johnson, Hetzel, R., and Gessner, K., 2003. Tectonic denudation of a Late cretaceous-Tertiary collisional belt: regionally symmetric cooling patterns and their relation to extensional faults in the Anatolide belt of western Turkey. *Geological Magazine*, 140, 421-441
- Ring, U., and Layer, P.W., 2003. High-pressure metamorphism in the Aegean, eastern Mediterranean: underplating and exhumation from the Late Cretaceous until the Miocene and Recent above the retreating Hellenic subduction zone. *Tectonics*, 22, 1022, 6.1-6.23.
- Rojay, B., Toprake, V., Demirci, C., and Süzen, L., 2005. Plio-Quaternary evolution of the Küçük Menderes Graben south-western Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 18, 317-331.
- Rossi, M.J., and Gudmundsson, A. 1996. The morphology and formation of flow-lobe tumuli on Icelandic shield volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 72, 3-4, 291-308.
- Rubin, A. M., and Pollard, D. D., 1988. Dike-induced faulting in rift zones. *Geology*, 16, 413-417.
- Sahagian, D. L., 1985. Bubble migration and coalescence during the solidification of basaltic lava flows. *The Journal of Geology*, 93, 205-211.
- Sahagian, D.L., Proussevitch, A.A., and Carlson, W.D., 2002. Analysis of Vesicular Basalts and Lava Emplacement Processes for Application as a Paleobarometer / Paleoaltimeter. *The Journal of Geology*, 110, 671-685.
- Sato H., and Taniguchi, 1997. Relationship between crater size and ejecta volume of recent magmatic and phreato-magmatic eruptions: Implications for energy

- partitioning. *Geophysical Research Letters*, 24/3, 205-208.
- Schumacher, R., and Schmincke, H.S. 1991. Internal structure and occurrence of accretionary lapilli - a case study at Laacher See Volcano. *Bulletin of Volcanology*, 53, 612-634.)
- Seyitoğlu, G., and Scott, B.C., 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geological Magazine*, 128, 155-166.
- Seyitoğlu, G., and Scott, B.C., 1992. Late Cenozoic volcanic evolution of the NE Aegean region. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 157-176.
- Seyitoğlu, G., and Scott, B.C., 1994a. Late Cenozoic basin development in west Turkey: Gördes basin tectonics and sedimentation. *Newsletter Stratigraphy*, 131, 133-142.
- Seyitoğlu, G., and Scott, B.C., 1994b. Neogene palynological and isotopic age data from Gördes basin, West Turkey. *Newsletter Stratigraphy*, 31, 133-142.
- Seyitoğlu, G., 1997a. The Simav graben: an example of young E-W trending structures in the late Cenozoic extensional system of Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 6, 135-141.
- Seyitoğlu, G., 1997b. Late Cenozoic tectono-sedimentary development of the Seli 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.
- Seyitoğlu, G., Tekeli, O., Emen, Ü., Şen, Ş., and Işık, V., 2002. The role of the flexural rotation/rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, western Turkey. *Geological Magazine*, 139, 15-26.
- Seyitoğlu, G., Alçiçek, M.C., Işık, V., Alçiçek, H., Mayda, S., Varol, B., Yılmaz, I., and Esat, K., 2009. The stratigraphical position of Kemiklitepe fossil locality (Uşak-Eşme) revisited: Implications for the Late Cenozoic sedimentary basin development and extensional tectonics in Western Turkey. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 251, 1-15.
- Sheridan, M.F., and Wohletz, K. H., 1983. Hydrovolcanism: basic considerations and review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17, 1-29.
- Sözbilir, H., 2002. Geometry and origin of folding in the Neogene sediments of the Gediz Graben, western Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 15, 277-288.
- Sözbilir, H., 2005. Oligo-Miocene extension in the Lycian orogen: evidence from the Lycian molasse basin, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18, 255-282.
- Sparks, R. S. J., Pinkerton, H., and Macdonald, R., 1977. The transport of xenoliths in magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, 35, 234-238.
- Sparks, R. S. J., 1978. The dynamics of bubble formation and growth in magmas: A review and analysis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 3, 1-37
- Şen, E., 2002. Kula Bölgesi (Batı Anadolu, Türkiye) volkanizmasının volkanolojik-petrolojik gelişiminin incelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 269 sayfa
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75: 181-241.
- Tekkaya, I., 1976. İnsanlara ait fosil ayak izleri. *Yeryuvarı ve İnsan*, 1/2, 8-10.
- Tokçaer, M., Agostini, S., and Savaşçın, M.Y., 2005. Geotectonic setting and origin of the youngest Kula volcanics (Western Anatolia), with a new emplacement model. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14, 145-166.
- Tyrrell, G.W., 1932. The basalts of Patagonia, *The Journal of Geology*, 40, 374-383.
- Walker, G.P.L., 1999. Volcanic rift zones and their intrusion swarms. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 94, 21-34.
- Washington, H.S., 1900. The composition of Kulaite. *The Journal of Geology*, 8, 610-620.

- Westaway, R., Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T., Bridgland, D., Rowbotham, G., and Maddy, D., 2004. Pliocene and Quaternary regional uplift in western Turkey: the Gediz river terrace staircase and the volcanism at Kula. *Tectonophysics*, 391, 121-169.
- Westaway, R., Guillou, H., Yurtmen, S., Demir, T., Scaillet, S., and Rowbotham, G., 2005. Constraints on the timing and regional conditions at the start of the presence phase of crustal extension in western Turkey, from observations in and around the Denizli region. *Geodinamica Acta*, 18, 209-238.
- Westaway, R., Guillou, H., Yurtmen, S., Beck, A., Bridgland, D., Demir, T., Scaillet, S., and Rowbotham, G., 2006. Late Cenozoic uplift of western Turkey: Improved dating of the Kula Quaternary volcanic field and numerical modelling of the Gediz river terrace staircase, *Global and Planetary Change*, 51, 131-171.
- White, R.S., and McKenzie, D.P., 1989. Magmatism at rift zones: The generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Journal of Geophysical Research*, 94, 7685-7729.
- Wohletz, K.H., and McQueen, R.G., 1984. *Experimental Studies of Hydromagmatic Volcanism*. Studies of Geophysics. National Academic Press, Washington, 158-169.
- Wood, C. A., 1974. Reconnaissance geophysics and geology of the Pinacate Craters, Sonora, Mexico. *Bulletin of Volcanology*, 38, 149-172.
- Wood, C. A., 1980. Morphometric evolution of cinder cones. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 7, 387-413.
- Yılmaz, Y., 1989. An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. In: Şengör, A.M.C. (Ed.), *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Kluwer Academic Publishers, 159-189.
- Yılmaz, Y., 1990. Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia formed under a compressional regime: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 1-19.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., and Elmas, A., 2000. When did the Western Anatolian grabens begin to develop? Bozkurt, E. Winchester, J.A., Piper J.A.D. (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. *Journal of Geological Society of London*, 173, 131-162.

Kaya Kütlesi Deformasyon Modülünün Farklı Yöntemlerle Belirlenmesi

Determination of Rock Mass Deformation Modulus by Different Methods

KADİR KARAMAN^{1*}, FERDİ CİHANGİR¹, SERKAN DEMİREL², AYHAN KESİMAL¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Müh. Bölümü, Trabzon

²NVS İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti., Trabzon

Geliş (received) : 05 Mayıs (May) 2014

Kabul (accepted) : 11 Aralık (December) 2014

ÖZ

Birçok tasarım parametresi arasında kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü (E_m) kaya mühendisliği projelerinin başarıyla yürütülmesinde ve tasarımında hayati öneme sahip olan önemli bir parametredir. Ancak, yerinde testler zaman alıcı ve pahalı hatta bazı durumlarda yapılması imkânsız olabilmektedir. Bu sınırlandırmalar, araştırmacıları deformasyon modülünü daha düşük fiyatla kolay bir şekilde diğer kaya kütle özelliklerine (RQD, RMR, Q) dayanarak dolaylı olarak tahmininde ampirik eşitlik geliştirmesine zorlamıştır. Bu çalışmada da kaya kütleleri için ampirik bir eşitlik önerilmiştir. Bu amaca yönelik olarak, bir tünel güzergâhının otuz yedi farklı noktasındaki volkanik, tortul ve metamorfik kaya kütleleri üzerinde çalışılmıştır. Karşılaştırmak amacıyla, literatürde önerilmiş olan altı farklı ampirik eşitlik yardımıyla E_m değerleri hesaplanmıştır. Çoklu karşılaştırma ANOVA testleri ayrıca önerilen ve diğer eşitlikler arasında yapılmıştır. ANOVA analizleri bu çalışmada üretilen eşitliğin kaya kütlelerinin E_m değerlerinin belirlenmesinde güvenle kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon modülü, nokta yükleme indeksi, RMR, RQD, Q

ABSTRACT

Among the many design properties, the deformation modulus (E_m) of in-situ rock mass is a crucial parameter and has a vital importance for the design and successful execution of rock engineering projects. However, in-situ tests are time-consuming, expensive and, in some cases, even impossible to carry out. This constraint forced the investigators to develop an empirical equation for indirect estimation of the deformation modulus of rock masses based on other rock mass properties that can be easily determined at low cost such as RQD, RMR, Q, etc. In this study an empirical equation was proposed for tested rock masses. For these purposes, volcanic, sedimentary and metamorphic rock masses were studied at different thirty seven points along a tunnel alignment. For comparison, E_m was calculated from six other empirical equations recommended in the literature. Multiple comparison tests (ANOVA) were also performed among the new relation and other empirical equations. Based on the ANOVA analyses, the E_m of a rock mass can be estimated from the proposed equation reliably.

Keywords: Deformation modulus, point load index, RMR, RQD, Q

* K. Karaman
e-posta: kadir.karaman@ktu.edu.tr

GİRİŞ

Yeryüzünde çeşitli amaçlara yönelik olarak tasarlanan büyük mühendislik yapılarının yanı sıra, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde giderek artmakta olan enerji, ulaşım, yerleşim ve alt yapı gibi gereksinimlerin karşılanabilmesi için yeraltı yapıları da hızla çoğalmakta ve boyut olarak büyümektedir. Ancak, baraj, tünel, köprü ayağı, bina vb. gibi mühendislik proje çalışmaları incelendiğinde tünel inşaatlarında diğerlerine oranla bilinmeyenlerin sayısı oldukça fazladır. Bu nedenle araştırmacılar, çeşitli araştırma yöntemlerinden yararlanarak bu bilinmeyenlerin sayısını asgariye indirmeye çalışmaktadırlar.

Görgül (kaya kütlesi sınıflama sistemleri) ve sayısal yöntemler tünel gibi yeraltı mühendislik yapılarının tasarlanmasında yaygın olarak kullanılan iki önemli araçtır. Günümüzde açılmakta olan tünellerin birçoğunda kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu sistemler, yaklaşık 70 yıl öncesinden (Terzaghi, 1946) başlayarak günümüze kadar geliştirilmiş, buna paralel olarak ortaya birçok yeni sınıflama sistemleri konmuş ve çeşitli projelerde uygulanmıştır. Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden Kaya Kütle Puanlaması (RMR) ve Kaya Kütle Kalitesi (Q), bir çok araştırmacı tarafından yüzlerce tünelde başarı ile uygulanmış ve evrensel düzeyde kabul görmüştür (Bieniawski, 1973; Barton vd., 1974; Bieniawski, 1989; Barton, 2002; Ramamurthy, 2004; Sarı ve Paşamehmetoğlu, 2004; Basarir vd., 2005; Gürocak, 2011; Kaya vd., 2011). Bu sistemler, tünellerin daha ekonomik, daha az riskle ve daha kısa sürede açılmasına büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ancak, kaya kütlesi sınıflama sistemleri tünellerin ilk inşa aşaması süresince çok kullanışlı olmasına rağmen, bu sistemler, tünel etrafındaki gerilme dağılımlarını, destek performansını ve deformasyonunun hesaplanmasını sağlamamaktadır (Geniş vd., 2007). Yeraltı projelerinin daha ekonomik ve emniyetli bir şekilde yürütülebilmesi, sayısal analizlerin görgül yöntemlerle birlikte değerlendirilmesiyle gerçekleşmektedir.

Sayısal analizlerin girdi parametrelerinden biri kaya kütlelerinin deformasyon modülü (E_m)'dür. E_m , kaya kütlesinin yenilme öncesindeki mekanik davranışını en iyi temsil eden bir parametre

olmasından dolayı, birçok tasarım parametresi arasında kaya mühendislik projelerinin başarıyla gerçekleştirilmesinde çok önemli bir yere sahiptir. E_m ayrıca yeraltı açıklığı etrafında izlenen deformasyonların yorumlanmasında, tahkimat ve nihai tünel kaplama tasarımında kullanılmaktadır (Hoek ve Diederichs, 2006). Ancak bu parametrenin arazide tayini hem çok zor hem de pahalıdır (Aksoy vd., 2012). Ayrıca, arazide yapılan deneyler, kaya kütlelerinin deformasyonları hakkında doğrudan bilgi vermesine karşın, Bieniawski (1973) tarafından belirtildiği gibi yerinde yapılan testlere tek başına güvenilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Shen vd., 2012). Palmström ve Singh (2001) ise yerinde yapılan deneylerin ekipmandan ve patlatma etkisinden dolayı ölçüm hatalarına yol açtığı, bu nedenle kaya kütlelerinin iyi bir şekilde değerlendirilmesi ve uygun dolaylı yöntemin/deşitliğin birçok durumda yerinde deneylere göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, E_m parametresinin pratik yoldan tahminine yönelik literatürde araştırmacılar tarafından bir çok ampirik eşitlikler önerilmiştir (Bieniawski, 1978; Serafim ve Pereira, 1983; Aydan vd., 1997; Hoek ve Brown, 1997; Read vd., 1999; Palmström ve Singh, 2001; Barton, 2002; Zhang ve Einstein, 2004). Bazı araştırmacılar da (Hashemi vd., 2010; Shen vd., 2012; Aksoy vd., 2012; Khabbazi vd., 2013) literatürde E_m tahmini için önerilen eşitlikleri kendi bulgularıyla kıyaslamışlardır. Gürocak (2011) ise farklı ampirik eşitlikler ile (9-10 eşitlik) tahmin ettiği E_m değerlerinin ortalamasını alarak sayısal analizlerde kullanmıştır.

E_m tahminine yönelik eşitliklerin oluşturulmasında çoğunlukla kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden daha az oranda da indeks deneylerden yararlanılmıştır. Örneğin RMR'den elde edilen eşitlikler birçok araştırmacı tarafından kullanılmış ve E_m tahmininde güvenilirliği konusunda övgü ile bahsedilmiştir (Nejati vd., 2014). Palmström ve Singh (2001) E_m tahmininde en sık RMR sisteminin kullanıldığını ifade etmişlerdir. Khabbazi vd. (2013) test edilen parametreler (tek eksenli basınç dayanımı, ultrasonik dalga hızı) arasında deformasyon modülü ile en iyi ilişkiyi RMR verdiğini belirtmişlerdir. Ancak özellikle güzergâh belirleme çalışmalarında ve projelerin ilk aşamasında kaya kütlelerinden temsili örnek almada

yaşanan güçlüklerden veya problemlili kaya ortamlarından (piroklastik, sık eklemli, vb.) dolayı RMR sınıflamasında ve bazı E_m eşitliklerinde kullanılan tek eksenli basınç dayanımı (UCS) gibi yüksek kaliteli karot gerektiren deneylerin yapılması mümkün olmamaktadır (Kaya, 2012; Karaman ve Kesimal, 2013). Bu çalışmanın amacı, projelerin ilk aşamasında araştırmacılar için E_m parametresinin belirlenmesine yönelik pratik bir eşitlik önermek ve doğrulamasını istatistik yöntemlerle yapmaktır.

JEOLJİ, LABORATUVAR ve ARAZİ ÇALIŞMALARI

Çalışma sahası, Trabzon ili Çaykara ilçesi merkezinin güneyinde yer almaktadır. İnceleme alanı jeolojik olarak Doğu Pontid Tektonik Ünitesi'nin (Ketin, 1966) kuzey doğusunda yer almakta ve sahada Mesozoyik ve Senozoyik dönemine ait toleyitik ve kalk-alkalen kayalar gözlenmektedir. Mesozoyik dönemi, Liyas yaşlı volkanitler ile başlar ve Üst Jura–Alt Kretase yaşlı karbonatlar ile devam eder. Üst Kretase döneminde yoğun bir volkanik aktivite görülür. Liyas'ta başlayıp Üst Kretase sonlarına kadar devam eden volkanik faaliyetler denizaltı volkanizması şeklinde olup çökel ara katkılarla birlikte istiflenme gösterirler. Paleosen sonlarında orojenezle birlikte granodiyorit yerleşimi gelişmiştir. Senozoyik döneminde ise eski alüvyon, yeni alüvyon ve yamaç molozları oluşmuştur. Tünel güzergâhı boyunca yeşilimsi gri renkli bazalt, az ayrılmış bazalt, orta derecede ayrılmış dasitik tüf, dasit, siyah renkli, az ayrılmış kireçtaşı, siyah renkli, sert, az ayrılmış bazalt, çok ayrılmış dasit-riyodasit yeşilimsi mor-gri renkli, orta derecede ayrılmış dasit-riyodasit ve epidotlu metabazalt gözlenmiştir.

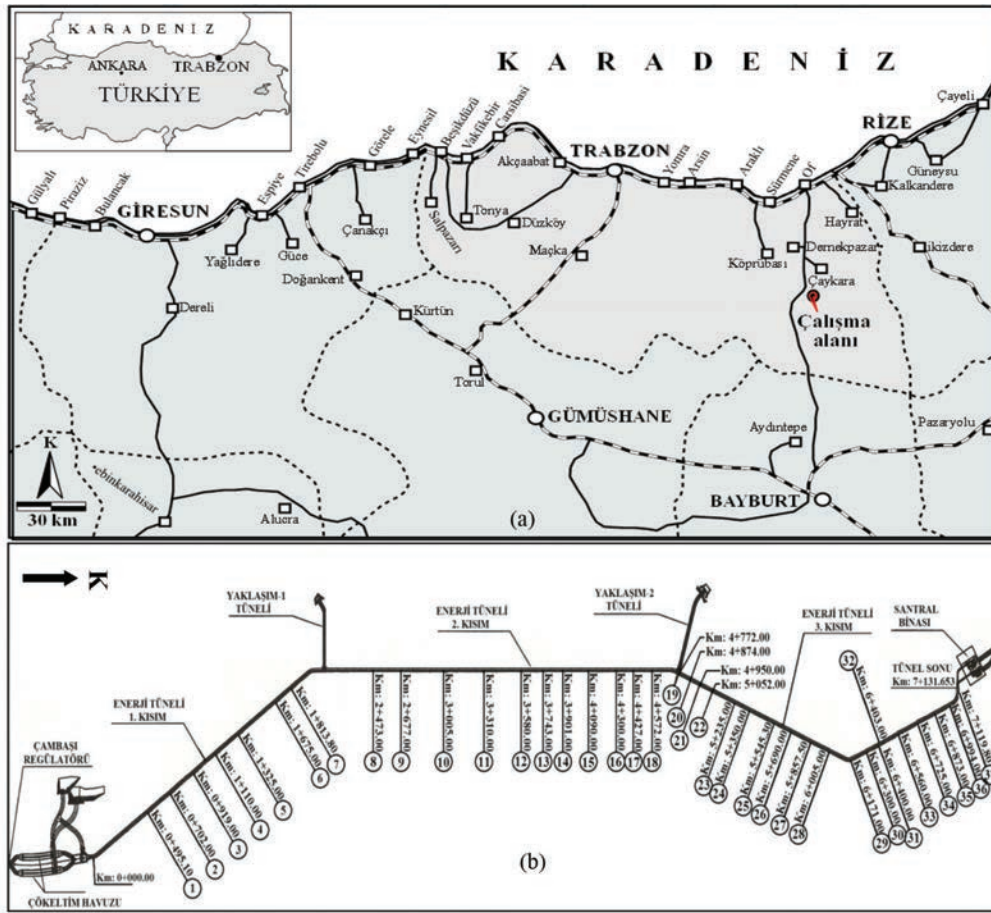
Bu çalışmada, çalışılan tünel güzergâhının 37 farklı farklı örnekleme noktasından (Şekil 1) kaya blokları (24 volkanik, 8 metamorfik ve 5 tortul kayaç) laboratuvara getirilmiştir. ISRM (2007) tarafından önerildiği gibi karot örneklerinin alınabilmesi için, arazide her blok örneğinin makroskopik incelemeleri yapılarak çatlak, kırık ve ayrışma içeren örnekler alınmamıştır. Laboratuvarında karot alma ve düzeltme makineleri deney örneklerinin hazırlanması için kullanılmıştır.

Laboratuvarında yapılan indeks deneyler ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır.

Kaya malzemelerine ait tek eksenli basınç ve deformabilite değerleri aynı deney ile elde edilmiştir. Deformabilite (elastisite modülü) değerlerini elde etmek için UCS deneyinde kullanılan karot örneklerinin eksen ve çapına paralel strain gage'ler yapıştırılarak deney esnasında kayada oluşacak deformasyonlar hassas bir şekilde ölçülmüştür. Tek eksenli deformabilite deneyinde Kyowa deney aleti ile kaya malzemelerinin elastisite modülleri (E) belirlenmiştir. Deneylerde boy/çap (L/D) oranı 2.5 olan NX (54.7 mm) çaplı karot örnekleri kullanılmıştır. Her bir örnekleme noktası için 5 toplam 185 adet karot örnekleri kullanılmıştır. Deneyler, 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü makine ile yükleme hızı 0.75 MPa/s arasında olacak şekilde uygulanmıştır.

Nokta yükleme deneylerinde (eksenel yöntem) ise L/D oranı 0.5–0.55 arasında olan karot örnekleri kullanılmıştır. Deneylerde, dijital nokta yükleme deney aleti kullanılmış olup, belirlenen nokta yükü dayanım değerleri (I_p) değerleri referans çapa ($D=50$ mm) göre düzeltilerek $I_{s(50)}$ elde edilmiştir.

Örneklemenin yapıldığı noktalarda süreksizliklerin mühendislik özelliklerine yönelik çalışmalar ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır. Süreksizliklerin durumu Brunton marka jeolog pusulasıyla, süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü Barton pürüzlülük tarağıyla, süreksizlik ara uzaklığı ve açıklığı şerit metre ve dijital kumpas ile belirlenmiştir. Geniş bir alanda kaya kütesinin incelenmesine ve süreksizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak kılan bir yöntem olan hat etüdü yöntemi çalışılan kazı aynalarında kullanılmıştır. Ulusay ve Sönmez (2007) tarafından önerildiği gibi hat etütlerinde yapay kırıklar dik-katli bir şekilde ayırtlanmış ve değerlendirilmeye alınmamıştır. Patlatma veya mekanik kazı sonucu gelişmiş kırıklar, genellikle küçük (devamlılıkları az), pürüzlü, düzensiz, temiz ve gelişigüzel bir yönelime sahip olma gibi özellikleri ile doğal süreksizliklerden farklı olmaktadır. Arazi ve laboratuvar çalışmalarına ait bazı görüntüler Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (a) ve tünel güzergâhındaki örnekleme lokasyonları (b)
Figure 1. Location map of the study area (a) and sampling locations of tunnel route (b)

Kaya kalite göstergesi (RQD), ilk olarak Deere (1964) tarafından sondajdan alınan karot boylarından yararlanılarak temel kayaların kalitesini ifade etmek için tanımlanmıştır. RQD, karotlu sondajlarla saptanabileceği gibi, kaya yüzlelerinden, yarma, shaft, galeri ve tünel duvarlarından yararlanılarak da saptanabilmektedir. Bu çalışmada jeoteknik birimler için her bir tünel aynasında birbirine dik yönde iki farklı RQD değerleri hesaplanarak ortalaması alınmıştır. İnceleme alanında sistematik süreksizliklerin yanı sıra düzensiz süreksizliklerin de zaman zaman gözlenmiş olması nedeniyle RQD'yi belirlemek için Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen Eşitlik 1'den yararlanılmıştır.

$$RQD = 100 e^{(-0.1\lambda)}(0.1\lambda + 1) \quad (1)$$

Burada; λ : 1 metre uzunluğundaki ölçüm hattını kesen ortalama süreksizlik sayısıdır.

Bu çalışmada RMR'nin güncel versiyonu (RMR_{99}) kullanılmıştır. RMR puanı, kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı, kaya kalite göstergesi (% RQD), süreksizlik aralığı, süreksizlik ve yeraltı suyu durumuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Daha hassas puanlama yapmak amacıyla tek eksenli basınç dayanımı, % RQD ve süreksizlik ara uzaklığı parametreleri için RMR sisteminin son versiyonunda belirtilen parametre-puan grafikleri kullanılmıştır. Q sınıflama sistemi için RQD, eklem takım sayısı (J_n), eklem pürüzlülük sayısı (J_p), eklem alterasyon sayısı (J_a), eklem suyu azaltma faktörü (J_w) ve gerilme azaltma faktörü (SRF) belirlenmiştir. RMR ve Q puanlamasında kullanılan ayrıntılı parametre ve çizelgelere bu çalışmada yer verilememiş olup, bu konuda literatürden yararlanılabilir (Bieniawski, 1989; Barton, 2002; Ulusay ve Sönmez, 2007). Deneylerde kullanılan kayaç



Şekil 2. Arazi ve laboratuvar çalışmaları
Figure 2. Field and laboratory studies

isimleri, örnek noktalarına karşılık gelen tünel doğrultusu ve ortalama değerler Çizelge 1’de yer almaktadır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

RMR ve Q Arasındaki İlişki

RMR ve Q sistemlerin arasındaki korelasyonu kullanarak birinden diğerini tahmin etmek mümkündür (Laderian ve Abaspoor, 2012). Bu

amaca yönelik olarak literatürde çeşitli eşitlikler önerilmiştir (Bieniawski, 1976; Kaiser ve Gale, 1985; Abad vd., 1983; Barton, 1995; Tuğrul, 1998). Literatürde araştırmacıların büyük çoğunluğu RMR ve Q arasında aşağıdaki logaritmik denklem biçiminde eşitlikler önermişlerdir (Eşitlik 2).

$$RMR = A \ln(Q) + B \quad (2)$$

A ve B sırasıyla 5–15 ve 35–60 arasında değişen katsayılarıdır (Zhang, 2004). Araştırmacılar

Çizelge 1. Örnek yerleri ve deney sonuçları

Table 1. Test locations and related properties of rock material/masses

Örnek Kodu	Tünel km'si	Doğrultu	Litoloji	E_i (GPa)	% RQD	$Is_{(50)}$	RMR_{89}	Q
1	0+495.10	K35B	Bazalt	86.25±8.7	83±2.1	9.95±2.4	74.7	14.76
2	0+702.00	K35B	Metabazalt	73.5±4.1	83±2.1	8.61±1.6	73.5	14.76
3	0+919.00	K35B	Metabazalt	72.5±3.8	83±2.1	3.79±0.7	55.5	14.76
4	1+110.00	K35B	Metabazalt	58.5±1.9	84±0.0	7.8±1.7	72.9	14.93
5	1+325.00	K35B	Metabazalt	35.0±2.7	83±2.1	7.1±1.2	72.3	14.76
6	1+675.00	K35B	Bazalt	71.5±2.4	76±2.1	5.32±0.9	64.5	7.6
7	1+813.80	K35B	Bazalt	74.8±3.4	76±2.1	6.47±1.1	55.9	7.6
8	2+473.00	K-G	Bazalt	93.7±4.6	84±0.0	8.09±1.4	68.4	14.93
9	2+677.00	K-G	Metabazalt	66.5±3.9	79±2.8	6.14±0.3	69.2	14.04
10	3+005.00	K-G	Metabazalt	59.0±4.6	83±2.1	8.76±1.6	70.8	14.76
11	3+310.00	K-G	Metabazalt	31.5±1.4	76±2.1	4.9±0.6	60.4	7.6
12	3+580.00	K-G	Metabazalt	26.0±4.7	79±2.8	4.97±1.0	67	10.53
13	3+743.00	K-G	Bazalt	15.5±2.5	79±2.8	5.35±1.2	55.5	10.53
14	3+901.00	K-G	Bazalt	11.5±0.4	79±2.8	2.76±0.2	48	10.53
15	4+090.00	K-G	Dasit	20.0±4.6	76±2.1	3.77±0.7	49.9	7.6
16	4+300.00	K-G	Bazalt	51.0±6.5	76±2.1	4.14±1.8	52	7.6
17	4+427.00	K-G	Dasit	20.0±1.5	70±5.7	3.42±0.9	50.8	3.5
18	4+572.00	K-G	Dasit	20.0±1.4	83±2.1	3.87±0.1	67.6	14.76
19	4+772.00	K23D	Dasit	45.2±3.2	79±2.8	3.61±0.7	54.8	4.68
20	4+874.00	K23D	Dasit	19.5±2.4	76±2.1	3.44±0.3	64.1	7.6
21	4+950.00	K23D	Kireçtaşı	78.5±6.8	81±0.0	5.56±0.5	65.9	10.8
22	5+052.00	K23D	Kireçtaşı	32.5±1.6	67±4.9	5.2±0.7	43.2	2.23
23	5+235.00	K23D	Bazalt	71.5±7	83±2.1	6.67±1.2	69.8	14.76
24	5+350.00	K23D	Kireçtaşı	54.5±8.7	79±2.8	5.6±0.2	56.7	10.53
25	5+545.30	K23D	Kireçtaşı	62.5±4.6	76±2.1	5.19±0.3	61.7	10.13
26	5+690.00	K23D	Bazalt	17±3.4	83±2.1	4.91±0.8	53.1	11.06
27	5+857.50	K23D	Volkanik breş	15.5±3.5	70±5.7	2.13±0.3	57.1	7
28	6+005.00	K23D	Kireçtaşı	26.5±3.2	79±2.8	5.69±0.4	65.8	10.53
29	6+171.00	K6B	Bazalt+dasit	41±4.9	76±2.1	6.11±0.4	56	10.13
30	6+300.00	K25B	Bazalt	74±4.7	76±2.1	6.58±1.2	50.2	7.6
31	6+400.00	K25B	Dasit	18.5±3.4	79±2.8	3.31±1.1	51.1	10.53
32	6+403.00	K25B	Dasit	17±2.1	83±2.1	3.3±0.5	51.5	11.07
33	6+560.00	K25B	Bazalt	58.5±6.4	83±2.1	6.42±1.8	69.5	11.07
34	6+725.00	K25B	Dasit	36.5±4.2	76±2.1	6.76±0.2	59.5	7.6
35	6+873.00	K25B	Dasit	21±1.4	76±2.1	4.24±0.4	51.7	7.6
36	6+994.00	K25B	Dasit	63.5±3.4	79±2.8	5.02±1.4	69.2	10.53
37	7+119.80	D-B	Dasit	37.1±3.2	70±5.7	4.27±1.1	58.9	1.75

tarafından Q sisteminden RMR puanını belirlemeye yönelik önerilen ve bu çalışma kapsamında kullanılan ampirik eşitlikler Çizelge 2’de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında RMR ve Q arasında orta derecede ($r = 0.57$) pozitif logaritmik bir ilişki gözlenmiştir (Şekil 3a). RMR ve Q sistemi arasında pozitif bir ilişki gözlenmesinin nedeni her iki sistemin benzer kaya kütle özelliklerini girdi parametresi olarak kullanmasından kaynaklanmaktadır (Laderian ve Abaspoor, 2012). Ulusay ve Sönmez (2007) ise kaya malzemesinin dayanımı ve gerilme için yapılan değerlendirmenin her iki sistemde oldukça farklı olduğunu belirtmişlerdir. RMR ve Q arasında çok yüksek bir ilişki elde edilememesinin nedeni iki sistem arasındaki girdi parametrelerinin değerlendirmesindeki farklılıktan kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen ampirik eşitlik ile karşılaştırmada kullanılan eşitliklere (Çizelge 2) bakıldığında, Eşitlik 2’de belirtilen A ve B katsayıları ile örtüştüğü anlaşılmaktadır. Çizelge 2’deki eşitlikler ile bu çalışmada elde edilen eşitlik Q sisteminden RMR tahmini açısından karşılaştırılmıştır (Şekil 3b). Barton (1995) ve Tuğrul (1998) tarafından önerilen eşitlikler sırasıyla en yüksek ve en düşük RMR değerlerini vermiştir. Bieniawski (1976), Abad vd. (1983) ve Kumar vd. (2004) tarafından önerilen eşitlikler ile bu çalışmada geliştirilen eşitliğin nispeten yakın RMR değerleri verdiği görülmüştür (Şekil 3b).

Kaya Kütleleri Deformasyon Modülünün Belirlenmesi

Kaya kütlelerinin deformasyon modülü (E_m), mühendislik jeolojisi uygulamalarının tasarımı da (sayısal analiz vb.) kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Clerici (1993) deformasyon modülünün ampirik eşitlikler ile tahmin edilmesi için iki seçenek sunmuştur; a) “eşitlikte kullanılan parametreler düşük maliyetle ve kolay ulaşılabilir olmalı”, b) “eşitliklere literatürde yaygın olarak yer verilmeli” (Kayabaşı vd., 2003). Bu çalışmada kullanılan eşitlikler bu kurala uymaktadır. Araştırmacılar tarafından E_m parametresini pratik yoldan belirlemeye yönelik önerilen ampirik eşitlikler Çizelge 3’te, bu eşitliklerden bir kısmı kullanılarak hesap edilen her bir örneklem noktasına ait deformasyon modülü değerleri ise

Çizelge 4’te verilmiştir. Literatürde deformasyon modülünün belirlenmesine yönelik araştırmacılar oldukça çok sayıda ampirik eşitlik önermişlerdir. Ancak karşılaştırma grafiklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için daha az eşitliğe yer verilebilmiştir.

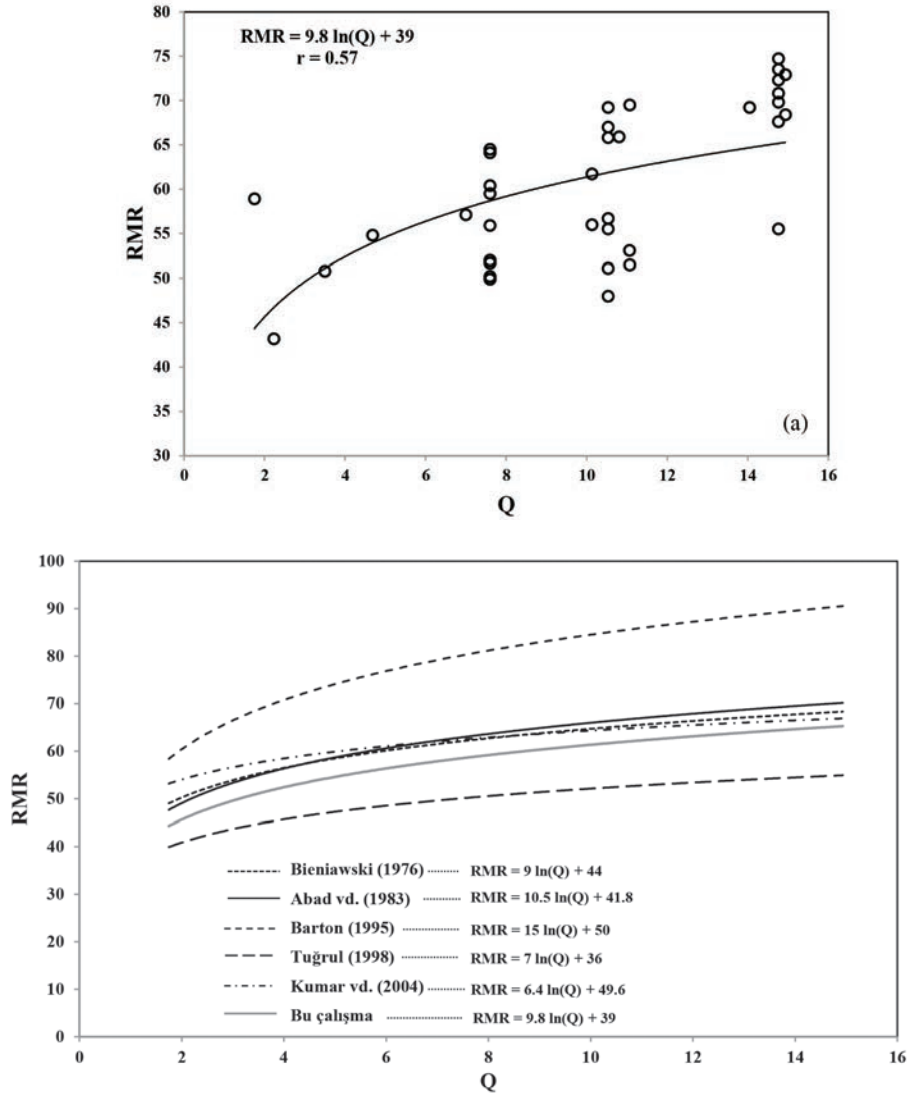
Literatürde E_m parametresini tahmin etmek için üretilen eşitliklerin çoğu kaya kütle sınıflama sistemlerinden (RMR, Q, R_{Mi} vb.) oluşmaktadır. Farklı olarak E_m parametresini tahmin etmek için; Kayabaşı vd. (2003) ayrışma derecesi, RQD ve kaya malzemesine ait elastisite modülü parametrelerini içeren bir eşitlik önermiştir. Gökçeoğlu vd. (2003) ise bu parametrelere ilave olarak tek eksenli basınç dayanım (UCS) değerini de eşitliğe ilave etmiştir. Zhang ve Einstein (2004) ise sadece RQD ve E_i parametrelerini içeren bir eşitlik geliştirmiştir. Eşitliklere bakıldığında süreksizlik parametreleri ile birlikte kaya malzemesinin dayanım özellikleri ve/veya deformasyon özellikleri E_m parametresinin tahmininde kullanılmıştır.

Khabbazi vd. (2013) Süreksizlik özellikleri ve kaya dayanımı kaya kütlelerinin deformasyonuna en çok etki eden iki unsur olduklarını belirtmişlerdir. Bu çalışmada üretilen eşitlik hem süreksizlik özellikleri (RQD) hem de kaya dayanımını ($Is_{(50)}$) içermektedir. Kayaçların UCS ile E_i parametreleri arasında pozitif bir ilişki olduğu bilinmektedir (Ocak, 2008). Ayrıca, $Is_{(50)}$ ile UCS arasında benzer bir ilişki mevcut olup literatürde bu konuda oldukça çok çalışma bulunmaktadır (Singh vd., 2012; Karaman ve Kesimal, 2013; Karaman vd., 2014). Dolayısıyla $Is_{(50)}$ ile E_i arasında da benzer bir ilişki olduğu düşünülmüştür. Ayrıca, nokta yükü indisi değişim aralığı ile çalışma sahasında yapılan gözlem ve analizler neticesinde elde edilen RQD aralık değerleri birlikte değerlendirilmiştir. Bu noktadan hareketle, diğer deneylere (UCS ve E_i) göre elde edilmesi çok daha kolay ve ucuz olan $Is_{(50)}$ parametresinin RQD ile birlikte E_m tahmininde kullanımı üzerinde bir eşitlik üretilmiştir (Eşitlik 3). Oluşan grafik eğrisi, literatürdeki bazı önemli eşitliklerle kıyaslanarak araştırmacıları (literatürdeki eşitliklerden türetilen E_m ortalamalarına göre) kısmen güvenli tarafta bırakacak şekilde optimize edilmiştir. Çoklu istatistiksel karşılaştırma (One way ANOVA) ile de eğrinin kullanılabilirliği teyit edilmiştir.

Çizelge 2. RMR ve Q arasındaki ilişki

Table 2. The relationship between RMR and Q

Araştırmacı	Eşitlik
Bieniawski (1976)	$RMR = 9 \ln Q + 44$
Abad vd. (1983)	$RMR = 10.5 \ln Q + 41.8$
Barton (1995)	$RMR = 15 \ln Q + 50$
Tuğrul (1998)	$RMR = 7 \ln Q + 36$
Kumar vd. (2004)	$RMR = 6.4 \ln Q + 49.6$



Şekil 3. RMR ve Q arasındaki ilişki (a) ve RMR tahmininde önceki çalışmalarla önerilen eşitliğin karşılaştırılması (b)
 Figure 3. The relationship between RMR and Q (a) and the comparison of proposed equation with previous studies for the estimation of RMR (b)

Çizelge 3. Deformasyon modülü tahmininde kullanılan bazı ampirik eşitlikler
Table 3. Some empirical equations used for estimation of deformation modulus

Araştırmacı	Eşitlik	Not
*Bieniawski (1978)	$E_m = 2RMR - 100$ (GPa)	$RMR > 50$
*Serafim ve Pereira (1983)	$E_m = 10^{((RMR-10)/40)}$ (GPa)	$RMR \leq 50$
*Aydan vd. (1997)	$E_m = 0.0097 RMR^{3.54}$ (MPa)	
*Read vd. (1999)	$E_m = 0.1 (RMR/10)^3$ (GPa)	
*Barton (2002)	$E_m = 10 Q_c^{1/3}$, $Q_c = Q_{UCS}/100$	
Kayabaşı vd. (2003)	$E_m = 0.135 \left[\frac{E_i(1 + \frac{RQD}{100})}{WD} \right]^{1.1811}$ (GPa)	
Gökçeoğlu vd. (2003)	$E_m = 0.001 \left[\frac{(E_i/\sigma_{ci})(1 + \frac{RQD}{100})}{WD} \right]^{1.5528}$ (GPa)	
*Zhang ve Einstein (2004)	$E_m = (10^{0.0186 RQD - 1.91}) E_i$ (GPa)	
Ramamurthy (2004)	$E_m = E_i e^{-0.0035[5(100 - RMR)]}$ (GPa)	
Ramamurthy (2004)	$E_m = E_i e^{-0.0035[250(1 - 0.3 \log Q)]}$ (GPa)	
Sönmez vd. (2006)	$E_m = E_i 10^{[(RMR - 100)(100 - RMR)/4000] \exp(-RMR/100)}$	
Chun vd. (2006)	$E_m = 0.3228 e^{(0.0485 RMR)}$ (GPa)	
Işık vd. (2008)	$E_m = 6.7 RMR - 103.06$ (MPa)	$RMR \geq 27$
Khabbazi vd. (2013)	$E_m = 9E - 7 RMR^{3.868}$	

*: Bu çalışmada kullanılan eşitlikler, σ_{ci} : Kaya malzemesine ait tek eksenli basınç dayanımı

$$E_m = I_{s(50)} \times 10^{(0.01 * RQD - 0.25)} \quad (3)$$

Bu eşitlik ile E_m değerleri çalışma sahasındaki kaya kütleleri için en düşük 6.0 en yüksek 37.8 GPa olarak bulunmuştur (Çizelge 4). RQD ve $I_{s(50)}$ 'nin en düşük ve en yüksek değerleri dikkate alınarak geliştirilen eşitlik ile bulunan E_m , literatürle uyumlu çıkmaktadır (≈ 0.05 –90 GPa). En yüksek değer (≈ 90 GPa) RQD'nin %100 ve $I_{s(50)}$ değerinin ise >15 MPa olduğu durum için geçerlidir. Literatürdeki RQD ve $I_{s(50)}$ değerlerine bakıldığında, üretilen eşitlik ile genellikle 50 GPa'dan daha düşük değerler elde edilmektedir. RQD'nin 0 olduğu durumda kaya kütlelerinin E_m içerebildiği bilinmektedir. Üretilen eşitlik ile RQD 0 olduğunda $I_{s(50)}$ değerine bağlı olarak kaya kütlelerine yönelik E_m değeri 0 olmamakta ve çok düşük bir değer elde edilmektedir. Benzer durum Zhang ve Einstein (2004) eşitliği için

de söz konusudur. Literatürde UCS değerleri genellikle 0–200 MPa arasında E_i değerleri ise 0–90 GPa arasında değişmektedir. Kayaçların nokta yükü dayanım indeksi değerleri ($I_{s(50)}$) ise genellikle 10 MPa'dan daha düşük, nadiren de bu değer üzerinde olduğu literatürden anlaşılmaktadır (Kahraman, 2001). $I_{s(50)}$ değerlerinin genellikle 0–15 MPa gibi dar bir aralıkta değişmesi ve şekilsiz örnekler üzerinde de deneyin yapılabilmesi eşitlik geliştirme açısından bir avantaj olarak düşünülmüştür. Ayrıca $I_{s(50)}$ parametresi sık eklemlili ve yüksek kaliteli karot alınımının zorlaştığı piroklastik kaya ortamlarda da belirlenebilmektedir.

Ampirik ilişkiler projelerin ilk aşamalarında ve özellikle verilerin sınırlı olduğu güzergâh belirleme çalışmalarında uygulanmaktadır (Khabbazi vd., 2013). Ancak, UCS ve E_i gibi yüksek kaliteli

Çizelge 4. Ampirik eşitlikler yardımıyla hesaplanan E_m değerleri
 Table 4. Calculated values of E_m by means of empirical equations

Örnek kodu	Bu çalışma	Bieniawski (1978)	Serafim ve Pereira (1983)	Aydan vd. (1997)	Read vd. (1999)	Barton (2002)	Zhang ve Einstein (2004)
1	37.8	49.4	-	41.5	41.7	30.8	37.1
2	32.7	47	-	39.2	39.7	28.6	31.6
3	14.4	11	-	14.5	17.1	21.4	31.2
4	30.3	45.8	-	38.1	38.7	27.9	26.3
5	27.0	44.6	-	37.0	37.8	27.0	15.1
6	17.2	29	-	24.7	26.8	19.3	22.8
7	20.9	11.8	-	14.9	17.5	20.6	23.9
8	31.5	36.8	-	30.4	32.0	28.3	42.1
9	21.3	38.4	-	31.7	33.1	23.8	24.1
10	33.3	41.6	-	34.3	35.5	25.4	25.4
11	15.9	20.8	-	19.6	22.0	17.5	10.0
12	17.2	34	-	28.3	30.1	20.4	9.4
13	18.6	11	-	14.5	17.1	19.9	5.6
14	9.6	-	8.9	8.7	11.1	15.3	4.2
15	12.2	-	9.9	10.0	12.4	16.7	6.4
16	13.4	4	-	11.5	14.1	18.8	16.3
17	9.6	1.6	-	10.6	13.1	12.9	4.9
18	14.7	35.2	-	29.2	30.9	22.0	8.6
19	12.5	9.6	-	13.9	16.5	14.5	16.4
20	11.1	28.2	-	24.2	26.3	16.2	6.2
21	20.2	31.8	-	26.6	28.6	23.3	31.0
22	13.7	-	6.8	6.0	8.1	12.7	7.0
23	25.4	39.6	-	32.7	34.0	24.5	30.8
24	19.4	13.4	-	15.6	18.2	21.2	19.8
25	16.8	23.4	-	21.1	23.5	19.7	19.9
26	18.7	6.2	-	12.4	15.0	20.4	7.3
27	6.0	14.2	-	16.0	18.6	14.2	3.8
28	19.7	31.6	-	26.5	28.5	23.3	9.6
29	19.8	12	-	15.0	17.6	21.2	13.1
30	21.3	0.4	-	10.2	12.7	21.2	23.6
31	11.5	2.2	-	10.8	13.3	19.3	6.7
32	12.5	3	-	11.1	13.7	19.4	7.3
33	24.4	39	-	32.2	33.6	22.8	25.2
34	21.9	19	-	18.6	21.1	21.6	11.6
35	13.7	3.4	-	11.3	13.8	18.8	6.7
36	17.4	38.4	-	31.7	33.1	22.6	23.0
37	12.0	17.8	-	17.9	20.4	11.6	9.1

karot gerektiren deneyler yeraltı projelerinin ilk aşamalarında temsili örnek alınamadığından çoğunlukla yapılamamaktadır (Karaman ve Kesim, 2013). Kaya (2012) Cankurtaran (Hopa-Artvin) tünel güzergâhını belirlemeye yönelik yaptığı doktora çalışmasında, kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımını $I_{s(50)}$ 'den tahmin etmiştir. Karanlı (2009) yaptığı yüksek lisans çalışmasında Artvin bölgesindeki karayolu şevlerini duraylılık açısından incelediği çalışmasında tek eksenli basınç dayanımı parametresini Schmidt çekici deneyinden elde etmiştir.

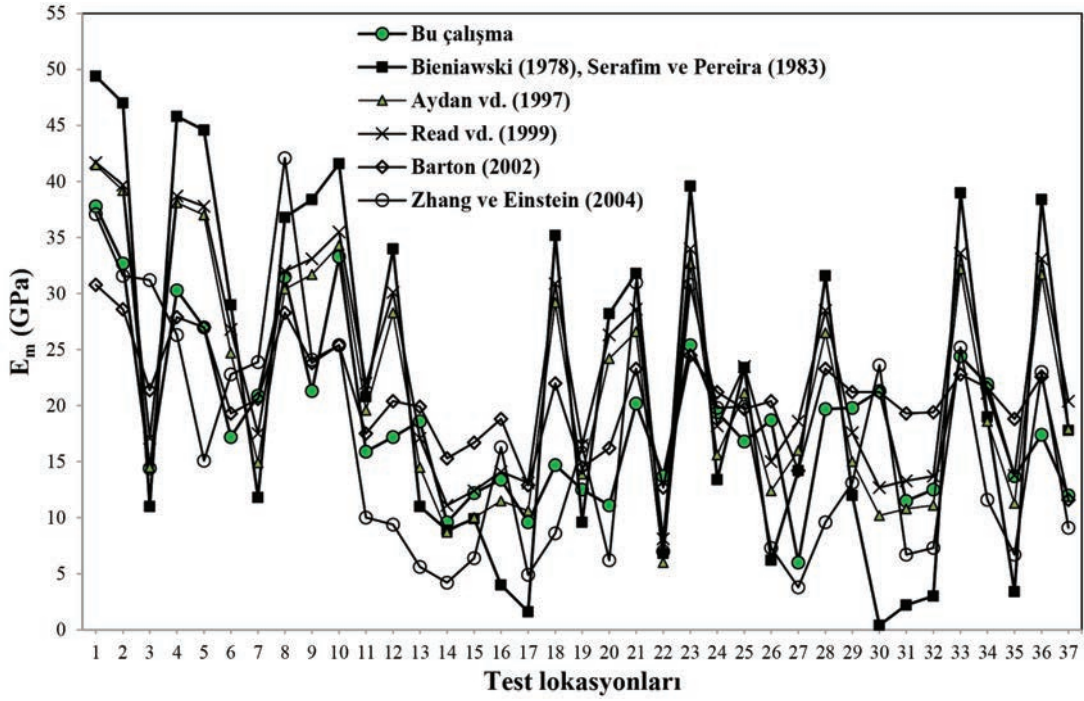
E_m değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 1'deki değerler kullanılarak 6 farklı araştırmacıya (Çizelge 3) göre çalışma sahasındaki kaya kütlelerinin deformasyon modülü (E_m) değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Çizelge 4 incelendiğinde E_m değerleri; Bieniawski (1978) eşitliği için en düşük 0.4 en yüksek 49.4 GPa, Aydan vd. (1997) eşitliği için en düşük 6 en yüksek 41.5 GPa, Read vd. (1999) eşitliği için en düşük 8.1 en yüksek 41.7 GPa, Barton (2002) eşitliği için en düşük 11.6 en yüksek 30.8 GPa ve Zhang ve Einstein (2004) eşitliği için en düşük 3.8 en yüksek 42.1 GPa olarak bulunmuştur. Bieniawski (1978) eşitliği RMR değerinin > 50 olduğu durumda geçerli iken, Serafim ve Pereira (1983) eşitliği ise RMR değerinin ≤ 50 olduğu durumda geçerli olmaktadır. Bu çalışmada kapsamında tünel güzergâhındaki 37 farklı noktadan üç jeoteknik birime ait RMR değerleri 50'nin altında olmuştur (Çizelge 1). Verilerde bir bütünlük sağlamak için Bieniawski (1978) ve Serafim ve Pereira (1983) eşitlikleri birlikte kullanılmıştır. Çalışma sahasındaki jeoteknik birimlerin RMR değerleri ise 43.2–74.7 arasında değişmiştir (Karaman vd., 2013).

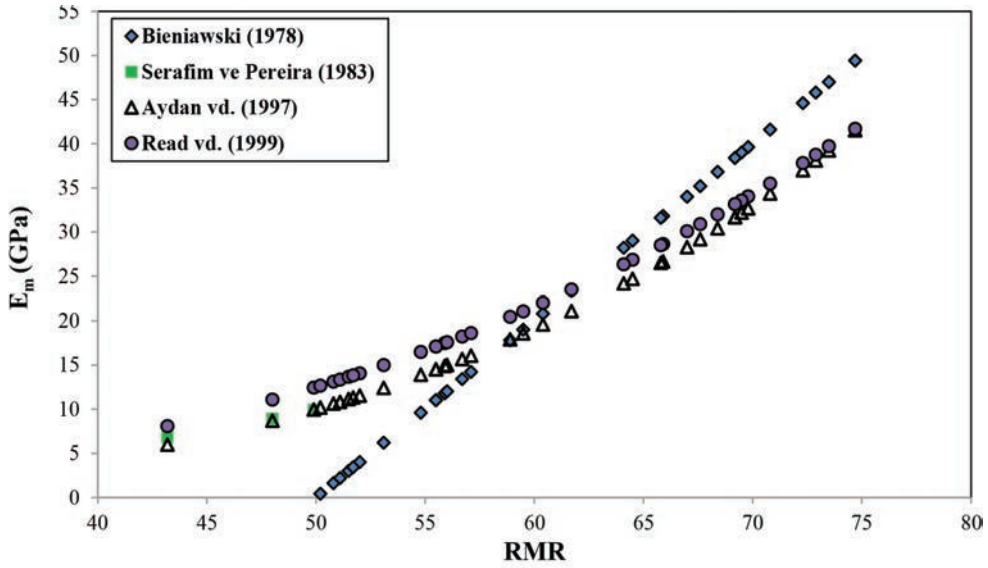
E_m değerleri Şekil 4'te birlikte değerlendirilmiştir. Aynı örnekleme noktası için birbirinden oldukça farklı E_m değerlerinin elde edildiği görülmektedir. RMR sisteminden elde edilen eşitliklerin genelde aynı eğilimde olduğu anlaşılmış ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5'ten de anlaşılabileceği gibi Bieniawski (1978) eşitliği diğerlerine nazaran kısmen farklı bir eğilim sunmaktadır. Aydan vd. (1997) ve Read vd. (1999) tarafından önerilen eşitlikler oldukça yakın E_m değerleri vermiştir.

Şekil 6'te bu çalışmadan üretilen eşitlik ile birbirine oldukça yakın E_m değerleri sunan iki eşitliğin (Aydan vd., 1997; Read vd., 1999) karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 6'ya göre önerilen eşitlik ile kısmen daha düşük E_m değerlerinin elde edildiği ve bu nedenle önerilen eşitliğin analizlerde araştırmacıları güvenli tarafta bırakabileceği düşünülmüştür.

Önerilen eşitlik yardımıyla bulunan E_m değerlerinin diğer eşitliklerden hesaplanan değerler ile benzerliği veya farkını test etmek için tek yönlü varyans analizi (Oneway ANOVA) yapılmıştır. Tek yönlü varyans analizi grup verilerinin normal dağılımı koşulunu öne sürdüğünden önce normallik testleri (normality tests) ile verilerin normal dağılıma uygunluğu test edilmiştir. Kaya kütlelerinin E_m değerleri Kolmogorov-Smirnov'a göre normal dağılım göstermiştir (önem düzeyi (Asymp. Sig.) > 0.05). Ayrıca, verilerin normal dağılımlarını gösteren histogram grafikleri Şekil 7'de yer almaktadır. Şekil 7 incelendiğinde bu çalışma ve Barton (2002) tarafından önerilen eşitliklere ait önem düzeyleri diğer eşitliklerden daha yüksek çıkmıştır. Tek yönlü varyans değerlerinin sonuçlarını incelemeyen önce varyansların homojenliği test edilmiştir. Grupların homojen olması için anlamlılık seviyesi (Sig.) > 0.05 olması gerekmektedir. Eğer bu teste göre anlamlılık seviyesi < 0.05 ise "Grup ortalamaları birbirinden önemli düzeyde farklıdır" veya "Grup ortalamalarından en az biri diğerlerinden farklıdır" yorumları yapılmaktadır (Özdamar, 2011). Bu teste göre verilerin homojen olmadığı (Levene testi $F=20.009$, anlamlılık seviyesi=0.000) anlaşılmıştır. Bu nedenle Tamhane's T2 post-hoc testi grupların benzer olup olmadığını kontrol etmek için kullanılmıştır (Çizelge 5). Hochberg ve Tamhane (1987), Tamhane's T2 ve Tamhane's T3 testlerinin tutucu ve dikkatli karşılaştırmalar yaptığını belirtmektedirler. Bu analizde anlamlılık seviyesi 1.000'e yaklaştıkça grupların benzerliğinin arttığı bilinmektedir. Anlamlılık seviyesi 1.000 olduğunda ise grupların birebir aynı olduğu anlamı çıkmaktadır. Bu çalışmada önerilen eşitlikle hesaplanan E_m değerleri ile diğer eşitliklerden elde edilen E_m değerleri arasında fark olmadığı (benzer oldukları) Tamhane's T2 testi ile anlaşılmıştır (anlamlılık seviyesi > 0.05). Çizelge 5 incelendiğinde grup



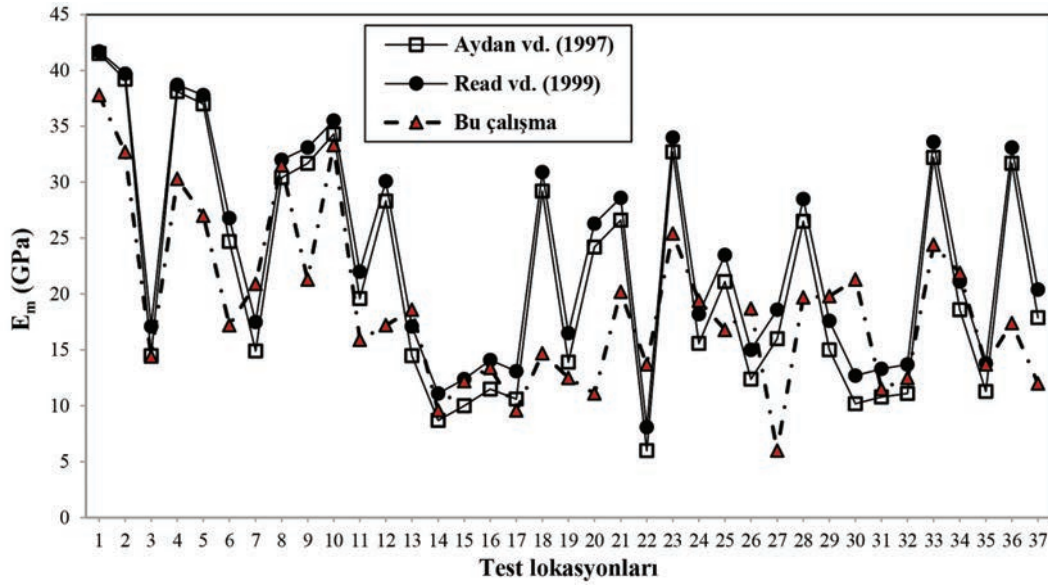
Şekil 4. E_m değerlerinin örnek noktasına göre değişimi
Figure 4. Variations of E_m values according to the test locations



Şekil 5. RMR ile E_m arasındaki ilişki
Figure 5. Relationship between RMR and E_m

1 (bu çalışma) ile grup 6'nın (Zhang ve Einstein, 2004) diğer gruplara göre daha çok benzerlik gösterdiği görülmektedir. Kayaçların dayanımı arttıkça E_i ve $Is_{(50)}$ değerleri artmaktadır. Ayrıca her iki eşitliğin (grup 1 ve grup 6) RQD parametresini içermesi, iki grup arasındaki benzerliği artırmış olabilmektedir. Grup 1'e en az

benzeyen ise anlamlılık seviyesine göre (0.289) grup 4 (Read vd., 1999) olmuştur. Ortalama farklılığı açısından grup 1'e en yakın gruplar; grup 5 (Barton, 2002) ve grup 6 (Zhang ve Einstein, 2004) olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer gruplar kendi aralarında değerlendirildiğinde grup 4 (Read vd., 1999) ve grup 6 (Zhang ve Einstein,



Şekil 6. E_m değerlerinin karşılaştırılması
Figure 6. Comparison of E_m values

2004) arasında fark olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu çalışmada grup 1 (önerilen eşitlik) ile diğer grupların benzerliği araştırılmıştır. Gruplara ait en düşük, en yüksek ve ortalama değerleri gösteren grafik Şekil 8’ de, buna ait sayısal bilgiler de Çizelge 6’da gösterilmiştir. Çizelge 5, 6 ve Şekil 8 incelendiğinde bu çalışmada üretilen eşitliğin ANOVA çoklu karşılaştırma analizlerine göre güvenilir olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca söz konusu eşitliğin diğerlerine göre (UCS , E_i vb.) daha ucuz ve kolay elde edilebilen parametreleri (RQD ve $Is_{(50)}$) içermesi, yüksek kaliteli karota ihtiyaç duymaması ve deneyin arazide yapılabilmesi gibi araştırmacıların işini kolaylaştırması bakımından oldukça önemli olduğu düşünülmüştür.

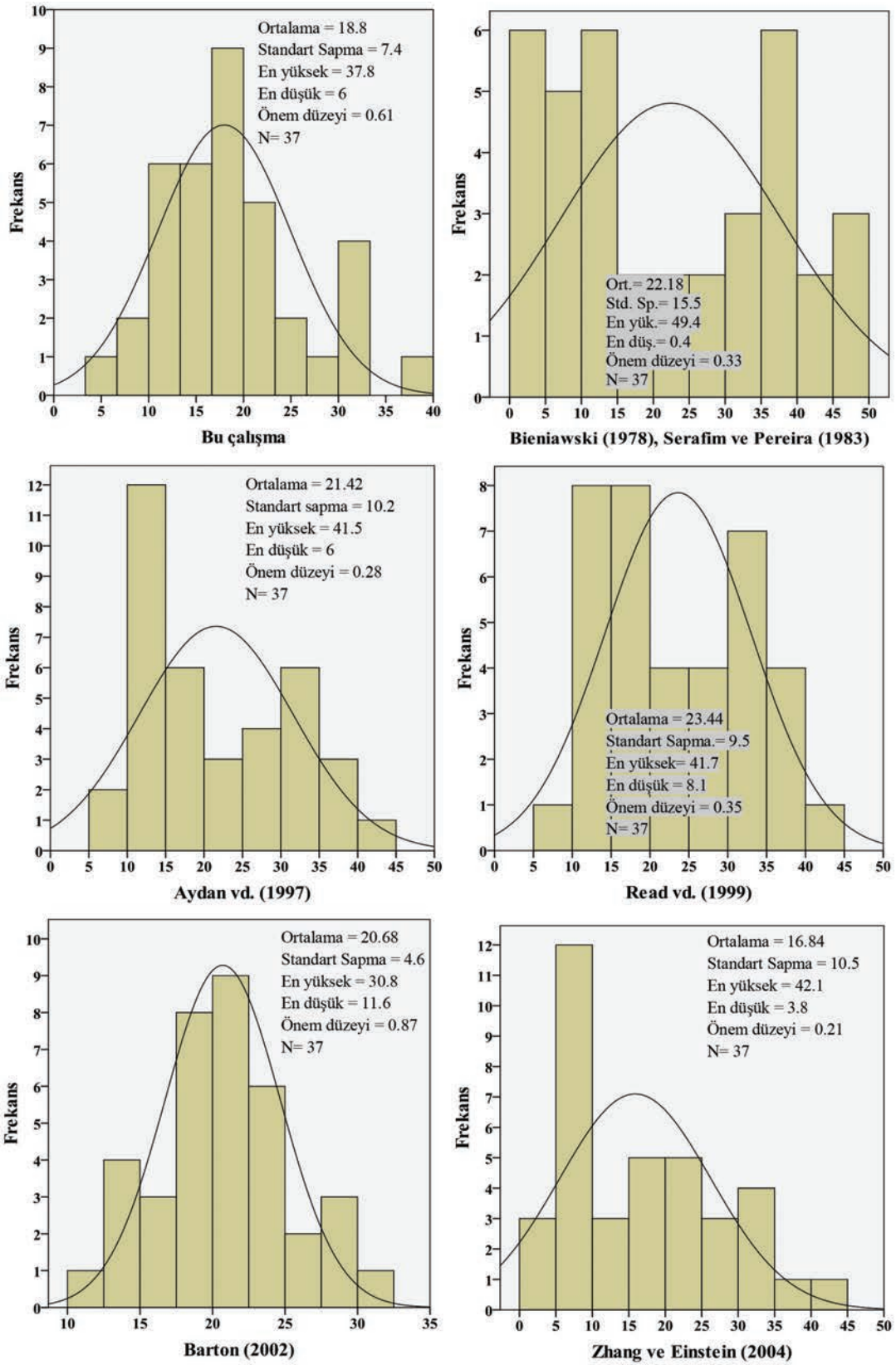
SONUÇLAR

Bu çalışmada 7132 metre uzunluğa sahip bir tünel güzergâhının 37 farklı aynasında süreksizlik özellikleri RMR ve Q sınıflaması için belirlenmiştir. Aynı noktalardan alınan kaya blokları laboratuvara getirilerek karot örnekleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Yapılan deney ve ölçümlerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) RMR ve Q kaya kütlesi sınıflama sisteminden, RQD ve E_i parametrelerinden literatürde önerildiği şekliyle E_m değerleri bulunmuştur. E_m

değerleri; Bieniawski (1978) eşitliği için en düşük 0.4 en yüksek 49.4 GPa, Aydan vd. (1997) eşitliği için en düşük 6.0 en yüksek 41.5 GPa, Read vd. (1999) eşitliği için en düşük 8.1 en yüksek 41.7 GPa, Barton (2002) eşitliği için en düşük 11.6 en yüksek 30.8 GPa ve Zhang ve Einstein (2004) eşitliği için en düşük 3.8 en yüksek 42.1 GPa olarak bulunmuştur.

- 2) Bu çalışma kapsamında literatürdeki diğer eşitliklere göre uygulaması daha kolay olan, E_m değerlerinin pratik olarak belirlemeye yönelik bir eşitlik üretilmiştir. Önerilen eşitliğin daha ucuz ve kolay elde edilebilen parametreleri (RQD ve $Is_{(50)}$) içermesi, yüksek kaliteli karota ihtiyaç duymaması ve deneyin arazide yapılabilmesi gibi araştırmacıların işini kolaylaştırması bakımından oldukça önemli olduğu düşünülmüştür. E_m değerleri; söz konusu eşitlik için en düşük 6 en yüksek 37.8 GPa olarak bulunmuştur.
- 3) Bu çalışmada önerilen ve daha önce önerilmiş eşitlikler ANOVA çoklu karşılaştırma analizleri ile karşılaştırılmıştır. ANOVA analizleri bu çalışmada üretilen eşitliğin kaya kütlelerinin E_m değerlerinin belirlenmesinde güvenle kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak unutulmamalıdır ki; ampirik eşitlikleri tek başına kullanmak yerine farklı parametreleri içeren eşitlikler ile birlikte kullanmak ve bulguları

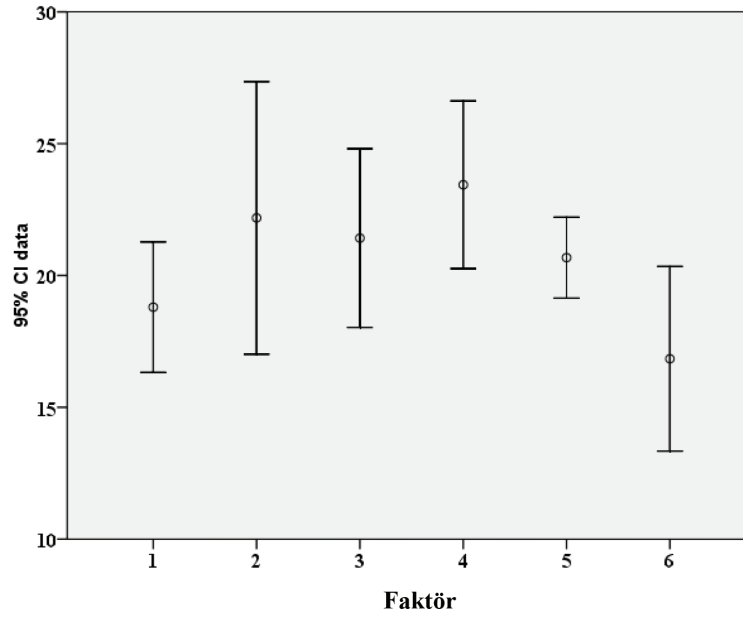


Şekil 7. Deformasyon modülü değerlerinin histogram grafikleri
Figure 7. Histogram charts of deformation modulus values

Çizelge 5. Grupların çoklu karşılaştırması (ANOVA Tamhane's T2 testi)
Table 5. Multiple comparison of groups (ANOVA Tamhane's T2 test)

(I) Faktör/ Grup	(J) Faktör/ Grup	Ortalama farklılığı (I-J)	Standart hata	Anlamlılık seviyesi	95% Güven aralığı	
					Alt sınıf	Üst sınır
1	2	-3.3838	2.8259	0.983	-12.058	5.290
	3	-2.6189	2.0688	0.971	-8.903	3.666
	4	-4.6405	1.9868	0.289	-10.669	1.388
	5	-1.8784	1.4359	0.962	-6.256	2.499
	6	1.9595	2.1145	0.999	-4.468	8.387

1: Bu çalışma, 2: Bieniawski (1978), Serafim ve Pereira (1983), 3: Aydan vd. (1997), 4: Read vd. (1999),
5: Barton (2002), 6: Zhang ve Einstein (2004).



Şekil 8. Farklı metotlardan elde edilen E_m değerlerine ait ortalamaların karşılaştırılması
Figure 8. Comparison of the mean values of E_m obtained from different methods

Çizelge 6. Grupların istatistiksel değerleri
Table 6. Statistical values of the groups

Gruplar	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En düşük E_m , GPa	En yüksek E_m , GPa
1	37	18.800	7.4210	1.2200	6.0	37.8
2	37	22.184	15.5050	2.5490	0.4	49.4
3	37	21.419	10.1627	1.6707	6.0	41.5
4	37	23.441	9.5381	1.5681	8.1	41.7
5	37	20.678	4.6060	0.7572	11.6	30.8
6	37	16.841	10.5056	1.7271	3.8	42.1
Toplam	222	20.560	10.2957	0.6910	0.4	49.4

N: Veri sayısı, 1: Bu çalışma, 2: Bieniawski (1978), Serafim ve Pereira (1983), 3: Aydan vd. (1997), 4: Read vd. (1999), 5: Barton (2002), 6: Zhang ve Einstein (2004).

arazi gözlemleri ile birlikte değerlendirmek, araştırmacıları daha doğru bir sonuca götürecektir. Önerilen eşitlik kaya kütlelerine ait deformasyon modülü hakkında bir fikir vereceğinden ön analizlerde ve güzergâh belirleme çalışmalarında kullanımı önerilmiştir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmanın yürütülmesine katkıda bulunan Enerjisa A.Ş.'ye ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Fonuna (Proje no: 9706) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Abad, J., Caleda, B., Chacon, E., Gutierrez, V., and Hidlgo, E., 1983. Application of geomechanical classification to predict the convergence of coal mine galleries and to design their supports. 5th International Society for Rock Mechanics Congress, Melbourne, 15-19.
- Aksoy, C.A., Geniş, M., Aldaş, G.U., Özacar, V., Özer, S.C., and Yılmaz, Ö., 2012. A comparative study of the determination of rock mass deformation modulus by using different empirical approaches. *Engineering Geology*, 131-132, 19-28.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., and Kawamoto, T., 1997. Assessment of rock mass strength for underground excavations. *Proceedings of the 36th US rock mechanics symposium*, New York, June/July, 777-786.
- Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics* 6, 189-239.
- Barton, N., 1995. The influence of joint properties in modelling jointed rock masses. Keynote Lecture, 8th Congress ISRM, Tokyo.
- Barton, N.R., 2002. Some New Q-value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences* 39 (2), 185-216.
- Basarir, H., Ozsan, A. and Karakus, M., 2005. Analysis of support requirements for a shallow diversion tunnel at Guledar dam site, Turkey. *Engineering Geology* 81(2), 131-145.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *Transactions of the South African Institute of Civil Engineers*, 15 (12), 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1976. Rock mass classification in rock engineering applications. *Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering*, South Africa, Balkema, Rotterdam, 97-106.
- Bieniawski, Z.T., 1978, Determining rock mass deformability, experience from case histories. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 15 (5), 237-247.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering rock mass classifications*, Wiley, New York, 251.
- Chun, B., Lee, Y., Seo, D., and Lim, B., 2006. Correlation of deformation modulus by PMT with RMR and rock mass condition. *Tunnelling and Underground Space Technol.*, 21 (3-4): 231-232.
- Clerici, A., 1993. Indirect determination of rock masses-case histories. L.M. Riberio e Sousa and N.F. Grossman, eds. *Proceedings of the Symposium EUROCK'93*. Rotterdam: AA Balkema, 509-517.
- Deere, D. U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1, 17-22.
- Geniş, M., Basarir, H., Ozarslan, A., Bilir, E. and Balaban, E., 2007. Engineering geological appraisal of the rockmasses and preliminary support design, Dorukhan Tunnel, Zonguldak, Turkey. *Engineering Geology*, 92, 14-26.
- Gürocak, Z., 2011. Analyses of stability and support design for a diversion tunnel at the Kapıkaya dam site, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70 (1), 41-52.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. and Kayabaşı, A., 2003. Predicting the deformation moduli of rock masses. *International*

- Journal of Rock Mechanics Mining Sciences, 40, 701-710.
- Hashemi, M., Moghaddas, S., and Ajalloeian, R., 2010. Application of rock mass characterization for determining the mechanical properties of rock mass: a comparative study. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43, 305-320
- Hochberg, Y., and Tamhane, A.C., 1987. Multiple comparison procedures. New York: John Wiley & Sons press.
- Hoek, E., and Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 34 (8), 1165-1186.
- Hoek, E., and Diederichs, M.S., 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 43, 203-215.
- ISRM., 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring, E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London.
- ISRM., 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods, International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.
- Işık, N., S., Ulusay, R., and Doyuran, V., 2008. Deformation Modulus of Heavily Jointed-Sheared and Blocky Greywackes by Pressuremeter Tests: Numerical, Experimental and Empirical Assessments, *Engineering Geology*, 101, 269-282.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 38, 981-994.
- Kaiser, T.K., and Gale, A.D., 1985. Evaluation of Cost and Empirical Support Design at B.C. Rail Tumbler Ridge Tunnels. *Canadian Tunnelling, Tunnelling Association of Canada*, Wiley, New York, 77-106.
- Karaman, K., and Kesimal, A., 2013. Evaluation of the influence of porosity on the Engineering properties of volcanic rocks from the Eastern Black Sea Region: NE Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 1-8 .
- Karaman, K., Kesimal, A., Kaya, A., and Demirel, S., 2013. Dolaylı yöntemlerle belirlenen kaya malzemesine ait tek eksenli basınç dayanımı parametresinin RMR_{89} puanı hesaplamalarında kullanılabilirliği, 3. Uluslararası Ulaşım Yolları Kazıları Sempozyumu, 29-30 Kasım, İstanbul.
- Karaman, K., Kesimal, A., and Ersoy, H., 2014. A comparative assessment of indirect methods for estimating the uniaxial compressive and tensile strength of rocks. *Arabian Journal of Geosciences*, 1-11.
- Karslı, M., 2009. Arhavi-Hopa (Artvin) arasındaki karayolu şevlerinin duraylılık açısından incelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Kaya, A., Bulut, F., Alemdağ, S., and Sayın, A., 2011. Analysis of support requirements for a tunnel portal in weak rock: A case study from Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6 (31), 6566-6583.
- Kaya, A., 2012. Cankurtaran (Hopa-Artvin) tünel güzergahının ve çevresinin jeoteknik açıdan incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 185 pp.
- Kayabaşı, A., Gökçeoğlu, C., and Ercanoğlu, M., 2003. Estimating the deformation modulus of rock masses: a comparative study. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 40, 55-63.
- Ketin, İ., 1966. Tectonic units of Anatolia. *Bull. Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 66, 22-34.
- Khabbazi, A., Ghafoori, M., Lashkaripour, G.R., and Cheshomi, A., 2013. Estimation of the rock mass deformation modulus using a rock classification system. *Geomechanics and Geoengineering: An international Journal*, 46-52, 8/1.

- Kumar, N., Samadhiya, N.K., Anbalagan, R., 2004. Application of rock mass classification system for tunneling in Himalaya, India Paper 3B 14, SINOROCK2004 Symposium. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 41 (3), 531.
- Nejati, H.R., Ghazvinian, A., Moosavi, S.A., and Sarfarazi, V., 2014. On the use of the RMR system for estimation of rock mass deformation modulus. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73 (2), 531-540.
- Laderian, A., and Abaspoor, M.A., 2012. The correlation between RMR and Q systems in parts of Iran. *Tunnelling Underground Space Technology*, 27, 149-158.
- Ocak, İ., 2008. Estimating the modulus of elasticity of the rock material from compressive strength and unit weight. *Journal of the South African Institute Mining and Metallurgy*, 108 (10), 621-626.
- Özdamar, K., 2011. Paket programlar ile istatistiksel veri analizi. Kaan Kitabevi, Eskişehir, 8. Baskı.
- Palmström, A., and Singh, R., 2001. The deformation modulus of rock masses-comparisons between in situ tests and indirect estimates. *Tunnelling Underground Space Technology*, 16, 115-131.
- Priest, S., D. and Hudson, J.A., 1976. Discontinuity spacing in rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, Abstracts, 13, 135-148.
- Ramamurthy, T., 2004. A geo-engineering classification for rocks and rock masses. *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 41, 89-101.
- Read, S.A.L., Richards, L.R., and Perrin, N.D., 1999. Applicability of the Hoek-Brown failure criterion to New Zealand greywacke rocks, *Proc. 9th International Congress on Rock Mechanics*, Paris, 2, 655-660.
- Sarı, D., and Pasamehmetoglu, A.G., 2004. Proposed support design, Kaletpe tunnel, Turkey, *Engineering Geology*, 72, 201-216.
- Serafim, J.L., and Pereira, J.P., 1983. Consideration of the geomechanics classification of Bieniawski, *Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology Underground Construction*, Lisbon, Portugal, 1133-1144.
- Shen, J., Karakus, M., and Chaoshui, X., 2012. A comparative study for empirical equations in estimating deformation modulus of rock masses. *Tunnelling Underground Space Technology*, 32, 245-250.
- Singh, T.N., Kainthola, A., and Venkatesh, A., 2012. Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 45 (2), 259-264.
- Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., and Kayabaşı, A., 2006. Estimation of rock modulus: for intact rocks with an artificial neural network and for rock masses with a new empirical equation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 224-235.
- Terzaghi, K., 1946. Rock Defects and Loads on Tunnel Support. In: Proctor, R. V., White T (eds), *Rock Tunnelling with Steel Support*, 1. Commercial Shearing Co., Youngstown, OH, 15-99.
- Tuğrul, A., 1998. The application of rock mass classification systems to underground excavation in weak limestone, Atatürk dam, Turkey. *Engineering Geology*, 50 (3-4), 337-345.
- Ulusay, R., and Sönmez, H., 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, 2. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Zhang, L., and Einstein, H.H., 2004. Using RQD to estimate the deformation modulus of rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41 (2), 337-41.
- Zhang, L., 2004. *Drilled Shafts in Rock Analysis and Design*. A. A. Balkema Publishers, Taylor & Francis Group Plc., London, UK.

A Fuzzy AHP Approach to Select the Proper Roadheader in Tabas Coal Mine Project of Iran

İran Tabas Kömür Madeni Projesinde Uygun Tünel Açma Makinası Seçimi için Bulanık AHP Yaklaşımı

ARASH EBRAHIMABADI^{1*}

¹Department of Mining, Faculty of Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran

Geliş (received) : 30 Mart (March) 2014

Kabul (accepted) : 12 Aralık (December) 2014

ABSTRACT

Machinery equipment selection, particularly mechanical excavators in mechanized mining operations, is one of the most important issues through a mine project planning and design, and has a remarkable effect on speed and cost of excavating operation. Therefore, it is an essential matter and needs to be concerned and managed appropriately. Alike other mechanized projects, mechanized coal mining is very machinery-intensive so that appropriate equipment selection plays a key role in project's success and productivity. In this respect, it is crucial to consider the basic parameters such as geological and geotechnical properties of ore deposit, its surrounding strata, economic and technical parameters, etc through the selection process; hence, choosing the major equipment and mechanical miners such as roadheaders in mechanized coal mining is a multi-criteria decision making problem. A multi-criteria decision making method is used to rank available roadheaders based on a set of criteria, ultimately leading to suggest the high-ranked one as the best option. This paper presents an evaluation model based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP) approach to select the proper roadheading machine in Tabas coal mine project; the largest and the only fully mechanized coal mine in Iran. This method assists mine designers and decision makers in the process of roadheader selection under fuzzy environment where the vagueness and uncertainty are taken into account with linguistic variable parameterized by triangular fuzzy numbers. The broad issue includes three possible roadheading machines and five criteria to evaluate them. The suggested method applied to the mine and the most appropriate roadheader, among three candidate roadheaders, has been ranked and selected as DOSCO MD1100 roadheader with the highest weight of 0.435. The weights of other options namely KOPEYSK KP21 and WIRTH T2.11 found as 0.323 and 0.242, respectively.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making; Fuzzy Analytic Hierarchy Process; Roadheader Selection; Tabas Coal Mine Project

Öz

Özellikle mekanize madencilik işletmelerinde kullanılan mekanik kazıcılarda olduğu gibi makina teçhizat seçimi, bir maden projesi planlaması ve dizaynındaki en önemli konudur ve kazma işleminin hızı ve maliyeti üzerinde belirgin etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, önemli bir konu olup uygun şekilde ilgilenilmesi ve işletilmesi gerekmektedir. Tıpkı diğer mekanize projelerdeki gibi, mekanize kömür madenciliği makina yoğunluğunun çok fazla olduğu bir alan olup, uygun ekipman seçimi projenin başarısında ve üretimde anahtar rol oynar. Bu bağlamda, maden yatağının jeolojik ve jeoteknik temel parametreleri, çevreleyen seviyelerin özellikleri ile ekonomik ve teknik parametrelerin hesaba katılması çok önemlidir. Dolayısıyla, mekanize kömür madenciliğindeki tünel açma makinaları gibi ana ekipman seçimi, mekanize kömür madenciliğinde çok-kriterli karar almayı gerektiren problem oluşturur.

* A. Ebrahimabadi

e-posta: Arash.xer@gmail.com; A.Ebrahimabadi@Qaemshahriau.ac.ir

Çok-kriterli karar alma yöntemi bir dizi kriter baz alınarak en çok opsiyonda en yüksek dereceyi alabilen tünel açma makinalarını derecelendirmekte kullanılır. Bu makale, İran'ın en büyük ve tek tam mekanize olarak çalışan Tabas kömür madeni projesine uygun tünel açma makinasını Bulanık Analitik Hiyerarşi İşlemi (Fuzzy AHP) yöntemine dayalı değerlendirme modeli sunmaktadır. Bu yöntem, tünel açma makinası seçiminde maden ocağı tasarımcılarına ve karar mercilerine belirsiz koşulların olduğu durumda destek olacaktır. Piyasada yaygın olan üç olası tünel açma makinası ile değerlendirme aşamasında kullanılan beş kriter çalışma kapsamında ele alınmıştır. Önerilen yöntem madene uygulanmış ve üç aday arasından en uygun tünel açma makinası olan, 0.435 ağırlıkla DOSCO MD1100 seçilmiştir. Diğer seçeneklerden olan KOPEYSK KP21 ve WIRTH T2.11 sırasıyla 0.323 ve 0.242 ağırlık notu almıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok-kriterli karar verme, bulanık analitik hiyerarşi işlemi, tünel kazma makinası seçimi, Tabas kömür madeni projesi

INTRODUCTION

Once an ore body has been probed and outlined and sufficient information has been collected to warrant further analysis, the most appropriate mining method is then chosen (Hamrin, 1986; Hartman, 1992). Afterwards and at the next step, due to machinery-intensity of most of mining methods particularly in long-wall mining method, the important process of selecting the most proper excavator can begin. At this stage, the selection is preliminary, serving only as the basis and later it may be found necessary to revised details, but the basic principles for selecting the major excavator should remain a part of the final planning. Selection of an appropriate mining machine is a complex task that requires consideration of many factors such as geo-technical, economic and operational factors. The appropriate miner is the excavator which is technically capable of cutting the ore and rock in various ground conditions, while also being a low-cost operation. This means that the best machine is the one which presents the cheapest problem.

Currently, the mining companies are moving toward more profitable, productive and competitive arenas and therefore, mechanization is becoming an inevitable alternative to gain these objectives; hence, the ever-increasing applications of mechanical miners such as roadheaders and other boom-type tunnelling machines are some of the outcomes of project mechanizations, leading to their more extensive use in the mining and civil construction industries in recent years. Among machines employed in mining activities, roadheaders are very popular

particularly in underground coal mining. Roadheaders have remarkable advantages including high productivity, reliability, mobility, flexibility, safety, selective excavation, less strata disturbances, fewer personnel and lower capital and operating costs. To achieve these benefits as well as successful roadheader application, proper selection of the machine needs to be accomplished appropriately. This generally deals with geotechnical properties of rock formation to be excavated, machine performance, machine size and flexibility, machine price and total costs (Rostami et al, 1994). Moreover, main aspects influencing on the roadheader type selection include physical and mechanical characteristics, economic, technical and productivity factors (Ebrahimabadi et al., 2012).

For a successful roadheader selection, some alternative machines are primarily chosen in accordance with existing technical and economic condition. Afterward, the proper type needs to be appropriately selected through judicious decision making. Decision-making involves identifying and choosing alternatives based on their performance values and the preferences of the decision maker. Multi-criteria decision making (MCDM) methods, such as AHP and Fuzzy AHP, which are used for mining related problems in the literature especially mining method selection, make the evaluations using the same evaluation scale and preference functions on the criteria basis.

Fuzzy multiple criteria decision-making methods have been developed owing to the imprecision in assessing the relative importance of attributes and the performance ratings of alternatives with

respect to attributes. Imprecision may arise from a variety of reasons: unquantifiable information, incomplete information, unobtainable information and partial ignorance. Conventional multiple attribute decision making methods cannot effectively handle problems with such imprecise information. Basically AHP is a method of breaking down a complex, unstructured situation into its components parts; arranging these parts, or variables, into a hierarchic order; synthesize the judgments to determine which variables have the highest priority and should be acted upon to influence the outcome of the situation. It uses a hierarchical structure to abstract, decompose, organize and control the complexity of decision involving many attributes, and it uses informed judgment or expert opinion to measure the relative value or contribution of these attributes and synthesize a solution (Oguzitmur, 2011). The analytic hierarchy process (AHP), first proposed by Saaty (1980), along with its extensions is one of the most effective methods for multiple criteria decision making problems and has been used in many disciplines such as mining-related issues. In many cases, application of AHP method can be combined with some other methodologies such as optimization, quality function deployment, and fuzzy logic. Combining an AHP with fuzzy set theory through the process of roadheader selection permits greater flexibility in the selection criteria and the appropriate decision making. A fuzzy-AHP (FAHP) retains many of the advantages enjoyed by conventional AHPs, in particular the relative ease with which it handles multiple criteria and combinations of qualitative and quantitative data. As with an AHP, it provides a hierarchical structure, facilitates decomposition and pairwise comparison, reduces inconsistency, and generates priority vectors. Finally, an FAHP is able to reflect human thought in that it uses approximate information and uncertainty to generate proper decisions (Kahraman et al., 2003, 2004; Feizizadeh et al., 2014). These characteristics qualify the use of an FAHP as an appropriate and efficient tool to assist with making complex decisions for choosing roadheading machines in mining and tunnelling projects. It should be stated that few works have been conducted yet in which FAHP to be applied to choose rodheaders.

The main reasoning for using fuzzy AHP has also been that the conventional AHP with crisp input data might not properly model actual human thinking in decision scenarios under uncertainty, especially for qualitative criteria. In the fuzzy AHP, calculations are performed using fuzzy numbers as opposed to the crisp numbers used in the conventional AHP. For the second category of classification, the chosen application areas by different researchers and practitioners have been personal, social, manufacturing sector, political, engineering, education, industry, government, management, etc. Bitarafan and Ataei (2004) have used different fuzzy methods as an innovative tool for criteria aggregation in mining decision problems. Tutmez and Tercan (2007) used fuzzy modelling to estimate mechanical properties of rocks. Tutmez and Kaymak (2008) applied a fuzzy methodology for optimization of slab production. Acaroglu et al. (2006) used conventional AHP approach for selection of roadheaders. Ataei et al. (2008) have used the AHP method for mining method selection. Also, Alpay and Yavuz (2009) have suggested a combination of AHP and fuzzy logic methods for underground mining method selection. Yazdani-Chamzini and Yakhchali (2012) have applied multi-criteria decision making methods in order to select Tunnel Boring Machine.

The aim of the present work is to select the proper roadheader through a fuzzy AHP solution procedure. With that regard, Tabas coal mine is considered as case study. In the following sections, a description of study area is firstly presented. In the next section, the concepts of Fuzzy sets and Fuzzy AHP are illustrated. Afterward, the procedure and calculations of machine selection using Fuzzy AHP approach is well demonstrated step by step. And finally, a discussion on the used method and conclusions of the paper are presented respectively.

MATERIALS AND METHODS

Description of Tabas coal mine

Tabas coal mine, the largest and unique fully mechanized coal mine in Iran, is located in

central part of Iran near the city of Tabas in Yazd province and situated 75 km far from southern Tabas. The mine area is a part of Tabas-Kerman coal field. The coal field is divided into 3 parts in which Parvadeh region with the extent of 1200 Km² and 1.1 billion tones of estimated coal reserve is the biggest and main part to continue excavation and fulfillment for future years. The coal seam has eastern-western expansion with reducing trend in thickness toward east. Its thickness ranges from 0.5 to 2.2 m but in the majority of conditions it has a consistent 1.8 m thickness. Room and pillar and also long wall mining methods are considered as the main excavation methods in the mine. The use of roadheaders in Tabas coal mine project was a consequence of mechanisation of the work. Coal mining by the long-wall method with powered roof supports makes rapid advance of the access roads necessary. On the other hand, the two alternatives for mining very thick coal seams, i.e. room-and-pillar and long wall in flat seams, also make the use of roadheader driving galleries in the coal seams necessary (Ebrahimabadi et al., 2011a; 2011b; 2012).

Fuzzy theory

Adequate knowledge and comprehensive database on a number of different problems are requested to analyse critical infrastructures. There are a close relationship between complexity and certainty, so that; increasing the complexity lead to decrease the certainty. Fuzzy logic, introduced by Zadeh (1965), can consider uncertainty and solve problems where there are no sharp boundaries and precise values. Fuzzy logic provides a methodology for computing directly with words (Klir and Yuan, 1995).

Fuzzy set theory is a powerful tool to handle imprecise data and fuzzy expressions that are more natural for humans than rigid mathematical rules and equations (Klir and Yuan, 1995; Vahdani and Hadipour, 2010; Ertugrul, 2011).

A fuzzy set is general form of a crisp set. A fuzzy number belongs to the closed interval 0 and 1, which 1 addresses full membership and 0 expresses non-membership. Whereas, crisp sets only allow 0 or 1. There are different types of

fuzzy numbers that can be utilised based on the situation. It is often convenient to work with triangular fuzzy numbers (TFNs) because they are computed simply, and are useful in promoting representations and information processing in a fuzzy environment (Van Laarhoven and Pedrycz, 1983; Bojadziev and Bojadziev, 1998; Deng, 1999; Ertugrul and Tus, 2007).

A fuzzy number can be a TFN if its membership function be defined as equation 1:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b), & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

Let $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$, $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ be two fuzzy numbers, so their mathematical relations expressed as equations 2-5:

$$\begin{aligned} \tilde{A}(+) \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3)(+)(b_1, b_2, b_3) = \\ &(a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \tilde{A}(-) \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3)(-)(b_1, b_2, b_3) = \\ &(a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \tilde{A}(\times) \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3)(\times)(b_1, b_2, b_3) = \\ &(a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \tilde{A}(\div) \tilde{B} &= (a_1, a_2, a_3)(\div)(b_1, b_2, b_3) = \\ &(a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1) \end{aligned} \quad (5)$$

Fuzzy AHP methodology

Analytical hierarchy process (AHP) was developed primarily by Saaty (1980) and is able to solve the decision making problems (Vaida and Kumar, 2006). AHP can decompose any complex problem into several sub-problems in terms of hierarchical levels where each level represents a set of criteria or attributes relative to each sub-problem. AHP utilizes three principles to solve problems (Aydogan, 2011): (a) structure of the hierarchy, (b) the matrix of pair-wise comparison ratios, and (c) the method for calculating weights. AHP summarises the results of pair-wise comparisons in a matrix of pair-wise comparisons (Kahraman, 2008).

Different fuzzy AHP methods are proposed by various authors (Van Laarhoven and Pedrycz, 1983; Buckley, 1985; Boender et al., 1989; Chang 1992, 1996). These methods apply a systematic procedure to prioritize the criteria and alternatives by using the concepts of fuzzy set theory and hierarchical structure analysis. In this paper, Chang's extent analysis method (Chang, 1996) is utilized because the steps of this approach are relatively easier than the other fuzzy AHP techniques.

Assume $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ be an object set, and $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}$ be a goal set. According to the method of Chang's extent analysis, each object is taken and extent analysis for each goal, is performed, respectively. Therefore, extent analysis values for each object can be obtained, with the equation 6 (Chang, 1996):

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m, \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (6)$$

where all the M_{gi}^j ($j=1, 2, 3, \dots, m$) are TFNs.

The steps of Chang's extent analysis can be given as following:

Step 1: The value of fuzzy synthetic context with respect to the object is defined as equation 7:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (7)$$

To obtain $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ (Fuzzy Summation of Row), perform the fuzzy addition operation of extent analysis values for a particular matrix such as equation 8:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (8)$$

And to obtain $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$, perform the fuzzy addition operation of M_{gi}^j ($j=1, 2, \dots, m$) values such as equation 9: (Summation of Column)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (9)$$

And then compute the inverse of the vector in equation 10 such that:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (1/\sum_{i=1}^n u_i, 1/\sum_{i=1}^n m_i, 1/\sum_{i=1}^n l_i) \quad (10)$$

Step 2: The degree of possibility of $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ is defined as equation 11:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (11)$$

And can be equivalently expressed as equations 12-13:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (12)$$

$$(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ l_1 - u_2 / (m_2 - u_2) - (m_1 - l_1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

where d is the ordinate of highest intersection point D between μ_{M_1} and μ_{M_2} (see Fig. 1). To compare M_1 and M_2 , we need both the values of $V(M_1 \geq M_2)$ and $V(M_2 \geq M_1)$.

Step 3: The degree of possibility for a convex fuzzy number to be greater than convex numbers M_i ($i = 1, 2, \dots, k$) can be defined by equation 14:

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ and } \\ & (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] = \\ \text{Min}(M \geq M_i) \quad & i = 1, 2, 3, \dots, k \end{aligned} \quad (14)$$

Assume the equation 15 as below:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (15)$$

For $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$. Then the weight vector is given by equation 16:

$$W'' = (d''(A_1), d''(A_2), \dots, d''(A_n))^T \quad (16)$$

where A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) are n elements.

Step 4: The normalized weight vectors are obtained through normalization process, as below using equation 17:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (17)$$

where W is a non-fuzzy number.

Step 5: Determination of alternatives of final weight, as below using equation 18:

$$\begin{aligned} A_1 &= (A_1 \text{ to } C_1 \times C_1 \text{ to GOAL}) + \\ & (A_1 \text{ to } C_2 \times C_2 \text{ to GOAL}) + (A_1 \text{ to } C_3 \times \\ & C_3 \text{ to GOAL}) + \dots + \\ & (A_1 \text{ to } C_n \times C_n \text{ to GOAL}) \end{aligned} \quad (18)$$

Where n is the number of criteria.

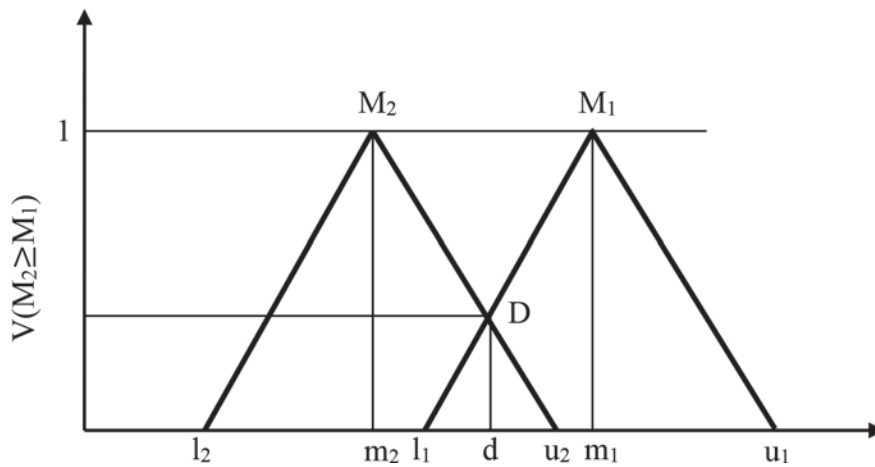


Figure 1. The intersection between M1 and M2 (Chang, 1996)

Şekil 1. M1 ve M2'deki kesişim (Chang, 1996)

APPLICATION OF FUZZY AHP APPROACH FOR SELECTING PROPER ROADHEADING MACHINE IN TABAS COAL MINE

The selection process of suitable miner (roadheader) gets started by evaluating given ore deposit, rock formation properties and mining method data. These selection criteria include geotechnical characteristics of rock formations (C1), machine (roadheader) size (C2), machine performance (C3), machine flexibility (C4), and total costs (C5). At the first stage, a comprehensive questionnaire in accordance with the above mentioned criteria is designed and distributed among decision makers from various areas to qualify and evaluate the dominant factors affecting on selection process. Then, FAHP approach is used to determine the weights of main criteria. Following to this, the major roadheader type is selected based on experts' opinions. Ranking of considered mining machine for Tabas coal mine is finally carried out utilizing AHP method.

Here, it should be stated that according to working condition and mining method (particularly longwall and room-and-pillar mining methods) and possibly conventional mining machine (here, as roadheaders with medium weight) to excavate coal and coal measure rocks in Tabas deposit, there are only 3 appropriate medium-duty roadheaders for the mine including DOSCO MD1100, KOPEYSK KP21, and WIRTH

T2.11 roadheaders. Table 1 indicates the basic specifications of these roadheaders (Dosco Ltd, 2008; Kopeysk machine-building plant, 2014; AkerSolutions, 2014). The algorithm of FAHP approach is considered as steps presented and summarized in the following sections.

Making Hierarchical Structure of the Problem

The criteria and machine alternatives can be ruled as a hierarchical structure of the problem, shown in Fig. 2.

Making Comparison Dual Matrix

Decision-makers prepared questionnaires forms and then with division against other importance carry out pair-wise comparison. Decision-makers use the linguistic variables, to evaluate the ratings of alternatives with respect to each criterion and they converted into triangular fuzzy numbers. Among the various shapes of fuzzy number, triangular fuzzy number (TFN) is the most popular one; hence, these TFNs have been used through the analyses. Fuzzy numbers are defined arbitrarily as very low [0, 1, 3], low [1, 3, 5], medium [3, 5, 7], high [5, 7, 9], very high [7, 9, 10] that are shown in Table 2.

Then, a comprehensive pair-wise comparison matrix is built. One of these pair-wise comparisons with respect to C5 (machine total costs) is shown below in Table 3 as an example.

Table 1. Typical specifications of available roadheaders
 Tablo 1. Uygun olan tünel açma makinalarının tipik özellikleri

Technical data/ Roadheaders	DOSCO MD1100	KOPEYSK KP21	WIRTH T2.11
Machine weight (Base machine)	34 tons	46 tons	85 tons
Total power (Standard machine)	From 157 kW	110 kW	439 kW
Power on cutting boom (Standard machine)	82 kW axial, 112 kW transverse	60 kW	300 kW
Machine length	8060 mm	12500 mm	12780 mm
Machine width	3000 mm	2100 mm	3050 mm
Machine height	1700 mm	4500 mm	3780 mm

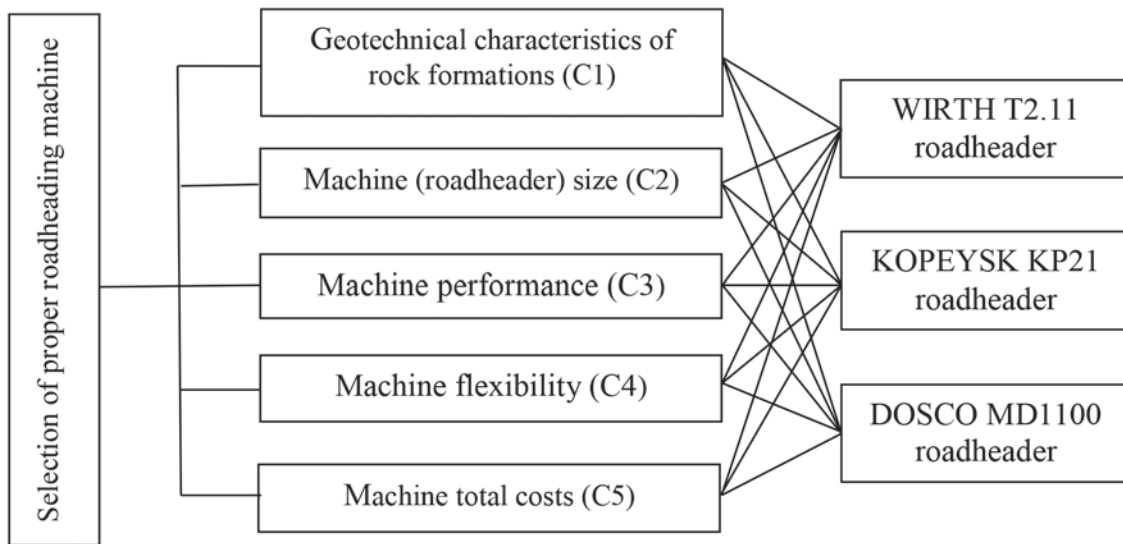


Figure 2. Hierarchical structure of problem
 Şekil 2. Problemin hiyerarşik yapısı

Determination of Any Matrix Relative Weight

After making fuzzy pair-wise comparison matrix and according to the FAHP method, synthesis values must firstly be determined. From Table 3, according to extent analysis synthesis values with respect to cost criterion (C5), for example, are calculated like in equation 6: $S1=0.049, 0.072, 0.123, S2=0.274, 0.589, 1.204, S3=0.164, 0.339, 0.723$.

These fuzzy values are compared by using equation 12, and next values are obtained. Then priority weights (Min) are calculated by using

equations 13,14, as seen in Tables 4 and 5.

After the normalization of these values, priority weights respect to cost criterion are calculated in Table 5.

After determining the priority weights of the criteria, the priority of the alternatives will be determined for each criterion. From the pair-wise comparisons matrixes based on decision-makers' opinion for three alternatives, evaluation matrixes are also formed. Then, priority weights of alternatives for each criterion are determined by making the same calculation.

Table 2. Preference values for the questionnaires
Tablo 2. Anketlerdeki tercih değerleri

Quality Judge	Fuzzy Numbers
Very low	0,1,3
low	1,3,5
Average	3,5,7
High	5,7,9
Extreme	7,9,10

Table 3. The alternatives fuzzy dual comparison matrix toward together, with respect to C5
Tablo 3. C5'e göre seçenekler arasında karşılıklı karşılaştırma matrisi

C5	WIRTH T2.11	KOPEYSK KP21	DOSCO MD1100
WIRTH T2.11	1,1,1	0.111,0.142,0.2	0.142,0.2,0.333
KOPEYSK KP21	5,7,9	1,1,1	1,3,5
DOSCO MD1100	3,5,7	0.2,0.333,1	1,1,1

Table 4. The degree of possibility in Table 3
Tablo 4. Tablo 3'teki olasılık derecesi

$V(s1 \geq s2) =$	0.000	$v(s1 \geq s3) =$	0.000
$V(s2 \geq s1) =$	1.000	$V(s2 \geq s3) =$	1.000
$V(s3 \geq s1) =$	1.000	$V(s3 \geq s2) =$	0.640

Determination of Alternatives Final Weight (Selection of Roadheading Machine)

In the last part, final weights of alternatives are determined by conflation of scores. By using of equation 16, alternative DOSCO MD1100 roadheader which has the highest priority weight is selected as an appropriate roadheader for Tabas coal mine. The ranking order of the alternatives with fuzzy AHP method is DOSCO MD1100>KOPEYSK KP21>WIRTH T2.11 that are shown in Fig. 3.

DISCUSSION

Fuzzy AHP approach is an appropriate method for selecting coal mining machinery or other multi-criteria decision-making problems. However, this method has some limitations as mentioned below:

- Through fuzzy AHP, the decision-maker is only asked to give judgments about either the relative importance of one criterion against another or its preference of one alternative on one criterion against another. However, when the number of alternatives and criteria grows, the pair-wise comparison process becomes cumbersome, and the risk of inconsistencies grows.
- In the extent analysis of fuzzy AHP, the priority weights of criterion or alternative can be equal to zero. In this situation, we do not take this criterion or alternative into consideration. This is the one of the disadvantages of this method.

Companies should choose the appropriate method for their problem according to the situation and the structure of the problem they have. In future studies, other modern multi-criteria methods such as Electre and Paprika can be used to handle machine selection process.

Table 5. Un-normalized weight and normalized weight respect to cost criterion
 Tablo 5. Maliyet kriterine dayalı normalize edilmemiş ve normalize edilmiş ağırlık

$d'(A_i)$	$\hat{w}$
Minimum	normalized
0.000	0.000
1.000	0.609
0.640	0.391
Sum= 1.640	

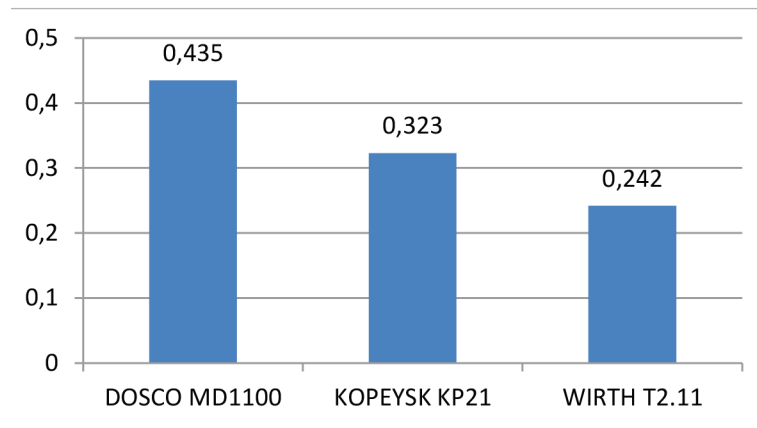


Figure 3. Priority of roadheaders for Tabas coal mine using FAHP approach

Şekil 3. FAHP yaklaşımı kullanılarak Tabas kömür madeni için roadheaderların önemi

CONCLUSIONS

The selection of optimum roadheading machine (roadheader) is one of crucial issues in underground mining methods such as longwall and room-and-pillar mining and plays a major role in mining projects from both technical and economic point of view. Hence, the convenient roadheading machine for each mine should appropriately be chosen from among relevant roadheader alternatives. In this respect, some parameters such as geological and geotechnical properties of ore deposit and its surrounded strata (hangingwall and footwall), economic and technical parameters, and operational factors should be taken into account. The aim of this research work is to select proper roadheader for Tabas coal mine of Iran using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP) approach. FAHP is a multi-criteria decision making method which can be successfully used to rank alternative roadheading machines based on a set

of criteria. In fuzzy AHP, decision-makers made pair-wise comparisons for the criteria and alternatives under each criterion. Then these comparisons integrated and decision-makers' pair-wise comparison values are transformed into triangular fuzzy numbers. The priority weights of criteria and alternatives are determined by Chang extent analysis. According to the combination of the priority weights of criteria and alternatives, the best alternative is determined. According to the fuzzy AHP, the appropriate roadheader for Tabas coal mine found as DOSCO MD1100 roadheader and the ranking order of the alternatives is DOSCO MD1100, KOPEYSK KP21 and WIRTH T2.11 roadheaders, respectively.

REFERENCES

- Acaroglu, O., Ergin, H., and Eskikaya, S., 2006. Analytical hierarchy process for selection of roadheaders. Journal of the South

- African Institute of Mining and Metallurgy (SAIMM), 106, 569-575.
- AkerSolutions, 2014. www.AkerSolutions.com
- Alpay, S., and Yavuz, M., 2009. Underground mining method selection by decision making tools. *Tunneling and Underground Space Technology*, 24, 173-184.
- Ataei, M., Jamshidi, M., Sereshki, F. and Jalali, S. M. E., 2008. Mining method selection by AHP approach. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 741-749.
- Aydogan, E. K., 2011. Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 38, 3992-3998.
- Bitarafan, M. R. and Ataei, M., 2004. Mining method selection by multiple criteria decision making tools. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 104 (9), 493-498.
- Boender, C.G.E., de grann, J. G., and Lootsma, F. A., 1989. Multicriteria decision analysis with fuzzy pair-wise comparison. *Fuzzy Sets and Systems*, 29 (2), 133-143.
- Bojadziev, G., and Bojadziev, M., 1998. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Applications*, World Scientific, Singapore, p. 300.
- Buckley, J., 1985. Fuzzy Hierarchical Analysis. *Fuzzy Sets Systems*, 17, 233-247.
- Chang, D. Y., 1992. Extent analysis and synthetic decision, *Optimisation Techniques and Applications*, 1, World Scientific, Singapore, 352 p.
- Chang, D. Y., 1996. Applications of the extent analysis method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operation Research*, 95, 649-655.
- Deng, H., 1999. Multicriteria analysis with Fuzzy pair-wise comparison. *International Journal of Approximate Reason*, 21, 215-231.
- DOSCO Overseas Engineering Ltd, 2008. Newark Nottinghamshire, England, www.dosco.co.uk.
- Ebrahimabadi, A., Goshtasbi, K., Shahriar, K., and Cheraghi Seifabad, M., 2011a. A model to predict the performance of roadheaders based on rock mass brittleness index. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy (SAIMM)*, 111(5), 355-364.
- Ebrahimabadi, A., Goshtasbi, K., Shahriar, K., and Cheraghi Seifabad, M., 2011b. Predictive models for roadheaders' cutting performance in coal measure rocks. *Yerbilimleri*, 32(2), 89-104.
- Ebrahimabadi, A., Goshtasbi, K., Shahriar, K., and Cheraghi Seifabad, M., 2012. A universal model to predict roadheaders' cutting performance. *Archives of Mining Sciences*, 57(4), 1015-1026.
- Ertugrul, I., and Tus, A., 2007. Interactive Fuzzy linear programming and an application sample at a mine firm. *Fuzzy Optimization Decision Making*, 6, 29-49.
- Ertugrul, I., 2011. Fuzzy group decision making for the selection of facility location. *Group Decision and Negotiation*, 20(6), 725-740.
- Feizizadeh, B., Shadman Roodposhti, M., Janowski, P., and Blaschke, T., 2014. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computer and Geosciences*, 73, 208-221.
- Hamrin, H., 1986. *Guide to underground mining methods and applications*, Atlas Copco., Stockholm.
- Hartman, H. L. 1992. Selection procedure, *SME Mining Engineering Handbook*, Ed., Hartman, H. L., 2nd ed., Society for Mining Engineering, Metallurgy and Exploration, Inc, chap. 23.4, 2090-2106.
- Kahraman, C., Cebeci, U., and Ulukan, Z., 2003. Multi-criteria supplier selection using Fuzzy AHP. *Logistic Information Management*, 16(6), 382-394.
- Kahraman, C., Cebeci, U., and Ruan, D., 2004. Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: the case of Turkey. *International of Production Economics*, 87, 171-184.

- Kahraman, C., 2008. Multi-criteria decision making methods and fuzzy sets. *Fuzzy Multi-Criteri Decision Making*, Springer Science& Business Media, LLC, 16,1-18.
- Klir, G. J., and Yuan, B., 1995. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall.
- Kopeysk Machine-building Plant, 2014. www.kopemash.ru
- Oguzitmur, S., 2011. Why fuzzy analytic hierarchy process approach for transport problems? In: *European Regional Science Association ERSA Conference Papers*, Vienna, Austria, ersa11, 438.
- Rostami, J., Ozdemir, L., and Neil, D.M., 1994. Performance prediction: a key issue in mechanical hard rock mining. *Mining Engineering*, 1263-1267.
- Saaty, T. L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Tutmez, B., and Tercan, A. E., 2007. Spatial estimation of some mechanical properties of rocks by fuzzy modelling. *Computers and Geotechnics*, 34(1),10-18. DOI: 10.1016/j.compgeo.2006.09.005.
- Tutmez, B., and Kaymak, U., 2008. Fuzzy optimization of slab production from mechanical stone properties. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 37(1),71-76.
- Vahdani, B., and Hadipour, H., 2010. Extention of the ELECTRE method based on interval-valued fuzzy set. *Soft Computing*, <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-010-0563-5>.
- Vaida, O. S., and Kumar, S., 2006. Analytic Hierarchy Process: an overview of applications. *European Journal of Operation Research*, 169,1-29.
- Van Laarhoven, P. J. M., and Pedrcyz, W., 1983. A Fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets Systems*, 11,229-241.
- Yazdani-Chamzini, A., and Yakhchali, S. H., 2012. Tunnel Boring Machine (TBM) selection using fuzzy multicriteria decision making methods. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 30,194-204.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. *Information Control*, 8,338-353.

YAZIM KURALLARI

1. YAYIN İLKE VE KURALLARI

YERBİLİMLERİ Dergisi'ne gönderilecek yazılar, daha önce yayımlanmamış, ayrıca eş zamanlı olarak diğer bir dergiye veya sempozyum, kongre vb. gibi etkinliklerde sunulmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Ayrıca, dergiye sunulacak yazıyla ilişkili diğer makalelerin içeriklerindeki çakışma, en alt düzeyde olmalı ve giriş/tartışma bölümleriyle sınırlı kalmalıdır.

Yazarlar, yazılarını hazırlarken, derginin “**Yazım Kuralları**” başlıklı ayrıntılı kılavuzundan yararlanmalıdırlar. Editörler, bu kılavuza uygun şekilde hazırlanmamış yazıları yazar(lar)ına iade edebilirler. Çok yazarlı yazılarda yazarlardan biri “Başvuru-lacak Yazar” konumunda olmalıdır. Tüm yazarların; çalışmada yer aldığı, yazıyı onayladıkları ve yazının dergiye sunulmasını kabul ettikleri esas alınır.

Dergiye sunulan yazılar, önce Baş Editör ile bir Editör tarafından incelenir. Daha sonra makalenin değerlendirilmesi, düzeltilmesi ve yayıma kabulü veya kabul edilmemesi gibi işlemlerin yürütülmesi amacıyla bir Editör, Baş Editör tarafından görevlendirilir. Yazılar, Yayın Danışma Kurulu'ndan ve/veya bu kurulun dışından seçilmiş en az iki hakeme gönderilir. Yazıları değerlendiren hakemlerden gizlilik ilkesine uymaları istenir ve adlarının açıklanıp açıklanmaması kendilerinin tercihine bırakılır. Yazılar, hakemlerin görüşleri alındıktan sonra, ayrıca Baş Editör ve ilgili Editör tarafından da değerlendirilir. Değerlendirmenin sonucuna göre yazının yayıma kabulü veya reddi ile ilgili son karar Baş Editör tarafından verilir.

2. GÖNDERİLECEK YAZILARIN NİTELİĞİ

Dergide yerbilimlerinin değişik alanlarında (jeoloji, jeofizik, madencilik ve jeomorfoloji) gerçekleştirilmiş özgün araştırmalar, yeni gelişmeler ve vaka sunumları ile ilgili yazılara yer verilmektedir. Kabul edilen başlıca yazı türleri, “Özgün Araştırma Makaleleri” ve “Teknik Notlar”dır. Fikirler, mevcut tekniklere ilişkin destekleyici çalışmalar veya ön sonuçlar Teknik Not olarak kabul edilir. Teknik Notlar, genel olarak, makalelerden daha kısa yazılar olup, bu yazılarda Öz bölümünün verilmesine gerek yoktur. Bunların yanı sıra, önceki çalışmaları veya bir konuyu eleştirel bir yaklaşımla derleyen ve o konuda bazı katkılar da sağlayan “Eleştirel Derlemeler” ile dergide yayımlanmış makalelere ilişkin “Tartışmalar” da sunulabilir. Ancak Teknik Notlarla ilgili Tartışma türü yazılara dergide yer verilmez.

3. YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

Yazılar, elektronik ortamda (internet aracılığıyla) veya posta ile gönderilebilir. Editörlük makalelerin yıpranması veya kaybolmasıyla ilgili herhangi bir sorumluluk almayacağı için, yazarlar yazılarının bir kopyasını muhafaza etmelidirler.

Doç. Dr. Elif VAROL MURATÇAY

Yerbilimleri Dergisi

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara

E-mail: yerbilimleri@hacettepe.edu.tr

Tel : +90 312 297 7744 veya +90 312 297 7700-05

Fax : +90 312 299 2034 veya +90 312 299 2075

Yazılar, elektronik ortamda (internet aracılığıyla) veya posta ile gönderilebilir. Editörlük makalelerin yıpranması veya kaybolmasıyla ilgili herhangi bir sorumluluk almayacağı için, yazarlar yazılarının bir kopyasını muhafaza etmelidirler.

4. YAZILARIN HAZIRLANMASI (YAZIM KURALLARI)

Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması durumunda, yazıların başlığı ve özeti ile çizelge ve şekillerin başlıkları Editörlükçe Türkçeye çevrilir. İngilizce sunulacak yazılarda hem İngiliz, hem de Amerikan İngilizcesi kullanılabilir. Ana dili İngilizce olmayan yazarlara, yazılarını Editörlüğe göndermeden önce, gramer ve üslup açısından, ana dili İngilizce olan bir kişiden katkı almaları özellikle önerilir.

Yazılar, genel olarak, aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır.

- Başlık (Türkçe ve İngilizce)
- Yazar adları (koyu ve tamamı büyük harfle) ve adresleri (italik ve küçük harfle) ile başvurulacak yazarın E-posta (ilk sayfanın sol alt kısmında)
- Öz (Türkçe ve İngilizce)
- Anahtar Kelimeler (Türkçe ve İngilizce)
- Giriş (amaç, kapsam ve yöntem)
- Ana metin (kullanılan yöntemler, çalışılan malzeme(ler), tanımlamalar, analizler vd.)
- “Sonuçlar ve Tartışma” veya “Tartışma ve Öneriler”
- Katkı Belirtme (gerekliyse)
- Kaynaklar

- (j) Ekler (gerekliyorsa)
- (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 (Arial) yazılmalı, tüm sayfalarına ve ayrıca metindeki her satıra (başlıklar dahil) numara verilmelidir.

ÖZ

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

KATKI BELİRTME

KAYNAKLAR

Yazılarda SI birimleri (örneğin; kPa, MPa, kN/m³) kullanılmalıdır. Bununla birlikte, eğer istenirse, bu birimlerin diğer sistemlerdeki karşılıkları da parantez içinde verilebilir (örneğin; “İncelenen kumtaşının birim hacim ağırlığı ve tek eksenli sıkışma dayanımı sırasıyla 24 kN/m³ (2.4 kg/m³) ve 60 MPa (600 kgf/cm²)’dır”).

Rakamların ondalık hanelerinin gösteriminde virgöl yerine nokta kullanılmalıdır. Yazılarda semboller (örneğin $\sum$, $\sqrt{}$) kullanılmamalıdır. Bunların yerine, harflerin veya rakamların (örneğin; (a), (b),.....veya (i), (ii).....veya (1), (2).....) kullanılması önerilir. Dip notu verilmesinden kaçınılmalıdır. Özellikle reklam niteliği taşıyan yazılar kabul edilmez.

Yayıma kabul edilmesi koşuluyla, derginin yazım kurallarına uygun şekilde hazırlanmış yazılar, aşırı derecede düzeltmeye ihtiyaç gösteren yazılara göre daha kısa sürede basılır.

Kapak Sayfası

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır.

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

Başlık ve Yazarlar

Yazının başlığı, çalışmanın içeriğini anlaşılır şekilde yansıtmalı ve makul uzunlukta olmalıdır. Eğer yazı Türkçe hazırlanmışsa, Türkçe başlığı (koyu ve küçük harfle) İngilizce başlık (italik ve küçük harfle) izlemelidir. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise, İngilizce başlık Türkçe başlıktan önce ve yukarıda belirtilen yazım kuralına göre verilmelidir.

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 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 virgöl konmalıdır. Teknik Not ve Tartışma türü yazılarda anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

Kaynaklar

Gerek metinde, gerekse şekil ve çizelge açıklamalarında atıfta bulunulan tüm kaynaklar, metnin sonunda “KAYNAKLAR” başlığı altında listelenmelidir. Tek veya iki yazarlı makalelerde yazarlara atıfta bulunulmalıdır (örneğin; Barka ve Cadinsky-Cade, 1988; Hudson, 1997). İkiiden fazla yazarlı makalelerde ilk yazarın adının yanına “vd”. (makale Türkçe yazılmış ise) veya “et al.” (makale İngilizce yazılmış ise) eki ve yazar adlarıyla yayım tarihi arasına da virgöl konmalıdır (örneğin; Vendeville vd.,

1995 veya Vendeville et al., 1995).

Metin içinde kaynaklara atıfta bulunurken, kaynaklar en eski tarihliden başlayarak en güncel doğru tarih sırasıyla verilmeli ve her kaynağın arasına noktalı virgül konmalıdır (örneğin; “Laboratuvar ve arazide çeşitli çalışmalar Komar ve Li (1986); Schmidt ve Gintz (1995) tarafından yapılmıştır”). Makalenin İngilizce yazılması halinde, yukarıda verilen örneklerdeki “ve” ile “vd.”nin yerine “and” ve “et al.” kullanılmalıdır.

Eğer bir kaynağa doğrudan ulaşılamıyor, ancak diğer bir kaynaktan dolayı olarak alınıyorsa, ulaşılamayan bu kaynak alıntı yapılan diğer kaynakla birlikte aşağıda belirtilen şekilde çapraz referans olarak verilmelidir: “.....Gamble (1971; Franklin ve Chandra, 1972). Sözlü ve yazılı görüşmelere de, yukarıda belirtilen örneklere benzer şekilde, metin içinde atıfta bulunulmalı ve ayrıca Kaynaklar dizininde de yer verilmelidir (örneğin; Gerçek (2001)).

Atıfta bulunulan kaynakların “KAYNAKLAR” bölümünde sunulmasına ilişkin örnekler

(a) Dergiler

Barka, A.A., and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.

Yazar(lar), Tarih. Makalenin başlığı. Derginin Açık Adı, Cilt (No.), sayfa no.

(b) Bildiri Tam Metinleri ve Bildiri Özleri

Bildiri tam metinleri:

Stephansson, O., 2003. Estimation of virgin state of stress and determination of final rock stress model. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Rock Stress-RS Kumamoto’03*, K.Sugawara, Y.Obara and A.Sato (eds.), A.A.Balkama, Tokyo.

Bildiri özleri:

Bouchon, M., Toksöz, M.N., Karabulut, H., Boun, M.P., Dietrich, M., and Aktar, M., 2002. Space and times evaluation of rupture and faulting during the 1999 Gölcük, İzmit (Turkey) earthquake. *1st International Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on Earth Sciences and Engineering*, İTÜ, İstanbul, Abstracts, p.51.

Yazar(lar), Tarih. Bildirinin başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Başlığı, Editör(ler)in Adı (eds.), Basımevinin Adı ve Yeri, (Cilt No, verilmişse), sayfa no.

CD’ye yüklenmiş bildiriler:

Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yazar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. *11th World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Mexico, CD Paper No. 1025.

(c) Kitaplar

Turcotte, D.L., 1975. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.

Yazar(lar), Tarih. Kitabın Adı. Basımevinin Adı ve Yeri.

(d) Yayımlanmış Raporlar ve Tezler

Fairhurst, C., Brown, E.T., Marsly, G., Detounay, E., Nikolaevskiy, V., Pearson, J.R.A., and Townley, L., 1998. *Underground nuclear testing in French Polynesia : Stability and hydrogeology issues*. Report of International Geomechanical Commission to the French Government, Vol. I and II.

Yazar(lar), Tarih. Raporun Başlığı. Kuruluşun Adı, Rapor No., Yer adı (yayımlanmamış, raporun dili).

(e) Yayımlanmamış Raporlar ve Tezler

Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966. *Engineering classification and index properties for intact rock*. Air Force Weapons Laboratory, Technical Report No. AFWL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base, New Mexico (unpublished).

Yazar(lar), Tarih. Raporun başlığı. Kuruluşun Adı, Rapor No., Kent Adı (yayımlanmamış).

Meyer, W.H., 1977. *Computer modeling of electro-magnetic prospecting methods*. PhD Thesis, University of California, Berkeley, USA (yayımlanmamış).

Yazar, Tarih. Tezin başlığı. Tezin türü (Y. Lisans veya Doktora), Üniversite veya Enstitü Adı, Kent Adı (yayımlanmamış).

(f) Kişisel Görüşme:

Gerçek, H., 2001. Kişisel görüşme. Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.

(g) İnternette İndirilen Bilgiler

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

Kuruluş Adı, Tarih. Web adresi, web sitesine giriş tarihi.

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır. Türkçe kaynaklarla ilgili bazı örnekler aşağıda verilmiştir. Bu kaynakların başlıklarının İngilizce verilmesi veya makalenin İngilizce yazılması halinde kaynağın en sonuna parantez içinde “in Turkish” ibaresi eklenmelidir.

Gülsoy, Ö.Y., Orhan, C.E., Can, N.M. ve Bayraktar, İ., 2004. Manyetik ayırma ve flotasyonla magmatik ve metamorfik kayalardan feldispat üretimi. *Yerbilimleri*, 30, 49-61.

Doğan, R., 2003. Kırşehir Masifi kuzeyinin tektonik ve magmatik evrimi konusunda bazı düşünceler. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, 66-67.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

Sönmez, H., 1999. Soma linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

“Hazırlanmakta” veya “incelemeye sunulmuş” olan makalelere veya bildirilere atıfta bulunulmamalı ve Kaynaklar dizininde yer verilmemelidir. Çapraz referans verilmesi halinde, kaynaklar dizininde sadece orijinal kaynağın alındığı diğer kaynağın dolaylı olarak verilmesi gerekir. Aynı yazarın veya çok yazarlı yayınlarda ilk yazarın adının bulunduğu ve aynı tarihte yayımlanmış birden fazla sayıda kaynak için, kaynakların ayırt edilebilmesi açısından yayın tarihlerinin yanına “a”, “b” gibi harfler eklenmelidir (örneğin; Goodman 1988a ve 1988b).

Katkı Belirtme

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.

Eşitlikler ve Formüller

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

“ $t = c + \text{stanf}$ ”

(1)

Burada; t makaslama dayanımı, c kohezyon, s normal gerilme ve f içsel sürtünme açısıdır”.

Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin; Id, x2). Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (örneğin; $\text{scmass} = \text{scs}^{0.5}$). Çarpım işlemini göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda “*” işareti tercih edilmelidir (örneğin; $y = 5 \cdot 10^{-3}$). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine “/” işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} ve CO_3^{--} yerine Ca^{2+} ve CO_3^{2-} tercih edilmelidir. Metinde eşitliklere “eşitlik (1)” şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekliyse, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

Çizelgeler

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte (çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir), derginin sayfalarındaki baskı alanını (15.8 cm x 22.5 cm) aşmayacak şekilde hazırlanmalı, metnin sonunda her bir çizelge ayrı birer sayfada bulunacak şekilde ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısmında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır. 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 derginin 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 derginin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalarda olacak şekilde metnin sonunda (Kaynaklar dizininden sonra) sunulmalıdır. Çizelgelerdeki kısaltma ve simgeler daha küçük karakterlerle çizelgelerin altında verilmelidir (örneğin; sc: tek eksenli sıkışma dayanımı; Il: illit vd.).

Şekiller

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller “Şekil” başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekillerin her biri JPG olarak hazırlanmalı, ayrı bir dosya içine, her bir şekil ayrı olarak kaydedilmeli ve şekil numarası yazılmalıdır. Dosya içine konulan şekillerde Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalıdır. Dergi siyah-beyaz basılacağı için, yazarlar hazırlanan şekillerde bu hususu dikkate almalıdırlar. Şekil açıklamaları; Şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya konularak “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. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15.8 cm (genişlik) x 22.5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin derginin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir.

Özellikle haritalar, araziyle ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25,000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çizgi 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 olması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen grafiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Gölgeleme belirgin, fotoğraflar siyah-beyaz ve iyi bir kontrasta sahip olmalıdır. Tüm şekiller, şekil 1 veya şekil 1 ve 2 (birden fazla şekle değiniliyorsa) gibi ve metinde anıldıkları sırayla numaralandırılmalıdır. Bir dizi fosil fotoğraflarını içeren şekiller Levha olarak değerlendirilmelidir. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

Ekler

Yöntemlere (bilinen yöntemler hariç) ilişkin özel ayrıntılar veya matematiksel işlemler için makalelerde eklere yer verilebilir. Bilgisayar programı listeleri de ek olarak kabul edilir.

5. YAYIMA KABUL EDİLEN MAKALELERİN SUNUMU

Yazarlar, makalelerinin yayıma kabulü halinde, makalenin düzeltilmiş son kopyasını elektronik ortamda Baş Editör'e göndermelidir. Makaleler WORD ile hazırlanmalıdır. Tüm şekiller ayrı bir dosya içinde her bir şekil 300 dpi'den az olmamak koşu-luyla JPG olarak ayrı sayfalarda yer almalıdır.

6. PROVA BASKILAR

Makalenin 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 Baş Editör'e gönderilmelidir. Gecikmeli olarak yapılacak düzeltmelerin baskıya verilmesi garanti edilmeye-ceği için, yazarların prova baskıları göndermeden çok dikkatli şekilde kontrol etmeleri önerilir.

7. 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, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araçtır-ma Merkezi'ne 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 Baş Editör'e gönderilmelidir. Bu form Baş Editör'e ulaştırılıncaya değin, makale yayına kabul edilmiş olsa bile, baskıya gönderilmez.

INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS

1. STATEMENT OF EDITORIAL AND PUBLICATION POLICIES

Manuscripts submitted to YERBİLİMLERİ (EARTH SCIENCES) should have not been published or simultaneously submitted elsewhere. The overlap of contents between related papers should be at minimum, and normally confined to the introductory/discussion sections.

Authors should consult the Journal's "Instructions for Contributors" for detailed stylistic guidelines during preparation of their manuscript. Editors may return manuscripts that are grossly inconsistent with these guidelines. One individual will need to be the Corresponding Author where the submitted manuscript is multi-authored. It will be assumed that all the authors have been involved in the work, have approved the manuscript, and have agreed to its submission.

Manuscripts submitted to the Journal are initially evaluated by the Editor-in-Chief and one of the Associate Editors. The Editor-in-Chief then allocates the manuscript to an Associate Editor, to handle the reviewing, revision and acceptance or rejection procedures. Manuscripts are sent to at least two reviewers selected from the Editorial Advisory Board and/or external specialists. Reviewers are requested to treat the manuscript confidentially. They may choose to identify themselves or to remain anonymous. After the reviewers' comments have been received, the Editor-in-Chief and an Editor also review the papers. The Editor-in-Chief's judgment is final with regard to the review process and suitability for publication.

2. TYPES OF CONTRIBUTIONS

The Journal is concerned with original research, new developments, and case studies in earth sciences (geology, geophysics, mining, and geomorphology). The two main types of contributions are "Original Research Papers" and "Technical Notes". Ideas, preliminary results and confirmations on existing techniques are suitable as Technical Notes. In general, Technical Notes are shorter than papers and do not require Abstracts. In addition, "Comprehensive Reviews" and "Discussion" of papers that have already appeared in the Journal may also be submitted. Discussions should not exceed three pages. There is no provision for the publication of Discussion of Technical Notes.

3. SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Submissions could be send electronically, via the internet or by post. Authors should remain a copy of their manuscript, since the editors cannot accept responsibility for damage or loss of papers.

Assoc. Prof. Dr. Elif VAROL MURATÇAY

Yerbilimleri Dergisi

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara, Turkey

E-mail: yerbilimleri@hacettepe.edu.tr

Tel : +90 312 297 7744 veya + 90 312 297 7700-05

Fax : +90 312 299 2034 veya +90 312 299 2075

4. PREPARATION OF MANUSCRIPTS

The language of the Journal is both Turkish and English. 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 Journal. For manuscripts submitted in English, either British or American spelling is acceptable. 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. Manuscripts should generally be structured as follows:

- (a) Title
- (b) Names of authors (bold and in capital) and their affiliations (italic and lower-case). The name and E-mail address of the corresponding author must appear at the bottom of the first page (in the left margin).
- (c) Abstract
- (d) Key words
- (e) Introduction (aim, content and methodology)
- (f) Main text (methods, material studied, descriptions, analyses etc.)
- (g) "Results and Discussion" or "Conclusions and Recommendations"
- (h) Acknowledgements (if necessary)
- (i) References
- (j) Appendices (if necessary)
- (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 (Arial) and with all pages numbered. All pages and all lines in the text (including headings) should be numbered.

ÖZ

ABSTRACT

INTRODUCTION

PRIMARY HEADING

Primary Sub-Heading

Secondary sub-heading

Tertiary sub-heading.

CONCLUSIONS

ACKNOWLEDGEMENTS

REFERENCES

SI units (e.g. kPa, MPa, kN/m³) should be used, although corresponding metric units can be added in parentheses if desired (e.g. “The unit weight and compressive strength of the investigated sandstone are 24 kN/m³ (2.4kg/m³) and 60 MPa (600 kgf/cm²), respectively).

A dot should be used instead of a comma to show decimal fractions (e.g. 23.1). Symbols (such as $\sum$, $\sqrt{}$) should not be use in the manuscript. Instead of these, please use letters or numbers (i.e. (a), (b),or (i), (ii) ..., or (1), (2)). Foot notes should be avoided especially if they contain information which could equally well be included in the text. The use of proprietary names should be avoided. Papers essentially of an advertising nature will not be accepted. In the case of acceptance for publication, concise well-prepared papers in the Journal style are likely to be published sooner than those in need of extensive editing and revision.

Cover Page

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

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

Title and Authors

The title of the paper should unambiguously reflect its content with reasonable length. If the paper is written in Turkish, the Turkish title (in bold-face type and lower-case) should be followed by the English title (italic and lower-case). If the paper is in English, the English title should appear before the Turkish title in the style mentioned above.

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 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.

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. For single or dual-author papers, refer to the author(s) name(s) (without initials) and the year of publication in parentheses (e.g. Barka and Kadiansky-Cade (1988); Hudson (1990)). For publications written by more than two authors, the name of the first author should be used, followed by “et al.” and a comma should be put between the authors’ names and the year of publication (e.g. Vendeville et al., 1995). The list of references in citations should be arranged chronologically from the earliest to the most recent, and separated by semi-colons (e.g. “Several studies, including both field and laboratory experiments (Komar and Li, 1986; Schmidt and Ergenziger, 1992; Carling et al., 1992; Schmidt and

Gints, 1995) were carried out.”). If reference is not directly obtained but can be found in another reference, cross-reference should be given as follows: “.....Gamble (1971; Franklin and Chandra, 1972)”. For verbal or written personal communications, the reference should be given in the text as above (e.g. Gerçek (2001)) and also be cited in the reference list.

Examples of layout of references

(a) Journals

Barka, A.A., and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7(1), 663-684.

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

(b) Proceedings and Abstracts

Proceedings:

Stephansson, O., 2003. Estimation of virgin state of stress and determination of final rock stress model. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Rock Stress-RS Kumamoto'03*, K. Sugawara, Y. Obara and A. Sato (eds.), A.A. Balkama, Tokyo.

Abstracts:

Bouchon, M., Toksöz, M.N., Karabulut, H., Boun, M.P., Dietrich, M., and Aktar, M., 2002. Space and times evaluation of rupture and faulting during the 1999 Gölcük, İzmit (Turkey) earthquake. *1st International Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on Earth Sciences and Engineering, İTÜ, İstanbul*, Abstracts, p.51.

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

Proceedings on CD:

Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yazar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. *11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico*, CD Paper No. 1025..

(c) Books

Turcotte, D.L., 1975. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.

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

(d) Published Reports

Fairhurst, C., Brown, E.T., Marsly, G., Detounay, E., Nikolaevskiy, V., Pearson, J.R.A., and Townley, L., 1998. Underground nuclear testing in French Polynesia: Stability and hydrogeology issues. *Report of International Geomechanical Commission to the French Government, Vol. I and II*.

Author(s), Date. Title of report. Name of Organization, Vol. (if any).

(e) Unpublished Reports and Thesis

Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. *Air Force Weapons Laboratory, Technical Report No. AFWL-TR-65-116*, Kirtland Air Force Base, New Mexico (unpublished).

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

Meyer, W.H., 1977. Computer modeling of electro-magnetic prospecting methods. *PhD Thesis, University of California, Berkeley, USA* (unpublished).

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

(f) Personal Communications

Gerçek, H., 2001. Personal communication. Mining Engineering Department of Karaelmas University, Zonguldak, Turkey.

(g) 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. Some examples are given below.

Gülsoy, Ö.Y., Orhan, C.E., Can, N.M. ve Bayraktar, İ., 2004. Manyetik ayırma ve flotasyonla magmatik ve metamorfik kayalardan feldispat üretimi. *Yerbilimleri*, 30, 49-61.

Doğan, R., 2003. Kırşehir Masifi kuzeyinin tektonik ve magmatik evrimi konusunda bazı düşünceler. *55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri*, 66-67.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. *Yapısal Jeoloji*. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

Nazik, L., Türk, K., Özel, E., Mengi, H., Aksoy, B. ve Acar, C., 1998. Kuzey ve kuzeydoğu Trakya (Kırklareli- Tekirdağ)'daki doğal mağaralar. *MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No. 4384*, Ankara (yayımlanmamış).

Sönmez, H., 1999. Soma linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi.

Papers “in preparation” or “submitted” are not valid references. In the case of cross-referencing, only the reference in which the otherwise inaccessible reference is found should appear in the list of references. For references, whose authors and dates of publication are the same, the letters “a, b,” etc. should follow the date of each reference (e.g. Goodman, 1988a and 1988b).

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.

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.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

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. I_d , x_2). Instead of square-root symbol, an indice of 0.5 should be used (e.g. $y = 5x^{0.5}$). For the of multiplication sign do not use any symbol, however if necessary, the symbol “*” can be preferred (e.g. $y=5*10^{-3}$). Please use “/” for division instead of a horizontal line between numerator and denominator. In the expression of chemical reactions, ions should be given as Ca^{2+} and CO_3^{2-} (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)), be represented in separate pages and be numbered consecutively. Both Turkish and English titles should appear at the top of a table. 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 represented on an separate page and appear after the text (after references). All abbreviations and symbols must be identified with smaller character underneath the tables (e.g. σ_c : uniaxial compressive strength; Il : Illite; etc).

Illustrations

All illustrations, whether diagrams, charts and photographs, should be of high quality JPG format, referred to as “Figures” and be numbered consecutively as they appear in the text. 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 (grayscale), suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Figure captions should be supplied on a separate sheet and should begin “Figure 1.” etc. As with the rules given for tables, figure captions should also be given both in Turkish and English. All illustrations should be given offer tables together with a list of figure captions. The maximum 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”. 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.

Appendices

Appendices are encouraged for specific details of methods (except known methods) or mathematics. Computer program listings are also accepted as appendices.

5. FINAL SUBMISSION OF MANUSCRIPTS ACCEPTED FOR PUBLICATION

On acceptance of a manuscript, authors should send the digital copy of the revised final draft to the Editor-in-Chief via e-mail. Manuscripts should be processed in WORD format. All illustrations should be sent as JPG files (not less than 300 dpi resolution) individually.

6. PROOFS

One set of page proofs are sent to the corresponding author to be checked for typesetting/editing errors. Corrections should be restricted to typesetting errors, change or corrections that constitute departures from the article are not accepted. Proofs should be returned to the Editor-in-Chief 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.

7. 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 Earth Science Application and Research Center of Hacettepe University 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-in-Chief as soon as possible. Manuscripts accepted for publication will not be sent to print until this form is received by the Editor-in-Chief.